

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0212

熊乙,许庆方,玉柱,周倩,叶占胜,欧翔,马菱艺.不同产地燕麦干草养分及饲用价值.草业科学,2018,35(10):2457-2462.

XIONG Y, XU Q F, YU ZHU, ZHOU Q, YE Z S, OU X, MA L Y. Evaluation of nutritional and feeding value of oat hay from different regions. Pratacultural Science, 2018, 35(10): 2457-2462.

不同产地燕麦干草养分及饲用价值

熊乙¹, 许庆方¹, 玉柱², 周倩², 叶占胜³, 欧翔¹, 马菱艺¹

(1.山西农业大学动物科技学院,山西 太谷 030801; 2.中国农业大学动物科技学院,北京 100193;

3.山西省朔州畜牧兽医服务中心,山西 朔州 036002)

摘要:本研究以山西燕麦、甘肃燕麦和澳洲燕麦(*Avena sativa*)干草为研究对象,分别用常规方法和近红外检测法(NIRS)测定养分并评估其饲用价值。结果表明,NIRS测定粗灰分(Ash)含量差异显著($P < 0.05$),其中澳洲燕麦干草的Ash含量最低;NIRS测定燕麦干草的粗脂肪(EE)含量表现为山西燕麦>甘肃燕麦>澳洲燕麦,且差异显著($P < 0.05$)。两种方法测定粗蛋白(CP)、可溶性碳水化合物(WSC)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)含量结果相似,其中山西燕麦干草的CP含量最高,澳洲燕麦干草的CP含量最低;澳洲燕麦干草的WSC含量最高,但NDF、ADF含量最低,同时澳洲燕麦干草的4种矿物元素(Ca、P、K、Mg)含量均最低。通过养分数据计算总可消化养分(TDN)、相对饲喂价值(RFV)、相对牧草品质(RFQ)和奶吨指数(MT),进而评估燕麦干草饲用价值。结果表明,澳洲燕麦干草的TDN、RFV和RFQ均最高;两种方法均显示澳洲燕麦干草的MT最高;甘肃燕麦干草的TDN、RFV、RFQ以及Ton DM均最低。综上所述,虽然山西燕麦干草和甘肃燕麦干草的燕麦干草CP含量较高,但是因为NDF和ADF含量高,品质与澳洲进口燕麦尚有较大差距。

关键词:燕麦;干草;近红外检测法;养分;矿物元素;饲用价值

中图分类号:S816.15;S543+.7 文献标志码:A 文章编号:1001-0629(2018)10-2457-06*

Evaluation of nutritional and feeding value of oat hay from different regions

XIONG Yi¹, XU Qingfang¹, YU Zhu², ZHOU Qian², YE Zhansheng³, OU Xiang¹, MA Lingyi¹

(1.College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China;

2.College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3.Shuozhou Animal Husbandry and Veterinary Service Center, Shanxi Province, Shuozhou 036002, Shanxi, China)

Abstract: We evaluated the nutritional and feed value of oat hay (*Avena sativa*) grown in Shanxi (SO), Gansu (GO), and Australia (AO) by the conventional method and near-infrared spectroscopy (NIRS). Based on this experiment, nutrient content measured by the conventional method and NIRS had similar trends, where AO had the lowest ash content ($P < 0.05$). The EE content in SO measured by NIRS was the highest, followed by that in GO and AO. The CP, WSC, NDF, and ADF contents determined by the two methods had similar values. The CP of SO was the highest, while it was the lowest for AO. AO had the highest WSC content and the lowest NDF and ADF contents. Furthermore, the content of four mineral elements (Ca, P, K, Mg) in AO was the lowest ($P < 0.05$). This experiment used nutrient data to calculate total digestible nutrients (TDN), relative feed value (RFV), relative forage quality (RFQ), and MT (kg milk · ton⁻¹ DM) to evaluate the feed value of oat hay. Results indicated AO to have the highest TDN, RFV, and RFQ, while MT was the highest for AO; TDN, RFV, RFQ, and MT were the lowest for GO. This experiment showed that CP content in SO and GO was relatively high, but it also led to an increase in the content of NDF and ADF; there was still a large

* 收稿日期:2018-04-11 接受日期:2018-06-15

基金项目:“十三五”国家重点研发计划:干草低损耗高品质规模化生产及产品加工技术研究与示范(2017YFD0502103)

第一作者:熊乙(1993-),男,四川广元人,在读硕士生,研究方向为饲草生产与利用。E-mail:chinajtyqy@sina.cn

通讯作者:许庆方(1972-),男,山西壶关人,教授,博士,研究方向为饲草生产与利用。E-mail:xuqfsxau@126.com

<http://cykx.lzu.edu.cn>

gap between these two sample groups and AO.

Keywords: oat; hay; near-infrared spectroscopy; nutrient; mineral element; feeding value

Corresponding author: XU Qingfang E-mail: xuqfsxau@126.com

干草是草食家畜越冬饲料的重要来源之一^[1],是畜牧业生产广泛使用的一种牧草产品。调制干草是通过降低牧草含水量使其更利于贮藏,在牧草缺乏的冬春季节为家畜提供必要的能量来源。燕麦(*Avena sativa*)为禾本科一年生植物,粮饲兼用,是高海拔地区重要的饲草来源^[2]。

为保障干草品质,常使用概略养分分析法评定干草营养价值。1964年,Vansoest等^[3]又提出了洗涤纤维分析体系,将粗纤维再次划分为中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和酸性洗涤木质素,通过洗涤纤维分析可以得出饲料中纤维素、半纤维素和木质素的含量。基于洗涤纤维和干物质采食量,美国饲草和草原理事会1978年提出了相对饲喂价值(RFV),是美国广泛使用的粗饲料质量评定指数。相对牧草品质(RFQ)也是评估粗饲料的指标,RFQ的优点是其预测模型相较于RFV更加灵活,可通过总可消化养分(TDN)进行预测,使预测值更接近实际情况^[4]。近红外光谱(NIRS)分析技术近年来被应用于不同类型饲料样品的检测,具有操作简单、快速和高效等优点^[5-6],同时也能快速测定氨基酸等其他营养成分^[7]。

我国燕麦栽培历史悠久,多种植于北方及部分高海拔地区。山西地处黄土高原,属北方农牧交错带,随着“粮改饲”政策的推行,雁门关以北地区大规模种植燕麦等饲料作物,燕麦是晋北地区栽培的主要作物之一^[8]。甘肃省畜牧业发达,是我国燕麦干草主产区之一,国内市场占有度较大。我国进口燕麦干草主要来自澳大利亚,其干草品质优良。近年来,畜牧企业不再单一进口或收购散户饲草用来加工干草,逐步开始规模化种植牧草,同时购买优质产地的牧草或进口牧草作为冬春储备料。本研究对象为山西燕麦干草、甘肃燕麦干草和澳大利亚进口燕麦干草,主要对比不同来源燕麦干草的品质,然后评估其饲喂价值,为山西燕麦干草生产提供依据,为促进“粮改饲”等政策的推进提供理论支持。

1 试验方法

1.1 材料来源

试验所用燕麦干草均于2017年7月7日至8日

取自山西省朔州市玉收农牧有限公司,使用好牛T-410干草取样器取样,3次重复,每份样品粉碎过0.425 mm筛,再用四分法分至200 g待测。山西燕麦品种为燕科2号,2017年种植并于乳熟期收获打捆。2016年购买甘肃燕麦干草品种为牧王。2016年进口的燕麦干草为澳大利亚Balco公司的特级燕麦。

1.2 测定指标及方法

常规营养成分测定使用概略养分分析法^[9]和范氏洗涤纤维素分析法^[3];干物质(DM)含量采用恒温鼓风干燥箱65℃烘至恒重测定^[10];粗灰分(Ash)使用Nabertherm LE14/16/R6型马弗炉灰化至恒重测定^[11];粗脂肪(EE)采用Ankom XT 15型脂肪测定仪测定^[12];可溶性碳水化合物(WSC)采用紫外分光光度计比色法测定^[13];粗蛋白(CP)采用福斯全自动蛋白测定仪(FOSS Kjeltac 2300)测定^[14];中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)用范氏法^[3]在Ankom 2000型纤维测定仪中测定。NIRS法基于实验室以往常规法测定得到的数据结果进行了多次校正,使用福斯饲料专用分析仪(FOSS DS2500)测定,NIRS法分析得出Ca、P、K、Mg共4种元素含量。营养成分测定结果用于饲喂价值的评估,饲喂价值评价包括总可消化养分(TDN)、干物质消化率(DDM)、干物质采食量(dry matter intake, DMI)、相对饲喂价值(RFV)^[15]、相对牧草品质(RFQ)^[16]。通过Milk 2016软件评估奶吨指数(MT)^[17]。

计算公式^[9]如下:

$$\text{TDN} = 82.38 - (0.7515 \times \text{ADF});$$

$$\text{RFV} = \text{DMI} \times \text{DDM} \div 1.29;$$

$$\text{RFQ} = \text{TDN} \times \text{DMI} \div 1.23;$$

$$\text{DDM} = 88.9 - (0.779 \times \text{ADF});$$

$$\text{DMI} = 120 \div \text{NDF}.$$

1.3 数据统计与分析

养分数据采用Microsoft Excel 2010记录并整理数据,采用Sigma Plot 13.0软件绘制矿物元素含量条形图,采用SPSS 19.0软件对养分和矿物元素数据进行统计分析,使用单因素方差分析(One-way ANOVA),运用Duncan法进行多重比较分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 常规法测定营养成分

常规分析法测定结果表明,3 个产地燕麦干草的 DM、Ash 和 EE 含量无显著差异($P>0.05$)。3 个地区燕麦干草 CP 含量差异显著($P<0.05$),表现为山西>甘肃>澳洲($P<0.05$)。WSC 含量差异显著($P<0.05$),表现为澳洲>甘肃>山西。NDF 和 ADF 含量,甘肃均最高,澳洲均最低(表 1)。

NIRS 测定 DM 含量结果与常规法测定结果相似,3 个地区间差异不显著($P>0.05$)。Ash 含量以澳洲燕麦干草最低,山西和甘肃燕麦干草均较高但两组间差异不显著($P>0.05$)。CP 含量差异显著($P<0.05$),表现为甘肃>山西>澳洲。WSC 含量差异显著($P<0.05$),表现为澳洲>甘肃>山西。NDF 和

ADF 含量,甘肃均最高,澳洲最低(表 1)。

两种方法测定 3 个地区燕麦干草养分含量差异各不同。常规法测定的 3 个地区燕麦干草的 Ash 含量均显著高于 NIRS($P<0.05$)。常规法测定澳洲燕麦干草的 ADF 含量显著低于 NIRS 法测定结果($P<0.05$)。两种方法测定结果表明,山西和甘肃燕麦干草的 EE 含量均具有显著差异($P<0.05$)。3 个地区燕麦干草的 CP 和 NDF 含量 NIRS 法均显著高于常规法($P<0.05$)。山西和澳洲燕麦干草的 WSC 含量 NIRS 法显著高于常规法($P<0.05$)(表 1)。

2.2 矿物元素含量

粗饲料中矿物元素通常含量较低,却是草食动物的必需元素。3 个地区燕麦干草的 K 含量均显著高于其他 3 种必需元素。澳洲燕麦干草的 K、Mg、Ca 和 P 含量均低于山西和甘肃燕麦干草(图 1)。

表 1 常规法和近红外法测定燕麦干草营养成分
Table 1 Conventional and NIRS method analysis of oat hay nutrients

项目 Item	测定方法 Method	产地 Location of cultivation			SEM	P
		中国山西 Shanxi, China	中国甘肃 Gansu, China	澳大利亚 Australia		
干物质 Dry matter/%	常规法 Conventional	93.48A	93.65	95.55A	0.01	0.16
	近红外法 NIRS	93.07B	93.46	93.24B	0.24	0.06
	P	0.02	0.16	<0.01		
粗灰分 Ash/%	常规法 Conventional	10.75A	10.53A	10.04A	0.02	0.48
	近红外法 NIRS	6.71Ba	6.65Ba	2.57Bb	0.08	<0.01
	P	<0.01	<0.01	<0.01		
粗脂肪 Ether extract/%	常规法 Conventional	1.35B	1.73A	1.4	0.31	0.06
	近红外法 NIRS	1.79Aa	1.61Bb	1.41c	0.03	<0.01
	P	<0.01	<0.01	0.23		
粗蛋白 Crude protein/%	常规法 Conventional	9.14Ba	8.36Bb	4.92Bc	0.05	<0.01
	近红外法 NIRS	9.46Ab	9.97Aa	5.36Ac	0.03	<0.01
	P	0.03	<0.01	<0.01		
可溶性碳水化合物 Water soluble carbohydrate/%	常规法 Conventional	6.21Bc	7.05b	19.84Ba	0.20	<0.01
	近红外法 NIRS	6.47Ac	7.15b	21.18Aa	0.19	<0.01
	P	0.03	0.06	<0.01		
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber/%	常规法 conventional	57.93Bb	61.68Ba	52.34Bc	0.955	<0.01
	近红外法 NIRS	61.80Ab	65.31Aa	59.35Ac	0.046	<0.01
	P	<0.01	0.026	<0.01		
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber/%	常规法 conventional	40.01ab	41.24a	26.41Bb	0.05	0.02
	近红外法 NIRS	40.42b	40.93a	37.18Ac	0.02	<0.01
	P	0.08	0.07	<0.01		

同行不同小写字母表示同种方法不同地区间测定结果差异显著($P<0.05$),同列不同大写字母表示相同地区不同方法间测定结果差异显著($P<0.05$)。

Different lowercase letters of the same pair indicate that the same method indicate significant difference between different regions at 0.05 level. Different capital letters in the same index indicate significant difference between different methods in the same region at the 0.05 level.

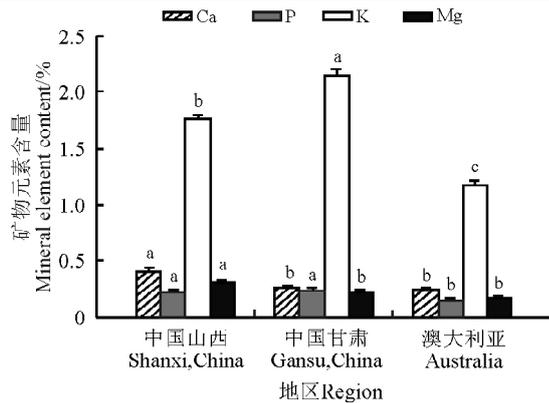


图 1 燕麦干草矿物元素含量

Fig.1 Mineral Element content of oat hay

不同字母表示不同地区间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letteres indicate significant difference among different regions at the 0.05 level.

2.3 饲喂价值评估

饲喂价值评估是一种评估饲料品质的方法,常规法和 NIRS 法对饲喂价值评估的测定结果相似,澳洲燕麦干草的 TDN 均最高,甘肃燕麦干草均最低。澳洲燕麦干草的 RFV 最高,甘肃燕麦干草的 RFV 最低,RFQ 呈现相似的结果(表 2)。使用 Milk 2016 软件评估 MT,两种方均显示澳洲燕麦最高,甘肃燕麦最低。

3 讨论

概略养分分析法和范氏洗涤纤维法广泛用于饲料成分测定,能有效地反映样品的成分差异。近红外测定法则因为其测定快速准确而逐渐被草学工作者们接受。常规养分分析的部分养分含量显著低于 NIRS 分

表 2 饲喂价值评估

Table 2 Evaluation of feeding value index

指标 Index	近红外法 NIRS			常规法 Conventional		
	中国山西 Shanxi, China	中国甘肃 Gansu, China	澳大利亚 Australia	中国山西 Shanxi, China	中国甘肃 Gansu, China	澳大利亚 Australia
总可消化养分 Total digestible nutrients	48	47	54	52	51	63
可消化干物质 Digestible dry matter	41	38	43	58	57	68
干物质采食量 Dry matter intake	3	3	3	2	2	2
相对饲喂价值 Relative feed value	94	86	107	93	86	121
相对牧草品质 Relative forage quality	116	112	142	88	81	117
奶吨指数 Milk index	1 032	974	1 227	1 025	956	1 210

析结果,但总体趋势相似。常规法测定 Ash 含量无差异显著,但 NIRS 测定结果显示澳洲燕麦干草的 Ash 含量均显著低于山西和甘肃燕麦干草。Ash 是粗饲料很重要的指标,反映出牧草矿质元素的总体含量以及生境条件^[18],但是牧草收获常会带入一些泥土,使得 Ash 含量增加,这可能是国内饲料作物收获时需要注意并重视的一个环节。常规法测定 EE 无显著差异, NIRS 测定结果则显示,澳洲燕麦干草的 EE 含量较低。常规法测定山西燕麦干草的 CP 最高, NIRS 测定甘肃燕麦干草的 CP 最高,两种方法均以澳洲燕麦干草的 CP 含量最低,可能是高海拔地区作物积累粗脂肪和蛋白含量较高^[19-20]。CP 是衡量牧草品质和饲用价值极为重要的指标^[21],澳洲燕麦干草的 CP 含量显著低于山西燕麦干草和甘肃燕麦干草,这与李志强^[22]的研究结果相同。两种方法测定的 WSC 含量结果相似,澳洲燕麦干草的 WSC 含量均最高。国内燕麦干草 WSC 含量低于进口燕麦干草,这可能是国内燕麦

干草品质低的一大重要原因。NDF 和 ADF 都是 RFV 和 RFQ 评估过程中关键的指标,澳洲燕麦干草的 NDF 和 ADF 含量均较低,研究表明 NDF 和 ADF 低的燕麦干草品质较高^[23]。由上述分析可以得出,在 CP、NDF 和 ADF 测定上,近红外技术完全能够完成养分的分析,此外,常规测定法因为流程繁琐,周期长,使得许多养分数据的 SEM 高于 NIRS 法的 SEM。

Ca 和 P 是动物机体生长发育所需的重要矿物质元素,对动物骨骼发育和机体的代谢有促进作用^[24]。反刍动物对镁的需要量高,含量一般达到 0.2%^[25],缺乏 Mg,牛、羊常表现为生长受阻。由于日粮补充矿物饲料,粗饲料中矿物元素常常不被重视,但其含量和比例对草食动物很重要。由于灰分中有许多矿物盐组成,矿质元素间接反应了灰分含量,澳洲燕麦干草矿质元素低,收获时掺入泥土杂质少。

用饲喂价值来评价粗饲料,有助于合理选择饲草产品。在反刍动物日粮中,粗饲料占 40% 至 80%。

TDN 反映粗饲料的消化率和动物的消化能力^[4]。因为 CP 含量高且纤维低的干草通常有较高的 TDN。RFV 是 ADF 和 NDF 的综合反映^[26], 本研究中, 两种方法评估饲喂价值具有相似的结果。NDF 和 ADF 较高会直接导致 RFV 和 RFQ 降低, 虽然澳洲燕麦干草的 CP 含量不高, 但是 NDF 和 ADF 较低, RFV 则有较好的评估值。近年来随着我国对饲草行业重视程度的提高, 饲草种植行业发展较为迅速, 山西和甘肃种植并收获的干草品质正不断提高。RFQ 与 RFV 相似, 都是提供粗饲料饲用价值的相对估计值, 但 RFQ 更

适用于禾本科牧草^[22]。燕麦 RFQ 结果表明, 进口燕麦草品质较高, MT 也反映出相同的结果, 国内燕麦干草的生产与加工仍然有很大提升空间。

4 结论

基于本研究的分析, NIRS 测定法方便快捷, 能够满足养分测定及饲用价值评估。虽然澳洲进口燕麦干草蛋白含量低, 但中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量低, 所以品质优良。山西生产的燕科 2 号和甘肃生产的牧王燕麦干草品质则较低。

参考文献 References:

- [1] 余成群, 荣辉, 孙维, 邵涛. 干草调制与贮存技术的研究进展. 草业科学, 2010, 27(8): 143-150.
YU C Q, RONG H, SUN W, SUN T. Research progress of hay modulation and storage technology. Pratacultural Science, 2010, 27(8): 143-150.
- [2] 刘振恒, 武高林, 仁青草, 巩晓兰, 靳瑞芳, 刘明清. 发展以燕麦为支柱产业的可持续高寒草地畜牧业. 草业科学, 2007, 24(9): 67-69.
LIU Z H, WU G L, REN Q C, GONG X L, ZHAI R F, LIU M Q. Sustainable development of animal husbandry based on oat in alpine grassland area. Pratacultural Science, 2007, 24(9): 67-69.
- [3] VANSOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [4] 贾存辉, 钱文熙, 吐尔逊阿依·赛买提, 敖维平, 古力皮叶木·阿布都克然木. 粗饲料营养价值指数及评定方法. 草业科学, 2017, 34(2): 415-427.
JIA C H, QIAN W X, Thurson Ayi Semmat, AO W P, Corye Abel Abu Duran K. Roughage nutritional value evaluation indices and research methods. Pratacultural Science, 2017, 34(2): 415-427.
- [5] 王利, 孟庆翔, 任丽萍, 杨建松. 近红外光谱快速分析技术及其在动物饲料和产品品质检测中的应用. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(6): 1482-1487.
WANG L, MENG Q X, REN L P, YANG J S. Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) and its application in the determination for the quality of animal feed and products. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(6): 1482-1487.
- [6] 李玉鹏, 李海花, 朱琪, 乔家运, 王文杰. 近红外光谱分析技术及其在饲料中的应用. 中国饲料, 2017, 576(4): 22-26.
LI Y P, LI H H, ZHU Q, QIAO J Y, WANG W J. Near-infrared spectroscopy and its application in feeds. China Feed, 2017, 576(4): 22-26.
- [7] 李守学, 陈玉艳, 贾铮, 肖志明, 王燕妮, 刘成新, 樊霞. 饲料添加剂 L-赖氨酸硫酸盐中 L-赖氨酸含量近红外速测方法研究. 动物营养学报, 2017, 29(10): 3710-3717.
LI S X, CHEN Y Y, JIA Z, XIAO Z M, WANG Y N, LIU C X, FAN X. Near infrared rapid determination method for L-Lysine content in feed additive L-Lysine sulfate. Acta Zoonu-Trimenta Sinica, 2017, 29(10): 3710-3717.
- [8] 孙建平, 董宽虎, 蒯晓妍, 薛竹慧, 高永强. 晋北农牧交错区引进燕麦品种生产性能及饲用价值比较. 草业学报, 2017, 26(11): 222-230.
SUN J P, DONG K H, KUAI X Y, XUE Z H, GAO Y Q. Comparison of productivity and feeding value of brought oat varieties in the agro-pasture ecotone of northern Shanxi. Acta Pratacultural Sinica, 2017, 26(11): 222-230.
- [9] 曹志军, 史海涛, 李德发, 李胜利. 中国反刍动物饲料营养价值评定研究进展. 草业学报, 2015, 24(3): 1-19.
CAO Z J, SHI H T, LI D F, LI S L. Progress on nutritional evaluation of ruminant feedstuff in China. Acta Pratacultural Sinica, 2015, 24(3): 1-19.
- [10] AHN J Y, KIL D Y, KONG C, KIM B G. Comparison of oven-drying methods for determination of moisture content in feed in-

- redients. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014, 27(11): 1615-1622.
- [11] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 第2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Feed Quality Testing Technology. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.
- [12] Association of Official Analytical Chemists. 39.1.08 Fat (Crude) in Meat and Meat Products Solvent Extraction (Submersion) Method. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [13] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, REBERS P A, SMITH F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 1956, 28(3): 350-356.
- [14] Lee M H. Official methods of analysis of AOAC International (16th edn). *Trends in Food Science & Technology*, 1995, 6(11): 382.
- [15] ROHWEDER D A, BARNES R F, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 1983, 47(3): 747-759.
- [16] MOORE J E, UNDERSANDER D J. Relative forage quality: An alternative to relative feed value and quality index. Florida: Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, 2002: 16-32.
- [17] SHAVER R, UNDERSANDER D, SCHWAB E. Milk: Combining yield and quality into a single term. <http://www.Uwex.Edu/ces/forage/pubs/milk2000.Htm>. 2015-07-18.
- [18] 胡华锋, 介晓磊, 郭孝, 胡承孝, 严学兵, 王成章, 赵京. 基施硒肥对不同生育期紫花苜蓿营养含量及分配的影响. *草地学报*, 2014, 22(4): 871-877.
HU H F, JIE X L, GUO X, HU C X, YAN X B, WANG C Z, ZHAO J. Effects of Se application as basal fertilizer on the nutrient contents and distribution rates of alfalfa at different growth stages. *Acta Agraria Sinica*, 2014, 22(4): 871-877.
- [19] 杨慧仙. 种子大小和海拔对青藏高原东北缘常见植物种子主要营养成分含量的影响. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2016.
YANG H X. Effects of seed size and elevation on the main nutrient content of common plant seeds in the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.
- [20] 杨慧仙, 卜海燕, 葛文静, 王学经, 徐当会, 夏玉斌, 马冰, 王顺霞. 海拔对青藏高原东北缘高寒草甸常见植物种子中主要营养成分含量的影响. *生态学杂志*, 2016, 35(9): 2299-2312.
YANG H X, BU H Y, GE W G, WANG X J, XU D H, XIA Y B, MA B, WANG S X. Influence of altitude on main seed reserves of common species in alpine meadow on the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(9): 2299-2312.
- [21] 张爱武, 鄢文艳, 郭超凡. 基于高光谱图像的牧草粗蛋白含量反演模型. *农业工程学报*, 2018, 34(3): 188-194.
ZHANG A W, YAN W Y, GUO C F. Inversion model of pasture crude protein content based on hyperspectral image. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(3): 188-194.
- [22] 李志强. 燕麦干草质量评价. *中国奶牛*, 2013, 10(19): 1-3.
LI Z Q. Evaluation of hay quality in oat. *China Dairy Cattle*, 2013, 10(19): 1-3.
- [23] 李胜利, 史海涛, 曹志军, 王雅晶. 粗饲料科学利用及评价技术. *动物营养学报*, 2014, 26(10): 3149-3158.
LI S L, SHI H T, CAO Z J, WANG Y J. Scientific utilization and evaluation technology of forage. *Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(10): 3149-3158.
- [24] 付强, 刘源. 钙、磷与维生素 D 对动物骨代谢的影响研究进展. *中国比较医学杂志*, 2006, 16(8): 502-505.
FU Q, LIU Y. Research advances in the effects of calcium, phosphorus and vitamin D on bone metabolism in animals. *Chinese Journal of Comparative Medicine*, 2006, 16(8): 502-505.
- [25] 张艳, 柏雪, 郭春华, 李世丹, 王永, 付锡三, 陈文彬, 张国俊, 陈尚永. 四川省山羊主产区常用饲料营养价值分析. *草业科学*, 2012, 29(2): 285-290.
ZHANG Y, BAI X, GUO C H, LI S D, WANG Y, FU X S, CHEN W B, ZHANG G J, CHEN S Y. Nutritional value analysis of commonly used feed in main goat producing areas in Sichuan Province. *Practical Science*, 2012, 29(2): 285-290.
- [26] 陈艳, 王之盛, 张晓明, 吴发莉, 邹华围. 常用粗饲料营养成分和饲用价值分析. *草业学报*, 2015, 24(5): 117-125.
CHEN Y, WANG Z S, ZHANG X M, WU F L, ZOU H W. Analysis of nutritional components and feed value of common roughage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(5): 117-125.

(执行编辑 苟燕妮)

<http://cykx.lzu.edu.cn>