

DOI: 10.11686/cyxb2021432

http://cyxb.magtech.com.cn

游茵洁, 周浩珍, 刘垚, 等. 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 Yin-jie, ZHOU Hao-zhen, LIU Yao, et al. Comparison of nutritional value of oat hay, oat silage and Sichuan pasture for yaks. Acta Prataculturae Sinica, 2022, 31(8): 99-110.

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

游茵洁, 周浩珍, 刘垚, 王晨曦, 彭忠利*

(西南民族大学畜牧兽医学院, 四川 成都 610041)

摘要:为比较四川牦牛常规粗饲料的营养价值, 试验选用燕麦干草、青贮燕麦、天然牧草, 对其进行营养成分和体外产气分析。体内消化试验于四川省红原县进行, 选取9头初始体重为(150±10) kg的麦洼公牦牛, 随机分为3组, 每组3头牛。试验结果如下: 1) 天然牧草粗蛋白(crude protein, CP)含量显著高于青贮燕麦和燕麦干草($P<0.05$); 天然牧草的中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量显著低于青贮燕麦($P<0.05$); 2) 康奈尔净碳水化合物蛋白质动态评价体系(cornell net carbohydrate and protein system, CNCPS)中, 青贮燕麦的非蛋白氮(non-protein nitrogen, PA)部分显著高于燕麦干草和天然牧草($P<0.05$); 天然牧草的快速降解蛋白(rapidly degraded protein, PB1)、慢速降解蛋白(slowly degraded protein, PB3)含量最高, 且不可降解蛋白(undegraded protein, PC)含量最低; 青贮燕麦的不可利用纤维(undegraded fiber, CC)含量显著高于天然牧草和燕麦干草($P<0.05$); 可利用纤维(available fiber, CB2)、非结构性碳水化合物(non-structural carbohydrates, NSC)含量显著低于天然牧草和燕麦干草($P<0.05$); 3) 天然牧草的NDF、CP消化率均显著高于燕麦干草和青贮燕麦($P<0.05$); 天然牧草ADF消化率显著高于青贮燕麦($P<0.05$), 与燕麦干草差异不显著($P>0.05$); 4) 天然牧草牦牛瘤胃液的NH₃-N浓度显著高于青贮燕麦和燕麦干草组($P<0.05$), 而其微生物蛋白质(microbial crude protein, MCP)产量显著高于燕麦干草组, 与青贮燕麦组差异不显著; 燕麦干草总挥发性脂肪酸(total volatile fatty acid, TVFA)产量最高; 5) 天然牧草组的产气量显著高于青贮燕麦组($P<0.05$), 与燕麦干草组差异不显著($P>0.05$); 体外降解方面, 燕麦干草的体外干物质降解率(*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD)、体外中性洗涤纤维降解率(*in vitro* neutral detergent fiber digestibility, IVNDFD)、体外酸性洗涤纤维降解率(*in vitro* acid detergent fiber digestibility, IVADFD)最高, 其中, IVDMD显著高于青贮燕麦($P<0.05$), 与天然牧草差异不显著($P>0.05$); IVNDFD、IVADFD与其他两种饲草相比差异均不显著($P>0.05$)。综上, CNCPS分析的各组分含量所反映的瘤胃发酵状况、体外产气法所测定的结果与牦牛体内消化试验测定的各养分消化率和瘤胃代谢产物结果基本吻合, 3种饲草的营养价值由高到低依次为天然牧草>燕麦干草>青贮燕麦。

关键词: CNCPS; 体外产气法; 牦牛

Comparison of nutritional value of oat hay, oat silage and Sichuan pasture for yaks

YOU Yin-jie, ZHOU Hao-zhen, LIU Yao, WANG Chen-xi, PENG Zhong-li[†]

College of Animal Husbandry & Veterinary Science, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China

Abstract: This experiment compared the nutritional value of forages conventionally fed to yaks in Sichuan. Oat

收稿日期: 2021-11-25; 改回日期: 2022-01-28

基金项目: 牦牛短期育肥关键技术集成示范与研究(280330013501)和国家现代农业技术体系四川肉牛创新团队建设项目(sxextd-2020-13)资助。

作者简介: 游茵洁(1997-), 女, 土家族, 重庆人, 在读硕士。E-mail: yinjieyou@outlook.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: leo3131@163.com

(*Avena sativa*) hay, oat silage and Sichuan pasture were analyzed for their nutritional value and *in vitro* gas production. An *in vivo* digestion experiment was conducted in Hongyuan, Sichuan Province. Maiwa male yaks ($n=9$) with an initial body weight of 150 ± 10 kg were randomly divided into 3 treatment groups with 3 yaks in each group. It was found that: 1) The crude protein (CP) content of pasture was significantly higher than that in oat silage and oat hay ($P<0.05$). The neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) content of pasture was significantly lower than that in oat silage ($P<0.05$). 2) The non-protein nitrogen content in oat silage was significantly higher than that in oat hay and pasture ($P<0.05$). The rapidly degraded protein, moderately degraded protein and slowly degraded protein contents in pasture were the highest and the unavailable protein content was the lowest. The unavailable fiber content in oat silage was significantly higher than that in pasture and oat hay ($P<0.05$), while the slowly degraded fiber and non-structural carbohydrate contents were significantly lower than those in pasture and oat hay ($P<0.05$). 3) The NDF and CP digestibility of pasture were significantly higher than those of oat hay and oat silage ($P<0.05$). The ADF digestibility of pasture was significantly higher than that of oat silage ($P<0.05$), but did not differ significantly from that of oat hay ($P>0.05$). 4) The $\text{NH}_3\text{-N}$ concentration in the rumen fluid of yaks in the pasture treatment group was significantly higher than in animals fed oat silage and oat hay ($P<0.05$), and the micro crude protein yield was significantly higher in the pasture diet than that in the oat hay diet but did not differ significantly from that in the oat silage diet. Oat hay had the highest total volatile fatty acid yield. 5) The gas production of animals fed pasture was significantly higher than that of animals fed oat silage ($P<0.05$). Overall, rumen fermentation results reflected the predictions from diet component analysis using the cornell net carbohydrate and protein system (CNCPS) and *in vitro* gas production results were basically consistent with the results of nutrient digestibility and rumen metabolites determined by the yak *in vivo* digestion test. These results indicate that it is feasible to evaluate the nutritional value of yak roughage using the CNCPS and *in vitro* gas production methods. The nutritional values of the three forages were: pasture>oat hay>oat silage.

Key words: cornell net carbohydrate and protein system; *in vitro* gas production; yak nutrition

牦牛是青藏高原及其周边高海拔地区的特有物种,传统放牧的方式受草场季节性更替的影响较大,导致牦牛出现季节性营养供应不均衡,增重不稳定等问题。四川省牧区草原面积占全国草原的38%^[1],但牧草品质不高。为了缓解草原压力,通过保护草原环境、科学配制日粮、提高饲养效率,对高寒牧区新的饲料资源的挖掘与开发需求十分迫切。优质的粗饲料对反刍动物营养至关重要。燕麦(*Avena sativa*)属禾本科,其产量高、品质好,是典型的饲料兼用作物^[2],具有易于栽培、适口性好、消化率高等优点。青贮燕麦也是高寒牧区常用的青贮饲料,通过青贮的方式来保持青绿饲料的营养成分基本不变,可解决在寒冷季节因饲料不足掉膘的问题^[3]。

Van Soest与Weende评价体系^[5],只是测得饲料的营养物质含量,而没有与机体本身建立密切的联系,因此不能真正地代表日粮在反刍动物瘤胃中的消化情况。而康奈尔净碳水化合物蛋白质动态评价体系(cornell net carbohydrate and protein system, CNCPS)的建立更好地弥补了这一缺陷。CNCPS体系^[6]是美国康奈尔大学20世纪90年代研究出来的基于牛瘤胃饲料发酵的模型,它将饲料的营养价值与在动物体内的降解结合起来,更细分了碳水化合物和粗蛋白组分,能够更客观准确地反映出碳水化合物和粗蛋白这两大重要营养物质在瘤胃内的发酵程度、发酵产物、外流速率及蛋白、能量的吸收率等情况。因此,本试验结合常规养分分析、CNCPS与牦牛体内消化试验、体外产气试验对四川阿坝地区牦牛养殖常用的燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的营养价值进行评价,为高原地区牦牛粗饲料资源的合理使用提供数据支持。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

燕麦干草为梦龙燕麦,于2020年9—10月全株收割,无籽实,产地红原县;青贮燕麦为青引一号,于2020年9

月收割,产地若尔盖县;天然牧草的优势草种为垂穗披碱草(*Elymus nutans*),2020年9—10月收割,产地红原县。瘤胃发酵参数测定用瘤胃液取自体内消化试验的牦牛,消化试验结束时采用口腔导管法^[7]采集瘤胃液。体外产气所用瘤胃液来源于青白江屠宰场,选取6头体重相近的放牧牦牛,体外培养液参照 Menke 等^[8]的方法配制。

1.2 试验设计

1.2.1 牦牛体内消化试验 选取9头健康状况良好、平均体重相近(150±10 kg)的公牦牛为试验动物,试验采用单因素随机设计,随机分为3个处理组,每组3个重复,每个重复1头牛。第1组饲喂燕麦青干草,第2组饲喂天然牧草,第3组饲喂青贮燕麦。每头牦牛采用舍内栓系饲养,给予充足的舍内饲养空间(3 m²·头⁻¹)。每天08:00和16:00饲喂,自由采食、饮水,预试期15 d,正试期7 d。

1.2.2 体外产气试验 试验采用单因素设计,将燕麦青干草(2020年9—10月全株收割,无谷粒)、天然牧草(2020年9—10月收割)与青贮燕麦(2020年9—10月收割)制成风干样,过0.425 mm筛,称取500 mg作为体外发酵底物,每组3个平行,同时设1个对照(即只有瘤胃液和培养液没有底物)作为产气量矫正。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 常规养分分析 依据《饲料分析及饲料质量检测技术》^[9]测定干物质(dry matter, DM)、粗灰分(crude ash, Ash)、钙、总磷含量;采用新型杜马斯蛋白质分析仪(DT autosampler,德国格哈特公司)测定粗蛋白(crude protein, CP)含量;采用脂肪自动测定仪(SOX416,德国格哈特公司)测定脂肪(ether extract, EE)含量,中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量采用张丽英^[9]的方法和 FT 12全自动纤维分析仪(格哈特公司,德国)测得。

1.3.2 CNCPS分析 酸性洗涤木质素(acid detergent lignin, ADL)、酸性洗涤不溶蛋白(acid detergent fiber insoluble protein, ADFIP)、中性洗涤不溶蛋白(neutral detergent fiber insoluble protein, NDFIP)含量的测定参照 Van Soest^[4]的方法,采用新型杜马斯蛋白质分析仪(德国格哈特公司)测定;采用三氯乙酸法^[10]和新型杜马斯蛋白质分析仪(DT autosampler,德国格哈特公司)测定非蛋白氮(non-protein nitrogen, PA)含量;采用高氯酸水解—蒽酮比色法^[11]测定淀粉(starch)含量。各组分计算公式根据 Sniffen 等^[6]的方法(表1)。

表1 CNCPS组分计算公式

Table 1 CNCPS component calculation formula

项目 Item	计算公式 Formulate
总碳水化合物 Carbohydrate (CHO, %DM)	$100 - CP(\%DM) - EE(\%DM) - Ash(\%DM)$
不可利用纤维 Unavailable fiber (CC, %CHO)	$100 \times [NDF(\%DM) \times 0.01 \times ADL(\%NDF) \times 2.4] / CHO(\%DM)$
可利用纤维 Available fiber (CB2, %CHO)	$100 \times [NDF(\%DM) - NDFIP(\%CP) \times 0.01 \times CP(\%DM) - NDF(\%DM) \times 0.01 \times ADF(\%NDF) \times 2.4] / CHO(\%DM)$
非结构性碳水化合物 Non-structural carbohydrates (NSC, %CHO)	$100 - CB2(\%CHO) - CC(\%CHO)$
淀粉和果胶 Starch and pectin (CB1, %CHO)	$Starch(\%NSC) \times [100 - CB2(\%CHO) - CC(\%CHO)] / 100$
糖类 Saccharides (CA, %CHO)	$[100 - Starch(\%NSC)] \times [100 - CB2(\%CHO) - CC(\%CHO)] / 100$
非蛋白氮 Non-protein nitrogen (PA, %CP)	$PA(\%SOLP) \times 0.01 \times SOLP(\%CP)$
快速降解蛋白质 Rapidly degraded protein (PB1, %CP)	$SOLP(\%CP) - PA(\%CP)$
中速降解蛋白质 Moderately degraded protein (PB2, %CP)	$100 - PA(\%CP) - PB1(\%CP) - PB3(\%CP) - PC(\%CP)$
慢速降解蛋白质 Slowly degraded protein (PB3, %CP)	$NDFIP(\%CP) - ADFIP(\%CP)$
不可降解蛋白质 Unavailable protein (PC, %CP)	$ADFIP(\%CP)$

1.3.3 牦牛体内消化试验 试验结束前3 d,每天10:00至18:00采集所有试验牦牛新鲜的粪便,每次每头采集100 g,并加15 mL 10%的硫酸固氮,3 d收粪结束后,将同一头牦牛的粪便混匀,随机取180 g于-20℃保存。同时用四分法^[12]采集3 d的饲粮,每天1 kg,混合均匀,采用酸不溶灰分(acid insoluble ash, AIA)法测定养分表观消化率,参照张丽英^[9]的方法进行AIA的测定。

$$\text{某养分表观消化率}(\%) = 100 \times [1 - (AIAR/AIAM) \times (nM/nR)]$$

式中: $AIAR$ 和 $AIAM$ 分别表示饲草和粪中酸不溶灰分含量; nR 和 nM 分别表示饲草和粪中该养分含量;

采用便携式pH计(P302,上海佑科仪器仪表有限公司)测定pH;参照冯宗慈等^[13]的比色法测定 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量;采用Agilent 6890N气相色谱仪(美国)测定挥发性脂肪酸(volatile fatty acids, VFA)含量。

1.3.4 牦牛体外产气试验 体外试验参照Menke等^[8]的方法配制人工唾液。瘤胃液来源于青白江屠宰场,选取6头体重相近的放牧牦牛,将采集的瘤胃液按1:1:1:1:1:1迅速用8层无菌纱布过滤到已经预热好的保温桶里,同时通入二氧化碳保持厌氧条件,迅速带回实验室进行体外培养,与人工唾液1:2($v:v$)混合,称取500 mg作为体外发酵底物于特制玻璃针管,并注入50 mL瘤胃混合液,密封后置于39 °C恒温培养箱中,培养过程中分别于2、4、6、8、12、18、24、36、48、60、72 h,取出注射器快速读数并记录。

1.4 数据统计与分析

用Excel整理原始数据之后,采用SPSS 23.0对数据进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 燕麦干草、青贮燕麦与天然牧草常规养分含量比较分析

青贮燕麦的干物质含量显著高于天然牧草(表2),且显著低于燕麦干草($P < 0.05$);天然牧草CP含量最高,青贮燕麦的CP含量显著高于燕麦干草($P < 0.05$);天然牧草的粗灰分含量显著低于燕麦干草和青贮燕麦($P < 0.05$);EE、NDF、ADF含量,青贮燕麦显著高于天然牧草,天然牧草显著高于燕麦干草($P < 0.05$);而青贮燕麦的Ca含量显著低于燕麦干草和天然牧草($P < 0.05$),P含量显著高于燕麦干草和天然牧草($P < 0.05$)。

表2 3种风干饲草的常规养分(干物质基础)

Table 2 Conventional nutrients of 3 kinds of forage grass (dry matter basis)

项目 Item	含量 Content (%)			标准误 SEM	P值 P value
	燕麦干草 Oat hay	青贮燕麦 Oat silage	天然牧草 Pasture		
干物质 Dry matter (DM)	97.06a	96.15b	95.04c	0.06	<0.001
粗灰分 Crude ash (Ash)	5.41b	7.74a	5.11c	0.01	<0.001
粗脂肪 Ether extract (EE)	1.33c	2.57a	2.08b	0.04	<0.001
粗蛋白 Crude protein (CP)	5.45c	6.37b	9.05a	0.05	<0.001
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (NDF)	58.49c	70.36a	60.87b	0.51	<0.001
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (ADF)	31.17c	39.36a	33.57b	0.32	<0.001
钙 Ca	0.52a	0.37b	0.57a	0.02	<0.001
磷 P	0.13b	0.21a	0.08b	0.02	0.009

SEM: Standard error mean. 同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$),下同 Different letters in the same row mean significant differences ($P < 0.05$), the same below.

2.2 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的碳水化合物比较分析

从CNCPs养分分析来看(表3),青贮燕麦的酸性洗涤木质素、非蛋白氮略高于其他两种饲草,但差异不显著($P > 0.05$);青贮燕麦的可溶性蛋白显著高于燕麦干草和天然牧草($P < 0.05$),但燕麦干草和天然牧草间差异不显著($P > 0.05$);天然牧草的淀粉含量与青贮燕麦差异不显著($P > 0.05$),且都显著高于燕麦干草($P < 0.05$);燕麦干草的中性洗涤不溶蛋白和酸性洗涤不溶蛋白含量显著高于青贮燕麦和天然牧草($P < 0.05$)。

燕麦干草的总碳水化合物含量最高(表4),且其CA含量显著高于天然牧草和青贮燕麦($P < 0.05$),说明燕麦干草的碳水化合物中大多数为快速降解部分,被瘤胃降解得最快,可以快速地为机体提供能量;天然牧草的CB1含量显著高于其余两种牧草($P < 0.05$),说明天然牧草相比其他两种牧草富含淀粉和果胶;青贮燕麦的CC含量最高,且CA含量最低,说明其中慢速降解和不可利用部分含量高,不易被瘤胃微生物降解利用,初步表明青贮燕麦最难被消化利用。

表 3 3 种粗饲料的 CNCPS 组分

Table 3 CNCPS components of the 3 kinds of roughage for yak

项目 Item	燕麦干草 Oat hay	青贮燕麦 Oat silage	天然牧草 Pasture	标准误 SEM	P 值 P value
酸性洗涤木质素 Acid detergent lignin (ADL, %NDF)	6.22a	7.27a	6.95a	0.32	0.206
非蛋白氮 Non-protein nitrogen (PA, %SP)	40.46a	82.34a	39.68a	16.55	0.261
可溶性蛋白 Soluble protein (SP, %CP)	6.95b	36.17a	10.71b	3.24	0.014
中性洗涤不溶蛋白 Neutral detergent fiber insoluble protein (NDFIP, %CP)	51.70a	32.76c	43.27b	1.32	0.005
酸性洗涤不溶蛋白 Acid detergent fiber insoluble protein (ADFIP, %CP)	34.40a	24.76b	20.37c	0.55	0.001
淀粉 Starch (%NSC)	56.42b	76.30a	76.51a	3.86	0.054

表 4 根据 CNCPS 组分计算的碳水化合物组分含量

Table 4 Carbohydrate content calculated based on CNCPS components

项目 Item	含量 Content			标准误 SEM	P 值 P value
	燕麦干草 Oat hay	青贮燕麦 Oat silage	天然牧草 Pasture		
总碳水化合物 Carbohydrates (CHO, %DM)	87.78a	83.34b	83.81b	0.12	<0.001
糖类 Saccharides (CA, %CHO)	15.97a	4.44b	7.61b	1.11	0.011
淀粉和果胶 Starch and pectin (CB1, %CHO)	20.84b	14.24b	24.71a	1.62	0.044
可利用纤维 Available fiber (CB2, %CHO)	53.29a	15.24b	55.63a	1.22	0.008
不可利用纤维 Unavailable fiber (CC, %CHO)	9.91b	16.24a	12.06b	0.52	0.017
非结构性碳水化合物 Non-structural carbohydrates (NSC, %CHO)	36.81a	17.24c	32.32b	0.85	0.001

2.3 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的蛋白质比较分析

青贮燕麦的 PA 含量显著高于燕麦干草和天然牧草 ($P < 0.05$), 但其 PB1、PB2、PB3 含量较其他两种较小 (表 5), 表明在青贮燕麦中, 非蛋白氮含量相对较高, 而真蛋白含量相对较少; 天然牧草的 PB1、PB3 含量最高且 PC 含量最少, 说明天然牧草中真蛋白含量高且不可利用氮少; 燕麦干草中 PC 含量最高, 表明其中的不可利用氮较多, 在瘤胃内难以被降解。

表 5 根据 CNCPS 组分计算的蛋白质组分含量

Table 5 Protein content calculated based on CNCPS components

项目 Item	含量 Content (%CP)			标准误 SEM	P 值 P value
	燕麦干草 Oat hay	青贮燕麦 Oat silage	天然牧草 Pasture		
非蛋白氮 Non-protein nitrogen (PA)	6.95b	36.17a	10.71b	3.24	0.014
快速降解蛋白质 Rapidly degraded protein (PB1)	10.63a	7.70a	16.23a	3.23	0.307
中速降解蛋白质 Moderately degraded protein (PB2)	30.73a	23.39b	29.80ab	1.45	0.067
慢速降解蛋白质 Slowly degraded protein (PB3)	17.31a	7.80b	22.91a	1.71	0.019
不可降解蛋白质 Unavailable protein (PC)	34.40a	24.76b	20.37c	0.55	0.001

2.4 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的营养表观消化率

青贮燕麦各消化率指标最低 (表 6), 天然牧草的 NDF、ADF、CP 消化率最高, 其中 NDF、CP 的消化率显著高于燕麦干草和青贮燕麦 ($P < 0.05$), ADF 的消化率与燕麦干草差异不显著 ($P > 0.05$), 但显著高于青贮燕麦 ($P < 0.05$); 燕麦干草的 DM、OM 消化率显著高于天然牧草和青贮燕麦 ($P < 0.05$)。

表6 3种饲草的养分表观消化率

Table 6 Apparent nutrient digestibility of 3 kinds of forage

项目 Item	养分表观消化率 Apparent nutrient digestibility (%)			标准误 SEM	P值 P value
	燕麦干草 Oat hay	青贮燕麦 Oat silage	天然牧草 Pasture		
干物质 Dry matter	77.54a	58.05c	76.14b	0.03	<0.01
有机物 Organic matter	78.34a	58.32c	76.85b	0.12	<0.01
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber	76.46b	66.67c	79.34a	0.39	<0.01
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber	73.73a	61.66b	76.11a	0.72	<0.01
粗蛋白 Crude protein	56.39b	39.29c	68.92a	1.30	0.001

2.5 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的瘤胃降解参数

由表7可知,燕麦干草的总挥发性脂肪酸(total volatile fatty acid, TVFA)和乙酸含量显著高于天然牧草($P<0.05$);燕麦干草的异丁酸含量显著低于天然牧草,异戊酸含量显著低于青贮燕麦和天然牧草($P<0.05$);天然牧草的丁酸含量显著高于青贮燕麦,且显著低于燕麦干草($P<0.05$);青贮燕麦的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量显著低于天然牧草,但显著高于燕麦干草($P<0.05$);燕麦干草的微生物蛋白(microbial crude protein, MCP)含量显著低于青贮燕麦和天然牧草($P<0.05$)。

表7 3种饲草的瘤胃降解参数

Table 7 Rumen degradation parameters of the 3 kinds of forages

项目 Item	燕麦干草	青贮燕麦	天然牧草	标准误 SEM	P值 P value
	Oat hay	Oat silage	Pasture		
总挥发性脂肪酸 Total volatile fatty acids (TVFA, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	61.78a	48.80ab	45.24b	4.53	0.090
乙酸 Acetic acid ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	46.32a	36.23ab	32.55b	3.60	0.081
丙酸 Propionic acid ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	9.82a	8.29a	7.13a	0.79	0.130
异丁酸 Isobutyric acid ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.42b	0.65ab	0.81a	0.10	0.079
丁酸 Butyric acid ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	4.55a	2.65c	3.46b	0.16	<0.010
异戊酸 Isovaleric acid ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.48b	0.81a	1.07a	0.09	0.009
戊酸 Valeric acid ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.19a	0.17a	0.23a	0.02	0.120
氨态氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	1.35c	6.36b	9.23a	0.42	<0.010
微生物蛋白 Microbial crude protein (MCP, $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.78b	1.86a	1.80a	0.20	0.015

2.6 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的体外产气特性

各组产气量随着时间的延长而增加(图1)。青贮燕麦的总产气量显著低于燕麦干草和天然牧草($P<0.05$)。燕麦干草和天然牧草18h之前产气量上升趋势缓慢,18h之后上升趋势明显;青贮燕麦在36h之前产气缓慢,36h之后才开始明显上升。

2.7 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的体外营养物质降解特性

3种饲草体外NDFD、ADFD降解率和pH无显著差异($P>0.05$,表8);但青贮燕麦的体外干物质降解率(dry matter digestibility, DMD)显著低于燕麦干草和天然牧草($P<0.05$)。

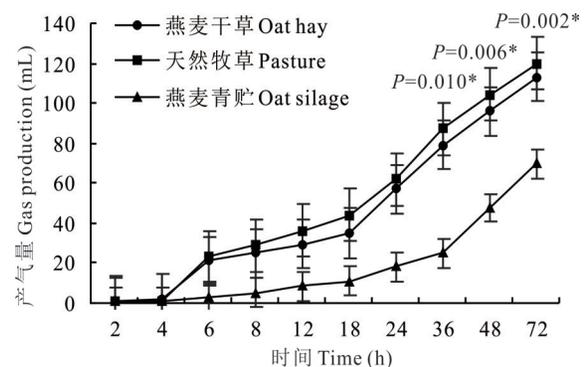


图1 3种饲草各时间段的产气量

Fig. 1 Gas production of three roughages at different time period

*: $P<0.05$.

表8 3种饲草的体外降解率和pH

Table 8 *In vitro* digestibility and pH of 3 kinds of forage

项目 Item	燕麦干草 Oat hay	青贮燕麦 Oat silage	天然牧草 Pasture	标准误 SEM	P值 P value
干物质降解率 Dry matter digestibility (DMD, %)	55.49a	44.54b	50.48a	1.22	0.018
中性洗涤剂纤维降解率 Neutral detergent fiber digestibility (NDFD, %)	47.15a	40.21a	43.96a	1.94	0.180
酸性洗涤剂纤维降解率 Acid detergent fiber digestibility (ADFD, %)	39.48a	31.55a	36.01a	2.32	0.182
pH	6.59a	6.46a	6.92a	0.21	0.330

3 讨论

3.1 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的常规养分特点

粗饲料的营养价值评定为科学配制日粮提供数据上的支持。本试验中,燕麦干草的NDF、ADF分别为58.49%、31.17%,与吴亚楠等^[14]研究开花期的坝攸8号的NDF、ADF含量接近;李鹏霞等^[15]对甘南州燕麦草进行营养价值研究,发现其EE含量为1.3%,钙含量0.45%,磷含量0.11%,本试验所用燕麦干草含量与其相近,但其CP含量为4.47%,略低于燕麦干草,可能是由于地域或收割期不同所致。

NDF、ADF会直接影响饲草的适口性和牦牛的采食量^[4]。本研究中,青贮燕麦的粗纤维含量显著高于燕麦干草($P < 0.01$),ADF含量与琚泽亮等^[16]对甘肃中部的青贮燕麦品质的研究相近,NDF含量略高于张霞^[17]研究中的青贮燕麦NDF含量,CP含量略低于肖燕子等^[18]在青贮燕麦营养价值中的研究。推测可能是高原牧区青贮技术不成熟,或燕麦收割时期较晚,导致牧草纤维化程度变高,蛋白等养分降低。

牧草的营养价值一般取决于其蛋白质、矿物质及纤维含量。蛋白质、矿物质含量越高,纤维含量越低,牧草的营养价值越高^[19-21]。本试验测得天然牧草CP含量显著高于燕麦干草与青贮燕麦,其蛋白质占干物质的9.05%,比燕麦干草高3.60%,比青贮燕麦高2.68%。前人研究报道,青海省典型牧场的牧草CP含量为3.68%~19.21%^[22],甘肃省甘南州的天然牧草NDF含量为60.25%,ADF为32.6%,EE为2.2%^[23],本研究结果与其相似。

3.2 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的碳水化合物组分特点

CNCPS将饲料中重要营养物质分为两大类,即蛋白质组分和碳水化合物组分,又将蛋白质组分细致地划分成可利用氮和不可利用氮,将碳水化合物组分划分为可利用碳水化合物和不可利用碳水化合物。根据碳水化合物在动物体内的消化降解情况,将存在于植物细胞内较容易被降解的部分称为非结构性碳水化合物(non-structural carbohydrates, NSC),将与细胞壁结合不容易被降解的部分称为结构性碳水化合物(structural carbohydrates, SC)。CNCPS体系依照碳水化合物在瘤胃内的降解速率将其分为两大类:一类是可被动物利用部分;另一类是不可利用部分。其中,可利用部分分为CA(快速降解部分),包括多糖有机酸和寡糖,在瘤胃中发酵迅速;CB1(中速降解部分),包括淀粉和果胶;CB2(慢速降解部分),包括可利用细胞壁;CC(不可利用部分),为饲料细胞壁部分,比木质素多1.4倍^[6],不能在瘤胃中降解。反刍动物降解碳水化合物,首先微生物将大分子的碳水化合物降解为单糖,然后通过无氧降解将单糖和二糖分解为CO₂、CH₄和VFA(乙酸、丙酸、丁酸等)。此外,在生成VFA的同时,形成丙酮酸、乳酸等中间产物,产生的ATP可供微生物生存利用和合成菌体蛋白。

3种饲草的碳水化合物含量为83.34%~87.78%,其中NSC含量为17.24%~36.81%,表明3种饲草的碳水化合物中主要以SC的形式存在,SC降解速度较慢,最终被微生物降解为VFA,反刍动物所需能量的70%~80%都来源于此。本试验所测燕麦干草的CA、CB2、NSC最高,接近付洋洋等^[24]所报道的燕麦干草中的含量,表明燕麦干草的碳水化合物中非结构性碳水化合物含量较高,可以快速地被瘤胃微生物降解,为机体提供能量。张一为等^[25]对不同水分的青贮燕麦品质的研究显示,低水分的青贮燕麦CB2含量为70.37%,CC含量为17.42%,本试验青贮燕麦含量与之相比略高,但燕麦干草和天然牧草与之相比略低,表明青贮燕麦中慢速降解CHO和不可利用CHO含量较高,难以被瘤胃降解,这可能是由于青贮燕麦收割期晚,秸秆占比多,结构性碳水化合物含量高,造

成青贮后不可利用碳水化合物CC含量高。天然牧草的CB1和CB2含量较高,说明其富含淀粉、果胶和可利用植物细胞壁,属于瘤胃中中速降解的碳水化合物。

3.3 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的蛋白质组分特点

依据蛋白质的降解特性,CNCPS将蛋白质组分分为PA(非蛋白氮)、PB(真蛋白)、PC(不可利用氮)。PA为快速降解蛋白,进入瘤胃中迅速地被分解;PB又分为PB₁、PB₂、PB₃;PB₁为中速降解蛋白;PB₂为慢速降解蛋白,溶于中性洗涤剂但不溶于缓冲液;PB₃为与细胞壁结合的蛋白质,不能被中性洗涤剂溶解,但小部分可以被酸性洗涤剂分解,降解速度很慢;PC为不可降解蛋白,不能被动物利用,将随粪便排出体外。

不同种类的饲料蛋白质组分差异很大,3种饲草的PA(%SP)含量为40.46%~82.34%,SP(%CP)含量为6.95%~36.17%,表明牧草中可溶性蛋白很少,且大部分是PA,这与吴健豪^[26]、于震^[27]报道的青贮、干草、玉米(*Zea mays*)秸秆SP基本是PA的结果一致。本试验中燕麦干草的PA最低,PB₂含量最高,这与刘宁宁等^[28]的研究一致;而其PC含量高于其他两种,则说明其快速降解蛋白含量少,中速和慢速降解蛋白含量较高。PA虽是反刍动物很好的氮源,但是反刍动物是通过补充青贮中蛋白氮提高瘤胃微生物的合成效率,而不是PA^[29]。本试验中青贮燕麦的PA含量最高且PB₁、PB₂、PB₃含量最低,可能是因为在青贮环境下,微生物发酵使氨基酸降解为非蛋白氮,使真蛋白含量降低。天然牧草的真蛋白部分(PB₁、PB₃)最高而PC最少,PC为难以降解部分,直接受ADFIP的影响,在饲草中的含量越少越好,这表明天然牧草是优质的粗饲料,但天然牧草产量较低且产出不稳定,难以在规模化养殖中大范围利用。

3.4 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草养分消化率的比较研究

反刍动物对饲料的消化率受多种因素影响,如饲料在瘤胃内停留时间、食糜流通速度、瘤胃微生物活性等^[30]。当动物种类、生长环境和饲养管理方式一致时,饲料的结构特点就是影响消化率的主要因素。一般来说,饲料中结构性碳水化合物(NDF、ADF和ADL)比例高时,饲料在瘤胃中降解缓慢甚至不降解,使消化率降低。李福厚^[31]测定的燕麦干草NDF消化率为79.35%,ADF消化率为77.41%;本试验中燕麦干草测定结果为NDF消化率76.46%,ADF消化率73.73%,与之相比略低;而其测得高寒草地天然牧草的NDF、ADF、OM、CP消化率分别为69.10%、67.56%、72.66%、61.93%,本试验中天然牧草的NDF、ADF、OM、CP消化率分别为79.34%、76.11%、76.85%、68.92%,与之相比略高,推断可能是由于物种差异或地域气候不同所致。温媛媛等^[32]发现坝菽3号青贮燕麦NDF消化率为61.32%,H44号ADF消化率为58%。本试验与之相比测定值偏高,可能是因为体内消化微生物区系比较完整,所以对养分的消化率较高,但是仍然低于燕麦干草和天然牧草NDF和ADF的消化率。

3.5 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草对瘤胃发酵参数的差异研究

碳水化合物发酵产生的挥发性脂肪酸(volatile fatty acids, VFA)主要包括乙酸、丙酸和丁酸,为反刍动物提供多数能量来源^[33]。本试验中燕麦干草的总挥发性脂肪酸最高,且乙酸、丙酸含量最高。丙酸是牦牛糖异生的前体物,瘤胃中丙酸含量高,说明可为机体提供更多的能量。本试验中天然牧草的TVFA浓度为45.24 mmol·L⁻¹,低于张群英等^[34]报道的高寒草地牧草的体外TVFA(51.58~62.02 mmol·L⁻¹),推测可能是因为天然牧草中的CHO含量较少,也可能是因为物种差异导致。

瘤胃中的NH₃-N是调控瘤胃微生物合成微生物蛋白速率的限制因素。瘤胃液中NH₃-N正常浓度一般在1~76 mg·dL⁻¹变化;瘤胃中最适宜的NH₃-N浓度为6.3~27.5 mg·dL⁻¹。本试验中青贮燕麦和天然牧草的NH₃-N浓度在适宜范围之内,而燕麦干草的NH₃-N浓度在正常范围内,表明饲喂了青贮燕麦和天然牧草的牦牛瘤胃微生物合成微生物蛋白效率可能高于饲喂燕麦干草的牦牛。Cardozo等^[35]通过体外试验表明,CA含量高会抑制瘤胃微生物的脱氨基作用,降低NH₃-N浓度,本试验中燕麦干草的NH₃-N浓度最低,可能是因为燕麦干草的蛋白含量过低并且CHO中CA部分与其他两种饲草相比含量最高,导致其NH₃-N浓度过低。有研究表明,饲料中蛋白质作为反刍动物主要的氮源,其含量与瘤胃NH₃-N浓度呈正相关^[36]。本试验NH₃-N浓度由高到低依次为天然牧草(9.23 mg·dL⁻¹)、青贮燕麦(6.36 mg·dL⁻¹)、燕麦干草(1.35 mg·dL⁻¹),与所测的CP水平一致。饲粮中的CP

进入瘤胃后,在瘤胃微生物脱氨基作用下降解为氨态氮(ammonia nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$),一部分被微生物利用合成MCP,进而被动物消化吸收。因此,瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度与MCP合成密切相关,本试验中,燕麦干草的MCP含量最低,与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度具有一致性,说明饲喂燕麦干草的牦牛不能很好地利用 $\text{NH}_3\text{-N}$ 合成MCP。

3.6 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的营养物质与产气特性的关系研究

本试验中,各处理组的产气量随着时间的延长而增加,理论产气最大值与CP含量呈正相关,与NDF含量呈显著负相关。天然牧草的CP含量高于其余两种牧草,且NDF含量较低,可能是其产气量最高的原因;而青贮燕麦的CP含量最低,NDF含量为3种饲草中最低,可能导致其产气量最低。体外产气受多种因素的影响。汤少勋等^[37]研究显示,粗饲料的体外累计产气量主要受可溶性NSC与粗蛋白的比例的影响。当可溶性NSC与粗蛋白之间的比例越大时,累计产气量越高,反之,累计产气量越低,即随着粗饲料中NSC含量的增加,体外发酵增强。本试验中,天然牧草的产气量显著高于青贮燕麦,综合3种饲料的常规养分分析与CNCPS分析结果,天然牧草NSC含量与CP的比值高于青贮燕麦,与汤少勋等^[37]的研究结果一致。

3.7 燕麦干草、青贮燕麦和天然牧草的营养物质体外降解率与pH值的关系研究

干物质降解率(dry matter digestibility, DMD)在一定程度上代表了瘤胃微生物对饲料的转化能力,DMD越高说明瘤胃微生物活性越强,瘤胃发酵效果越好。梁建勇等^[38]对高寒牧区的天然牧草进行干物质降解率的测定发现,高寒牧区天然牧草的DMD为47.37%~71.56%,本试验中DMD降解率由高到低依次为燕麦干草、天然牧草、青贮燕麦,说明在3种饲草中,燕麦干草瘤胃发酵效果最好,但青贮燕麦DMD降解率低于梁建勇等^[38]提出的范围,推断是因为本试验采用试验动物与其有所不同而产生差异。

NDFD是衡量粗饲料降解率的重要指标。NDF主要包括纤维素、半纤维素和木质素等,其中木质素不能被动物利用,而且会降低NDF在瘤胃内的消化率。本试验中燕麦干草的NDFD和ADFD为3种饲草中最高值,与常规养分分析试验所测燕麦干草的NDF、ADF、ADL含量一致。王亚品等^[39]研究显示,燕麦干草的ADFD为46.35%,本试验结果与之相比略低,初步推测是因为物种差异和刈割期不同。

瘤胃pH值是衡量瘤胃内部环境是否稳定和微生物对饲料消化程度的重要指标,可综合反映微生物、代谢产物和有机酸产生、吸收及排出的状况^[40]。瘤胃pH过高或过低都会对瘤胃内环境产生不利影响,过低会导致瘤胃微生物活力降低,生长繁殖受到抑制,甚至在酸性环境下失活;同时,饲料发酵产生的酸不能被充分利用,积聚在瘤胃中,最终造成瘤胃酸中毒。研究显示,有利于瘤胃微生物生长繁殖、对饲料充分发酵的pH为5.5~7.5,本研究结果为6.46~6.92,符合其适宜的范围,说明本试验所采用的3种饲草经瘤胃发酵后有利于瘤胃内环境的稳定,并可以为微生物提供适宜的生存环境。有研究表明,瘤胃pH的降低与易发酵碳水化合物的摄入水平呈线性相关。本试验中,青贮燕麦发酵后pH最低,推测是由于青贮饲料中易发酵碳水化合物含量较高,会被微生物快速地分解为挥发性脂肪酸,使pH降低。

4 结论

1)常规养分分析中,天然牧草CP含量最高,粗纤维相对较少,品质较优;青贮燕麦由于NDF、ADF最高,CP含量相对较少,品质较差。因此,3种饲草的营养价值由高到低分别为天然牧草>燕麦干草>青贮燕麦。

2)CNCPS组分分析和体外产气试验中,天然牧草的蛋白质含量高,PA和真蛋白部分含量较高,PC含量少;燕麦干草的CHO和CA含量最高;燕麦干草产气量与天然牧草差异不大;青贮燕麦中PA含量高,真蛋白部分偏低,NSC含量少,SC含量较多,产气量最低。因此3种饲草的营养价值高低仍然依次为天然牧草>燕麦干草>青贮燕麦。

3)天然牧草瘤胃发酵TVFA产量低, $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量高,且微生物蛋白产量高,而燕麦干草正好相反。

4)体内消化试验和发酵参数与体外培养试验结果基本吻合,表明体外产气法可以用于评定牦牛粗饲料营养价值。

参考文献 References:

- [1] Liu Y, Xiong X L, Zhang P, *et al.* Analysis of grassland ecological protection system in China. Chinese Abstract of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2017, 33(2): 32.
刘勇, 熊晓兰, 张苹, 等. 我国草原生态保护制度分析. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(2): 32.
- [2] Ma X Q, Zhao G Q, Gong J J. Effect of sowing date and nitrogen fertilizer on seed yield and its components of oats in alpine area. Pratacultural Science, 2010, 27(8): 88–92.
马雪琴, 赵桂琴, 龚建军. 播期与氮肥对燕麦种子产量构成要素的影响. 草业科学, 2010, 27(8): 88–92.
- [3] Lassiter C A, Huffman C F, Dexter S T, *et al.* Corn versus oat silages as a roughage for dairy cattle. Journal of Dairy Science, 1958, 41(9): 1282–1285.
- [4] Van Soest P J. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell: Cornell University Press, 2019.
- [5] Han Y W. Routine general nutrient analysis program for feed. Feed Review, 2004(2): 48.
韩友文. 饲料常规概略养分分析方案. 饲料博览, 2004(2): 48.
- [6] Sniffen C J, O'Connor J D, Van Soest P J, *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. Journal of Animal Science, 1992, 70(11): 3562–3577.
- [7] Wang L Z, Wang Z S, Xue B, *et al.* 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.
- [8] 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 and Development, 1988, 93(1): 217–222.
- [9] Zhang L Y. Feed analysis and quality test technology. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 2016.
张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 北京农业大学出版社, 2016.
- [10] Wang H J, Zhu F H. Trichloroacetic acid method and copper sulfate method comparison of true feed protein. Feed Research, 2012(11): 69–71.
王海静, 朱风华. 三氯乙酸法与硫酸铜法测定饲料真蛋白比较. 饲料研究, 2012(11): 69–71.
- [11] Leng F, Sun S, Jing Y, *et al.* A rapid and sensitive method for determination of trace amounts of glucose by anthrone-sulfuric acid method. Bulgarian Chemical Communications, 2016, 48(1): 109–113.
- [12] Yang F. Animal nutrition. Beijing: China Agriculture Press, 2004.
杨凤. 动物营养学. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [13] Feng Z C, Gao M. Improvement of colorimetric method for determination of ammonia nitrogen in rumen fluid. Animal Husbandry and Feed Science, 2010, 31(6/7): 37.
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(6/7): 37.
- [14] Wu Y N, Li Z Q. Analysis of forage oat at nutrient content dynamic in different growth stages. China Dairy Cattle, 2015(3): 60–63.
吴亚楠, 李志强. 饲用燕麦不同生育期养分含量动态变化分析. 中国奶牛, 2015(3): 60–63.
- [15] Li P X, Yang Q, Shi H M, *et al.* The nutritive value of oat grass using different modulation methods in Gannan pastoral area. China Cattle Science, 2016, 42(4): 41–43.
李鹏霞, 杨勤, 石红梅, 等. 甘南州燕麦草不同调制方法营养价值分析. 中国牛业科学, 2016, 42(4): 41–43.
- [16] Ju Z L, Zhao G Q, Chai J K, *et al.* Comprehensive evaluation of nutritional value and silage fermentation quality of different oat varieties in central Gansu Province. Acta Prataculturæ Sinica, 2019, 28(9): 77–86.
据泽亮, 赵桂琴, 柴继宽, 等. 不同燕麦品种在甘肃中部的营养价值及青贮发酵品质综合评价. 草业学报, 2019, 28(9): 77–86.
- [17] Zhang X. Research on nutrition value assessment of various forage silage and their effects on fattening beef cattle. Lanzhou: Lanzhou University, 2019.
张霞. 青贮饲草营养价值评定及其育肥肉牛研究. 兰州: 兰州大学, 2019.
- [18] Xiao Y Z, Xu L J, Xin X P, *et al.* Nutritional value and fermentation quality of different oat varieties in the Hulunbuir area. Acta Prataculturæ Sinica, 2020, 29(12): 171–179.
肖燕子, 徐丽君, 辛晓平, 等. 呼伦贝尔地区不同燕麦品种的营养价值及发酵品质评价研究. 草业学报, 2020, 29(12): 171–179.
- [19] Duan M J, Gao Q Z, Wan Y F, *et al.* Effects of grazing on community characteristics and species diversity of *Stipa purpurea* alpine grassland in northern Tibet. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(14): 3892–3900.

- 段敏杰, 高清竹, 万运帆, 等. 放牧对藏北紫花针茅高寒草原植物群落特征的影响. 生态学报, 2010, 30(14): 3892—3900.
- [20] Liu F Y, Bai D P, Chen Y L. The dynamics research on sheep grazing pasture nutrition intake in North Tianshan Mountains of Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2008, 29(5): 90—92.
刘福元, 白丁平, 陈玉林. 新疆天山北部放牧绵羊牧草营养摄入量动态变化规律研究. 家畜生态学报, 2008, 29(5): 90—92.
- [21] Zhang X H, Mu X Y, Dong Y Q, *et al.* Effect on the yield and nutrition quality of the mixed grassland with different cutting frequencies. *Xinjiang Agricultural Science*, 2014, 51(5): 951—956.
张鲜花, 穆肖芸, 董乙强, 等. 刈割次数对不同混播组合草地产量及营养品质的影响. 新疆农业科学, 2014, 51(5): 951—956.
- [22] Fan X H, Yang D Y, Hao L Z, *et al.* Annual analysis of nutritional quality of pasture in Haiyan County, Qinghai Province. *Pratacultural Science*, 2017, 34(11): 2359—2365.
范小红, 杨得玉, 郝力壮, 等. 青海省海晏县牧场牧草营养品质全年动态. 草业科学, 2017, 34(11): 2359—2365.
- [23] Man Q X, Wei S L, Yan J H, *et al.* Effects of regional and harvest periods on the nutritional value of natural pasture. *China Herbivore Science*, 2019, 39(4): 18—24.
满其贤, 魏时来, 闫继弘, 等. 地域和收获期对天然牧草营养价值的影响. 中国草食动物科学, 2019, 39(4): 18—24.
- [24] Fu Y Y, Wang D, Alatang Z L, *et al.* Evaluating the nutrition composition of conventional roughages in the major northwest house-fed yak raising regions of Sichuan Province using the cornell net carbohydrate protein system (CNCPS). *Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2018, 50(3): 39—47.
付洋洋, 王鼎, 阿拉腾珠拉, 等. 利用CNCPS法评价川西北舍饲牦牛养殖区常见粗饲料的营养价值. 畜牧与兽医, 2018, 50(3): 39—47.
- [25] Zhang Y W, Cao X H, Ma C, *et al.* Study on the quality and carbohydrate components of oat silage under two extreme water conditions. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2020(12): 5—7.
张一为, 曹学浩, 马超, 等. 两种极值水分条件下燕麦青贮品质和碳水化合物组分的研究比较. 现代畜牧兽医, 2020(12): 5—7.
- [26] Wu J H. The effect of application of cornell net carbohydrate and protein system (CNCPS) in dairy cattle production. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2010.
吴健豪. CNCPS体系在奶牛生产中应用效果的研究. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2010.
- [27] Yu Z. Application of CNCPS to ration evaluation and performance prediction in dairy cattle. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007.
于震. CNCPS在奶牛日粮评价和生产预测上的应用. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- [28] Liu N N, Xu Q F, Guo G, *et al.* Application of the cornell net carbohydrate and protein system to evaluate the quality of early and late maturing oats. *Pratacultural Science*, 2020, 37(10): 2049—2056.
刘宁宁, 许庆方, 郭刚, 等. 应用CNCPS体系评价早熟、晚熟燕麦品种的品质. 草业科学, 2020, 37(10): 2049—2056.
- [29] Rooke J A, Armstrong D G. The importance of the form of nitrogen on microbial protein synthesis in the rumen of cattle receiving grass silage and continuous intrarumen infusions of sucrose. *British Journal of Nutrition*, 1989, 61(1): 113—121.
- [30] Zeng Y, Peng Z L, Gao Y H, *et al.* Effects of gender on growth performance, nutrient apparent digestibility, and slaughter performance of house-feeding yaks. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(3): 1171—1178.
曾钰, 彭忠利, 高彦华, 等. 性别对舍饲牦牛生长性能、养分表观消化率和屠宰性能的影响. 动物营养学报, 2019, 31(3): 1171—1178.
- [31] Li F H. The effects of alpine meadow native grass and cultivated oats on digestion and metabolism of Tibetan sheep. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.
李福厚. 高寒草甸天然牧草和栽培草地燕麦对藏绵羊消化代谢的影响. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [32] Wen Y Y, Zhang M Q, Liu T T, *et al.* Associative effects between whole crop maize silage and mixed silage made from raw potato crisp processing by-product and rice straw as determined using an *in vitro* gas production technique. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(8): 154—163.
温媛媛, 张美琦, 刘桃桃, 等. 体外产气法评价生薯条加工副产品—稻草混贮与全株玉米青贮组合效应的研究. 草业学报, 2021, 30(8): 154—163.
- [33] Weng X X. The study on rumen fermentation and volatile fatty acid absorption characteristics and gene expression in dairy cows receiving different types of diets. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2013.

- 翁秀秀. 饲喂不同日粮奶牛瘤胃发酵和VFA吸收特性及其相关基因表达的研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [34] Zhang Q Y, Zhou Y X, Hao L Z, *et al.* Evaluation of forage nutritional value in alpine meadow grassland natural pasture in different months. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2020, 47(4): 1070—1079.
张群英, 周义秀, 郝力壮, 等. 高寒草甸草地天然放牧场不同月份牧草营养价值评价. *中国畜牧兽医*, 2020, 47(4): 1070—1079.
- [35] Cardozo P W, Calsamiglia S, Ferret A, *et al.* Effects of natural pasture extracts on ruminal protein degradation and fermentation profiles in continuous culture1. *Journal of Animal Science*, 2004, 82(11): 3230—3236.
- [36] Xu Z Z. Rumen fermentation and microbial fatty acid profile influenced by sources and levels of feed protein *in vitro*. Beijing: China Agricultural University, 2004.
许曾曾. 蛋白质饲料种类和添加水平对活体外瘤胃发酵和微生物氨基酸组成的影响. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [37] Tang S X, Jiang H L, Zhou C S, *et al.* Effects of different forage species on *in vitro* gas production characteristics. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(3): 72—77.
汤少勋, 姜海林, 周传社, 等. 不同牧草品种对体外发酵产气特性的影响. *草业学报*, 2005, 14(3): 72—77.
- [38] Liang J Y, Jiao T, Wu J P, *et al.* Degradation dynamic of forage dry matter of alpine rangeland in sheep rumen. *Grassland and Turf*, 2015, 35(5): 32—36.
梁建勇, 焦婷, 吴建平, 等. 高寒牧区天然草地牧草干物质的瘤胃降解率动态变化. *草原与草坪*, 2015, 35(5): 32—36.
- [39] Wang Y P, Zhang F, Hua D K, *et al.* Rumen stability of rumen-protected glucose and its effects of different doses on rumen degradation characteristics of oat hay. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(7): 3428—3438.
王亚品, 张帆, 华登科, 等. 过瘤胃葡萄糖的瘤胃稳定性及其不同剂量对燕麦干草瘤胃降解特性的影响. *动物营养学报*, 2020, 32(7): 3428—3438.
- [40] Ga E D, Qi Z L, Zhang R H, *et al.* Effects of different corn treatments on pH, NH₃-N and VFA concentrations in rumen of sheep. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2002(9): 18—20.
嘎尔迪, 齐智利, 张润厚, 等. 玉米的不同加工处理对绵羊瘤胃内pH值、NH₃-N和VFA浓度的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2002(9): 18—20.