

DOI:10.11686/cyxb2023066

http://cyxb.magtech.com.cn

徐远志, 刘新平, 王立龙, 等. 华北驼绒藜青贮加工及营养价值评价. 草业学报, 2023, 32(12): 150—159.

XU Yuan-zhi, LIU Xin-ping, WANG Li-long, et al. Processing and nutritional values of silage made from *Ceratoides arborescens*. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(12): 150—159.

华北驼绒藜青贮加工及营养价值评价

徐远志^{1,2}, 刘新平^{1*}, 王立龙¹, 胡鸿姣^{1,2}, 何玉惠³, 张铜会¹, 景家琪^{1,2}

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院奈曼沙漠化研究站, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院皋兰生态与农业综合研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:华北驼绒藜是一种品质优良的饲用半灌木,通过青贮可以提高其营养价值,但其最佳青贮工艺尚不明确。本研究采用3×4双因素试验设计,探究原料不同含水量(45%、55%、65%)和益生菌剂添加量(0、0.02、0.04、0.06 g·kg⁻¹)对华北驼绒藜青贮品质的影响。结果表明,含水量和益生菌剂显著影响华北驼绒藜青贮的营养成分($P<0.05$);含水量显著影响粗蛋白、粗纤维和灰分含量($P<0.01$);益生菌剂显著影响灰分含量($P<0.05$);在含水量65%以下,随着含水量的增加,营养价值增大;随着益生菌剂添加量的增加,营养价值呈先增大后减小的趋势;华北驼绒藜的最优青贮条件为:原料含水量65%、添加益生菌剂0.02 g·kg⁻¹。本研究为华北驼绒藜青贮饲料的高效生产提供科学支持及理论依据,对促进草牧业的发展、解决饲料资源短缺问题具有重要意义。

关键词:华北驼绒藜;青贮;营养价值;发酵品质

Processing and nutritional values of silage made from *Ceratoides arborescens*

XU Yuan-zhi^{1,2}, LIU Xin-ping^{1*}, WANG Li-long¹, HU Hong-jiao^{1,2}, HE Yu-hui³, ZHANG Tong-hui¹, JING Jia-qi^{1,2}

1. Naiman Desertification Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Gaolan Station of Agricultural and Ecological Experiment, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China

Abstract: *Ceratoides arborescens* is a semi-shrub forage with excellent quality, its nutritional value can be improved by ensiling. The aim of this study was to determine the optimum method to produce *C. arborescens* silage. A 3×4 two-factor experimental design was used to study the effects of the water content of the raw material (45%, 55%, 65% w/w) and probiotic concentration (0, 0.02, 0.04, 0.06 g·kg⁻¹) on the quality of *C. arborescens* silage. It was found that the water content and probiotic concentration had significant effects on the nutrient composition of *C. arborescens* silage ($P<0.05$), the water content had significant effects on the contents of crude protein, crude fiber, and ash ($P<0.01$), and the probiotic concentration had significant effects on the ash content ($P<0.05$). At water contents lower than 65% (w/w), the nutritional value of the silage increased with increasing water content. With increasing probiotic concentration, the nutritional value of the silage initially increased and then decreased. The optimal conditions for making *C. arborescens* silage were 65% (w/w) water content of the raw material and 0.02 g·

收稿日期:2023-03-03;改回日期:2023-05-10

基金项目:中国科学院科技扶贫项目(KFJ-FP-202104),内蒙古自治区科技计划项目:科尔沁沙地生态沙产业关键技术集成试验与示范,中国科学院(A类)战略性先导科技专项(XDA26020104-01)和内蒙古自治区科技计划项目(2022YFHH0063)资助。

作者简介:徐远志(1998—),男,河南开封人,在读硕士。E-mail: xuyuanzhi21@mails.ucas.ac.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: liuxinping@lzb.ac.cn

kg⁻¹ added probiotic. The results of this study provide scientific support and a theoretical basis for the efficient production of *C. arborescens* silage. Successful ensilage of *C. arborescens* will promote the development of grass husbandry and help to solve the shortage of feed resources for livestock.

Key words: *Ceratoides arborescens*; silage; nutrition value; fermentation quality

当前饲料不足已经严重限制了我国畜牧业的发展^[1],提高饲料产量和品质至关重要。面对日益发展的畜牧业,用来生产饲料的玉米(*Zea mays*)、大豆(*Glycine max*)等粮食作物仍需要大量进口,开发新型的绿色饲料不仅可以缓解饲料的短缺问题,而且是实现可持续发展的重要举措。我国灌木植物分布广,产量大,且营养成分含量高,适口性好,对其进行充分合理利用,可以促进畜牧业的发展。华北驼绒藜(*Ceratoides arborescens*)是藜科驼绒藜属旱生半灌木,主要分布在内蒙古中东部及华北地区,其饲用价值高,产草量大,适口性好,抗逆性强,是马、骆驼、羊等家畜喜食的优良牧草,有巨大的开发潜力^[2-4]。目前对于华北驼绒藜的研究主要关注其生物学、生态学、种子、抗性 & 栽培技术等方面,但对其加工利用的研究报道还较少^[5-6]。

青贮不仅可以有效保存新鲜牧草^[7],避免营养成分的损失,还可以提升家畜对饲料的消化利用率^[8-9],长期以来一直是反刍动物生产中保存牧草的主流技术^[10]。青贮主要依靠乳酸菌将可溶性碳水化合物转化为乳酸,造成低pH环境,抑制好氧菌的生长,使饲料得以保存^[11],并改善适口性^[12]。已有研究表明,青贮可以显著提高玉米秸秆^[13]、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)^[14]和华北驼绒藜^[5]等常见饲用植物的营养价值。在青贮乳酸发酵的过程中,青贮原料的水分是一个关键因子^[15],过多或过少的水分都会对青贮效果造成不利的影响。而不同的植物进行青贮时所适宜的水分条件并不相同,需要单独进行研究确定。实践中发酵品质往往较差,通常根据青贮条件或青贮原料的特性在青贮中使用青贮添加剂^[16]。青贮菌剂是用于饲料青贮的一类微生物添加剂,可以调节青贮料内微生物区系,调控发酵过程,更好地保留饲料的营养价值^[17]。相比于化学添加剂,菌剂使用方便,经济高效,无污染,对农用机械无腐蚀^[18],在青贮饲料制备中更具有适用性。但对于青贮菌剂施用和配比方面的研究还有待完善,培育和利用效果好且适应性强的菌剂,具有重要的实践意义。已有研究表明,不同添加剂会影响华北驼绒藜的青贮品质,比如乳酸菌制剂可以降低青贮料的pH值^[2],添加纤维素酶可以降低粗纤维的含量^[5],从而提高青贮的品质和营养价值。但关于华北驼绒藜青贮过程中水分及水分与菌剂交互作用的研究尚未见报道。因此,本研究以华北驼绒藜为青贮对象,通过控制含水量和益生菌剂两个因素,探究其对于华北驼绒藜青贮品质的影响,筛选最佳青贮方式,为提高华北驼绒藜的青贮品质提供指导,促进华北驼绒藜适生地区畜牧业的发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区奈曼旗境内(42°58' N, 120°43' E),该区属温带半干旱大陆性季风气候,年均气温5.8~6.4℃,年平均降水量310~500 mm,且主要集中在6—8月。年蒸发量1500~2500 mm。土壤类型主要为风沙土,地貌类型为流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘、平缓沙地等^[19]。该区常见的灌木和半灌木有小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、华北驼绒藜、兴安胡枝子(*Lespedeza daurica*)等。其中华北驼绒藜主要生长于固定沙丘、沙地、荒地或山坡上,在该研究区分布广泛。

1.2 试验材料及设计

样品采集及试验在科尔沁沙地腹地的中国科学院奈曼沙漠化研究站进行。益生菌剂为复合菌剂,以4:1的比例添加植物乳杆菌和戊糖片球菌,且添加量大于活菌数100万CFU·g⁻¹。于2022年7月底收割较嫩的华北驼绒藜茎叶,采用双因素完全随机设计,A因素为原料含水量,设置3个水平,通过整株晾晒不同时间(0、3、24 h),测得含水量分别为65%、55%、45%左右;B因素为添加益生菌剂,设置4个水平,分别为0(不添加)、0.02、0.04、0.06 g·kg⁻¹(鲜重);共12个处理,每个处理重复6次,其中3袋样品用于营养成分检测,另外3袋用于青贮品质感官评价同时可做备用。

1.3 青贮方法

将华北驼绒藜铡切至小段,每份样品称取500 g,所有样品通过均匀喷洒添加1%鲜重的红糖和0.1%鲜重的纤维素酶,根据试验设计添加不同水平的益生菌剂,混合均匀,装入聚乙烯袋,用真空包装机抽真空并封口,室温遮光条件下放置60 d后开启,取样进行感官评价及相关指标分析。红糖的主要成分是蔗糖,可以作为益生菌生长的底物^[20]。纤维素酶可以促进纤维降解,使可溶性碳水化合物转化为乳酸,降低了青贮饲料的pH值,使牧草更好地保存^[21]。

1.4 指标测定方法

粗蛋白(crude protein, CP)含量=总氮含量×6.25;采用索氏抽提法测定粗脂肪(crude fat, EE)含量;采用洗涤法测定植物粗纤维(crude fiber, CF)含量;采用质量法测定植物灰分(ash);采用差减法计算无氮浸出物(nitrogen free extract, NFE)含量;采用钼锑抗吸光度法测定植物全磷(total phosphorus, TP)含量;采用ICP-aes/ms法测定Ca含量^[22]。

1.5 数据来源及分析

用于对比的青贮玉米秸秆及紫花苜蓿营养成分数据来自《中国饲料成分及营养价值表》^[23]。采用SPSS 25.0软件对数据进行统计分析,分别对同一含水量不同菌剂添加量、同一菌剂添加量不同含水量处理进行单因素方差分析,对两种处理交互作用进行双因素方差分析,并采用Duncan法进行多重比较;采用Origin 2023制图。利用灰色关联度法对青贮后的样品进行营养价值评价,其可以很好地综合各项营养成分指标,评价不同处理间的差异性,反映出样品的优劣程度^[24]。将12种不同处理的样品视为一个灰色系统,每个处理的样品为此系统的一个因素,分析样品间的联系程度即关联度。构建一个参考样品 X_0 , X_0 的营养成分含量作为参考数列 $[X_0(1), \dots, X_0(N)]$,参试样品为比较数列 X_i ,对样品营养成分含量与参考样品相应指标之间的关联度进行排序,即为营养价值的高低。粗蛋白、粗脂肪、无氮浸出物为牧草中的营养物质和能量来源,粗灰分、钙和磷是矿物质,是家畜生长发育所必需的,所以这6个指标越高越好^[25],参考样品为这些指标各自的最大值。粗纤维会降低饲料的消化率,所以其含量越低越好,参考样品的粗纤维值为试验样品中的最低值。采用初值化处理对数据进行无量纲化处理,之后代入公式计算加权关联度。关联系数计算公式:

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (1)$$

式中: $|X_0(k) - X_i(k)|$ 为 X_0 数列与 X_i 数列在第 k 点的绝对差, $\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最小差, $\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|$ 为二级最大差, ρ 为分辨系数,一般取 $\rho=0.5$ 。

$$\text{等权关联度 } \delta = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k) \quad (2)$$

式中: N 为营养指标的个数。

在牧草中,各营养成分对营养价值的贡献度是不一样的,为了更加客观评价,需要对各营养成分赋权重值 WK ,权重值根据前人的研究结果和经验确定^[26]。加权关联度计算公式:

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^N WK \times \xi_i(k) \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 华北驼绒藜青贮后营养成分变化

华北驼绒藜经过青贮后,无氮浸出物和灰分含量降低,粗脂肪和粗蛋白含量升高,其他营养成分变化不大(图1)。而常见的青贮饲料玉米秸秆和紫花苜蓿,青贮后主要表现为粗蛋白和无氮浸出物含量升高、粗纤维含量降

低。经过青贮,3种常见饲用植物的营养价值均得到提高,其中,华北驼绒藜的粗蛋白、粗脂肪、灰分和钙含量最高,但其无氮浸出物、磷含量最低,且粗纤维含量最高。

青贮完成后,按照农业部《青贮饲料质量评定标准》^[28],评定青贮料颜色、气味、质地及是否霉变。华北驼绒藜青贮开封后,现场对青贮料进行感官评价。所有处理的样品均未发现霉变;颜色均为黄绿色,65%含水量的样品颜色略深;质地均较好,青贮料均不粘手;味道为较浓的酸香味。感官上,所有样品均表现良好,不同处理之间的差异不明显。

含水量显著影响粗蛋白、粗纤维、粗灰分以及钙含量(图2,表1, $P<0.01$)。益生菌剂显著影响粗灰分($P<0.05$)和磷含量($P<0.01$)。含水量和益生菌剂的交互作用显著影响磷含量($P<0.01$),对其他营养成分影响不显著($P>0.05$)。含水量为45%时,添加菌剂相对于对照没有显著变化($P>0.05$)。含水量在55%以上时,添加菌剂使得营养成分发生了显著变化($P<0.05$)。粗脂肪和无氮浸出物含量不受含水量和益生菌剂的影响($P>0.05$)。

线性拟合结果(图3)显示,粗蛋白、粗纤维和灰分与含水量显著相关($P=0.001$ 、 $P<0.001$ 、 $P<0.001$),磷含量与益生菌剂添加量显著负相关($P<0.05$)。且粗纤维含量对原料含水量更加敏感,灰分含量次之。其他指标与这两种处理无显著的线性关系($P>0.05$)。随含水量增大,粗纤维减少的量与粗蛋白和灰分增加的量接近,说明更高原料含水量的青贮条件有利于粗纤维转化为粗蛋白和灰分,提高了营养价值。添加过多的益生菌剂降低了样品中磷的含量,不利于提高营养价值。

2.2 最佳青贮条件筛选

灰色关联度计算及营养价值排序结果(表2)显示,65%含水量条件下,青贮后的营养成分加权关联度普遍较高,都在0.8以上;45%条件下处理的样品较低,均低于0.8。添加益生菌剂0和 $0.02\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的样品青贮效果普遍好于 0.04 和 $0.06\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理的样品,且添加 $0.02\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 菌剂的关联度最高,呈现出随菌剂添加量的增大,营养价值先增大后减小的趋势。相同的水分条件下,添加 $0.02\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 益生菌剂关联度最好;相同的菌剂添加量条件下,65%含水量的样品关联度最好。青贮效果最差的是含水量最低且不添加菌剂的样品。相反地,青贮效果最佳的是含水量65%,且添加益生菌剂 $0.02\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 讨论

3.1 含水量对青贮品质的影响

原料适宜的含水量是制作优质青贮饲料的重要条件^[29]。现有的研究对很多植物进行了水分控制的青贮试验,结果并不相同。对光叶紫花苕(*Vicia villosa*)进行晾晒,含水量降低后再对其进行青贮的效果好于直接青

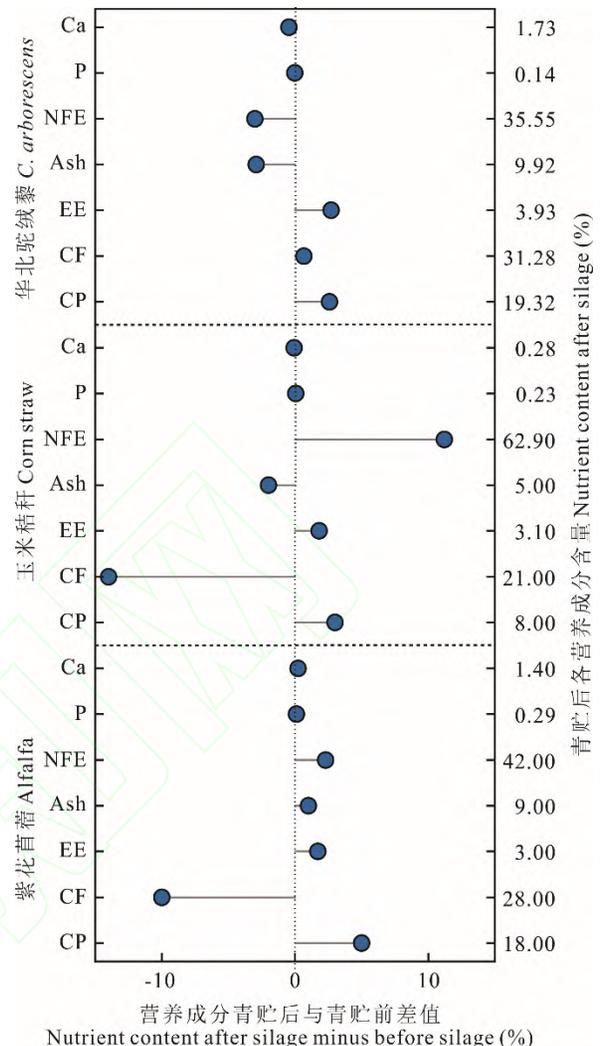


图1 华北驼绒藜^[27]、玉米秸秆、紫花苕青贮后营养成分变化^[22]

Fig. 1 Changes of nutrient composition after *C. arborescens*, corn straw and alfalfa silage

CP: 粗蛋白 Crude protein; CF: 粗纤维 Crude fiber; EE: 粗脂肪 Ether extract; Ash: 粗灰分 Crude ash; NFE: 无氮浸出物 Nitrogen free extract; P: 磷 Phosphorus; Ca: 钙 Calcium.

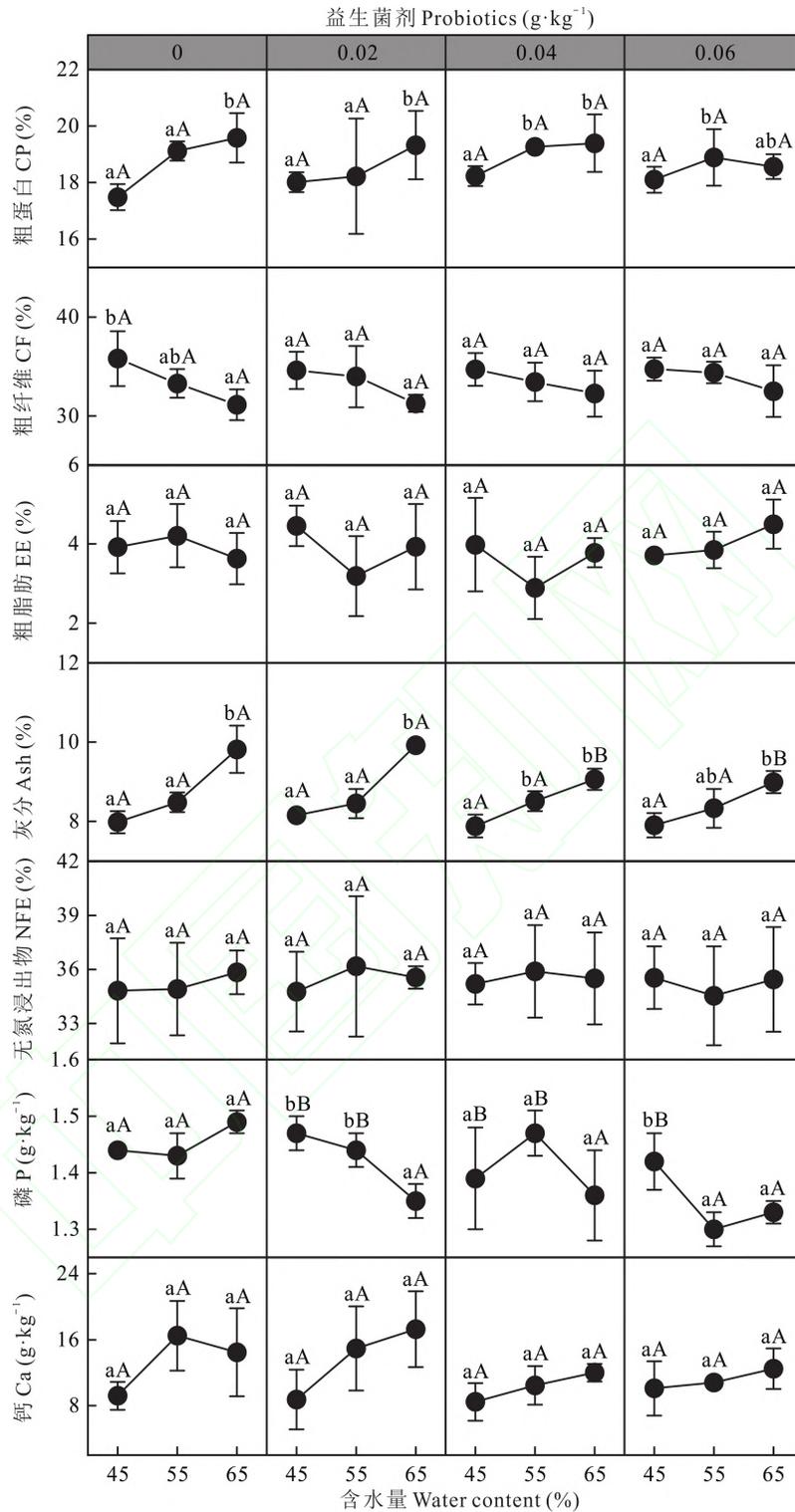


图2 不同处理间营养成分含量

Fig. 2 Nutrient content in different treatments

不同大写字母表示相同菌剂添加量不同含水量处理间差异显著($P < 0.05$);不同小写字母表示相同含水量不同菌剂添加量之间差异显著($P < 0.05$)。Different capital letters indicate significant differences among the different water content for the same amount of probiotics at the 0.05 level; and different lowercase letters indicate significant differences among different amount of probiotics for the same water content at the 0.05 level.

贮^[30];晾晒高冰草(*Agropyron elongatum*)降低其水分,较低的含水量可以提高其青贮发酵的品质^[31];低水分稻草(*Oryza sativa*)的青贮品质优于常规水分^[32]。但也有研究结果表明,较高的含水量(75%)对辣椒(*Capsicum annuum*)秸秆的青贮效果更好^[33];在苜蓿青贮发酵过程中,青贮料水分过低会降低反应介质中水的活性,导致产

表 1 样品营养成分方差分析

Table 1 Variation analysis of sample nutrient composition

变异来源 Variation source	粗蛋白 Crude protein (%)	粗纤维 Crude fiber (%)	粗脂肪 Ether extract (%)	粗灰分 Crude ash (%)	无氮浸出物 Nitrogen free extract (%)	钙 Calcium ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	磷 Phosphorus ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
含水量 Water content (W)	6.447**	7.820**	1.514	61.953**	0.131	7.206**	3.277
菌剂 Probiotics (P)	0.513	0.150	0.672	3.557*	0.057	2.133	8.496**
含水量×菌剂 W×P	0.742	0.322	1.320	1.777	0.167	0.917	5.533**

** : $P < 0.01$; * : $P < 0.05$.

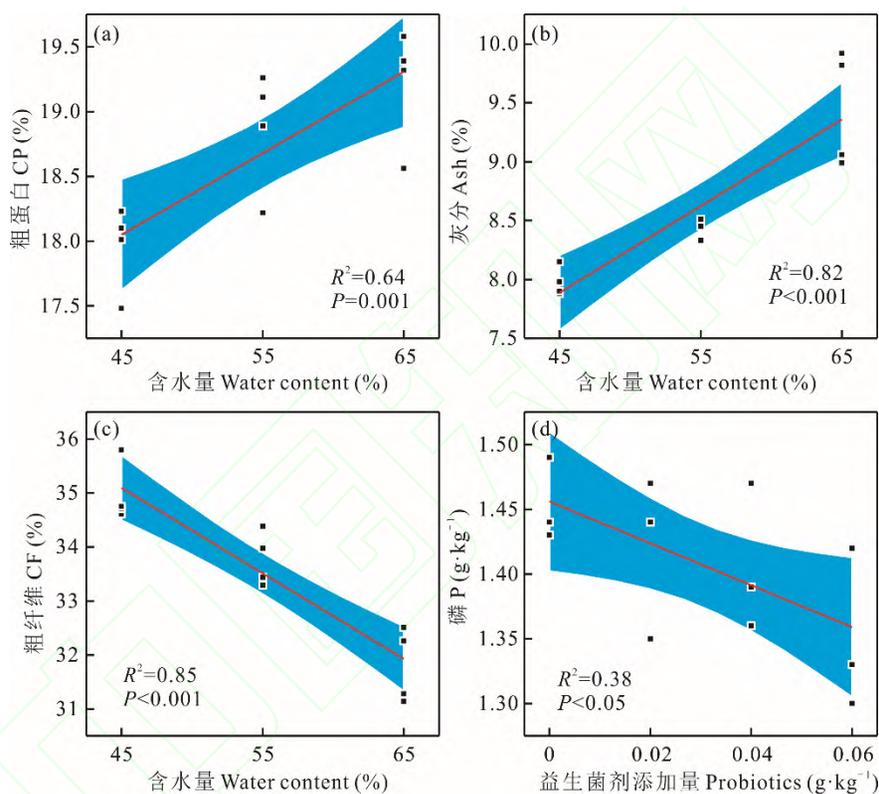


图 3 含水量和益生菌剂与营养成分的线性拟合

Fig. 3 Linear fits between water content and probiotics to nutrient composition

酸菌缺乏水分,使得青贮酸度积累变慢,对发酵造成不利影响^[34]。因此,最适宜青贮的原料含水量因植物种类的不同而存在差异,可能与不同植物可溶性糖含量和植株表面乳酸菌的含量不同有关。本研究的结果表明,在含水量45%~65%之间,较高的含水量更有利于华北驼绒藜青贮品质的提高。随着含水量的增加,粗蛋白显著增加、粗灰分极显著增加,钙的含量显著增加,粗纤维则与含水量显著负相关,从而提高营养价值。但并不能证明含水量越高越好,含水量过高会加快营养物质的分解,同时促进不良微生物的生长,导致青贮腐败^[35];含水量过低会限制微生物的活性,阻碍乳酸的产生,导致发酵速率减慢并产生丁酸等不良产物^[36],不仅降低了华北驼绒藜青贮的品质,还容易产生酵母菌和霉菌,对饲料造成破坏^[37]。试验结果也说明造成华北驼绒藜青贮发生腐败的含水量阈值要高于65%。王星凌等^[37]的试验也已证明,80%的含水量会导致苜蓿腐败,45%的含水量导致青贮产生有害菌。因此,在华北驼绒藜青贮时,若青贮料含水量低于65%,需要进行适当的水分添加。

3.2 益生菌剂对青贮品质的影响

添加青贮菌剂可以提高青贮中乳酸的含量,降低pH值,有利于青贮过程^[38]。青贮菌剂可以提高甜高粱(*Sorghum dochna*)秸秆的总糖含量,降低粗纤维含量,提高其青贮品质^[39]。在苜蓿裹包青贮中添加青贮菌剂,可

以降低丁酸含量,提高乙酸含量,抑制酵母菌和霉菌的数量^[40]。但添加菌剂并不是一直有效。在对驼绒藜进行青贮时,加入乳酸菌制剂 Lalsil Dry, 结果发现其不能有效地改善青贮的品质^[5]。添加乳酸菌、纤维酶剂和饲料益生菌素均对低水分紫花苜蓿青贮营养成分含量没有显著影响^[41]。还有研究表明,添加青贮菌剂对甜高粱青贮没有明显的改善作用,因此在青贮中无须添加菌剂^[42]。所以青贮菌剂的选择至关重要。本研究中除灰分和磷含量外,益生菌剂并没有显著影响营养成分。但试验结果显示,随着菌剂添加量的增大,粗灰分和无氮浸出物含量呈先增大后减小的趋势,同时粗纤维有先减少后增大的趋势,且磷和钙含量有明显的减少趋势,说明菌剂并不是越多越好,添加适宜的菌剂量就可以满足青贮的需要,这与胡鸿姣等^[43]对于小叶锦鸡儿青贮的研究结果相似。添加菌剂可以提高青贮中乳酸菌的数量和丰富度,增加有利菌群的相对优势度,促进发酵过程中乳酸的产生,降低青贮环境的pH值,抑制厌氧菌的生长,还可以提高干物质的利用率,从而提高青贮饲料的营养价值和储存稳定性^[44]。因此,通过控制添加菌剂的量,可以增加粗蛋白、粗灰分等营养成分的含量,并降低粗纤维的含量,提高青贮饲料的适口性^[45]。

3.3 华北驼绒藜最佳青贮方式

苜蓿是牧草之王^[46],但华北驼绒藜的粗蛋白、粗脂肪及矿物质(磷、钙)含量要高于苜蓿^[22],说明其有潜力成为优良饲料。但华北驼绒藜作为木本植物,含有较多的纤维素,降低了其营养价值,在青贮过程中加入纤维素酶有助于降低纤维素含量。通过青贮提高饲料营养成分的同时,也能提高饲料的适口性和消化率,更好地促进华北驼绒藜营养价值的提高。试验结果表明,在一定的水分条件下(含水量>55%)添加益生菌剂可以提高华北驼绒藜的青贮品质。根据灰色关联度计算结果,最佳的青贮条件是:含水量65%,添加益生菌剂0.02 g·kg⁻¹。建议通过控制合适的原料含水量,添加少量的益生菌剂来提高青贮的品质。

4 结论

含水量、益生菌剂及两者的交互作用显著影响华北驼绒藜青贮的营养成分含量,且含水量对青贮品质的影响大于益生菌剂的影响。在适宜的水分条件下,添加少量的益生菌剂可以提高青贮品质。对于华北驼绒藜,青贮的最佳条件为:原料含水量65%,益生菌剂添加量0.02 g·kg⁻¹,可以有效提高青贮料中粗蛋白和灰分的含量,并降低粗纤维的含量,提高其营养价值。本研究为提升华北驼绒藜的青贮效果提供了数据及技术支撑,进一步推动华北驼绒藜在畜牧业中的应用,为内蒙古中东部地区畜牧业的发展作出贡献。

参考文献 References:

- [1] Zhang Y C, Wang X K, Li D X, *et al.* Impact of wilting and additives on fermentation quality and carbohydrate composition of mulberry silage. *Asian—Australasian Journal of Animal Sciences*, 2020, 33(2): 254—263.
- [2] Tao L, Yu Z. The dynamics of *Ceratoides arborescens* fermentation quality in the process of ensiling. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(6): 122—127.
陶莲, 玉柱. 华北驼绒藜青贮贮藏过程中发酵品质的动态变化. *草业学报*, 2009, 18(6): 122—127.
- [3] Yin F Y, Alata, Wang H M, *et al.* Research report on *Ceratoides arborescens* from Chahar. *Grassland and Prataculture*, 2019, 31(4): 53—59.

表2 不同处理样品的加权关联度及排序

Table 2 Weighted grey correlative degrees and ordering of different treatment samples

含水量 Water content (%)	菌剂添加量 Probiotics (g·kg ⁻¹)	加权关联度 Weighted grey correlative degrees	加权排序 Weighted ordering
65	0.02	0.8775	1
65	0.00	0.8652	2
65	0.06	0.8502	3
55	0.00	0.8428	4
65	0.04	0.8113	5
45	0.02	0.7916	6
55	0.04	0.7484	7
55	0.06	0.7477	8
45	0.04	0.7246	9
55	0.02	0.7083	10
45	0.06	0.7031	11
45	0.00	0.6864	12

- 伊风艳, 阿拉塔, 王海明, 等. 察哈尔华北驼绒藜研究报告. 草原与草业, 2019, 31(4): 53—59.
- [4] Wang P C, Yi J, Zhao L L, *et al.* Study on the relationship between *Ceratoides arborescens* population spatial pattern and environment factors. *Seed*, 2009, 28(3): 5—9.
王普昶, 易津, 赵丽丽, 等. 华北驼绒藜种群空间分布格局及其环境依赖性研究. 种子, 2009, 28(3): 5—9.
- [5] Li J, Tao L, Yu Z. Effect of different additives on fermentation quality and *in vitro* digestibility of *Ceratoides arborescens* (Losinsk) Tsien *et C.* G. Ma silages. *Acta Agrestia Sinica*, 2010, 18(1): 93—96.
李静, 陶莲, 玉柱. 添加剂对华北驼绒藜青贮发酵品质和体外消化率的影响. 草地学报, 2010, 18(1): 93—96.
- [6] Lu L N, He J J, He X, *et al.* Study on the present situation of *Ceratoides* (Tourn. Gagnebin). *Seed*, 2015, 34(4): 43—47.
卢立娜, 何金军, 贺晓, 等. 驼绒藜属植物的研究现状. 种子, 2015, 34(4): 43—47.
- [7] Grant R J, Ferraretto L F. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(5): 4111—4121.
- [8] Wang X N, Sun Q Z, Han H B, *et al.* The quality of silage in Inner Mongolia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(3): 149—155.
王晓娜, 孙启忠, 韩海波, 等. 内蒙古青贮饲料质量研究. 草业学报, 2011, 20(3): 149—155.
- [9] Jiang H, Zhang L, Ma J P, *et al.* The effect of withered *Alhagi sparsifolia* and rice straw mix-ensiling on silage quality. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 109—116.
蒋慧, 张玲, 马金萍, 等. 枯黄期骆驼刺与稻草混贮对青贮饲料品质的影响. 草业学报, 2011, 20(2): 109—116.
- [10] Bao X, Feng H, Guo G, *et al.* Effects of laccase and lactic acid bacteria on the fermentation quality, nutrient composition, enzymatic hydrolysis, and bacterial community of alfalfa silage. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 1035942.
- [11] Li Y, Du S, Sun L, *et al.* Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on dynamic fermentation quality and microbial community of native grass silage. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 830121.
- [12] Driehuis F. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. *Agricultural and Food Science*, 2013, 22(1): 16—34.
- [13] Xie W B, Chen J J, Tian B, *et al.* Effect of *Lactobacillus brucelli* on quality and *in vitro* digestibility of corn straw silage. *Feed Research*, 2022, 45(21): 122—126.
谢文斌, 陈娟娟, 田斌, 等. 布氏乳杆菌对玉米秸秆青贮品质和体外消化率的影响. 饲料研究, 2022, 45(21): 122—126.
- [14] Zong C, Zhang J, Shao T, *et al.* Effects of additives on fermentation quality of alfalfa silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(12): 180—187.
宗成, 张健, 邵涛, 等. 添加剂对紫花苜蓿青贮饲料发酵品质的影响. 草业学报, 2020, 29(12): 180—187.
- [15] Zhuang Y F, Chen X Z, Liao H Z, *et al.* Use of mixed silage of water hyacinth and corn straw as feed sources. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(9): 1615—1621.
庄益芬, 陈鑫珠, 廖惠珍, 等. 水葫芦与玉米秸秆混合青贮的研究. 动物营养学报, 2011, 23(9): 1615—1621.
- [16] Zhang L, Li X, Wang S, *et al.* Effect of sorbic acid, ethanol, molasses, previously fermented juice and combined additives on ensiling characteristics and nutritive value of napiergrass (*Pennisetum purpureum*) silage. *Fermentation*, 2022, 8(10): 528.
- [17] Dong M Y, Wang S Y, Jiang B L, *et al.* Effects of different silage inoculants on silage quality of sweet sorghum silage. *Feed Industry*, 2016, 37(1): 28—31.
董妙音, 王曙阳, 姜伯玲, 等. 添加不同的青贮菌剂对甜高粱青贮品质的影响. 饲料工业, 2016, 37(1): 28—31.
- [18] Ma C H, Xia Y J, Han J, *et al.* Effects of different additives on the quality of *Medicago sativa* silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(1): 128—133.
马春晖, 夏艳军, 韩军, 等. 不同青贮添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响. 草业学报, 2010, 19(1): 128—133.
- [19] Liu X P, He Y H, Zhao X Y, *et al.* Characteristics of precipitation in Naiman region of Horqin sandy land. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(2): 155—158.
刘新平, 何玉惠, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地奈曼地区降水变化特征分析. 水土保持研究, 2011, 18(2): 155—158.
- [20] Xie Y, Bao J, Li W, *et al.* Effects of applying lactic acid bacteria and molasses on the fermentation quality, protein fractions and *in vitro* digestibility of baled alfalfa silage. *Agronomy*, 2021, 11(1): 91.
- [21] Hou M, Gentu G, Liu T, *et al.* Silage preparation and fermentation quality of natural grasses treated with lactic acid bacteria and cellulase in meadow steppe and typical steppe. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2016, 30(6): 788—796.
- [22] Yang S. Feed analysis and feed quality monitoring technology. Beijing: China Agricultural University Press, 1998: 330—338.
杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 1998: 330—338.
- [23] Tables of feed composition and nutritive values in China (2022 Thirty-third Edition). *China Feed*, 2022(24): 63—68.

- 中国饲料成分及营养价值表(2022年第33版). 中国饲料, 2022(24): 63—68.
- [24] Zhu J Z. Practical teaching guidance of pratacultural science. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
朱进忠. 草业科学实践教学指导. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [25] Larson S R, Mayland H F. Comparative mapping of fiber, protein, and mineral content QTLs in two interspecific *Leymus* wildrye full-sib families. *Molecular Breeding*, 2007, 20(4): 331—347.
- [26] Tian B, Ran X Q, Xue H, *et al.* Evaluation of the nutritive value of 42 kinds of forage in Guizhou Province by grey relational grade analysis. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(1): 92—103.
田兵, 冉雪琴, 薛红, 等. 贵州42种野生牧草营养价值灰色关联度分析. 草业学报, 2014, 23(1): 92—103.
- [27] Zhao S Y, Alata, Li J Z. *Ceratoides arborescens* and the evaluation of its feeding value. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2012, 33(Z2): 103, 107.
赵书元, 阿拉塔, 李敬忠. 华北驼绒藜及其饲用价值的评价. 畜牧与饲料科学, 2012, 33(Z2): 103, 107.
- [28] Liu J X, Yang Z H, Ye J A, *et al.* Reasonable preparation and quality evaluation standard of silage. *Feed Industry*, 1999(3): 4—7.
刘建新, 杨振海, 叶均安, 等. 青贮饲料的合理调制与质量评定标准. 饲料工业, 1999(3): 4—7.
- [29] Cheng F F, Yang J H, Xia M L, *et al.* Effect of different raw materials moisture and additives on the quality of alfalfa silage. *Feed Research*, 2020, 43(12): 106—109.
程方方, 杨君辉, 夏茂林, 等. 不同原料水分含量和添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响. 饲料研究, 2020, 43(12): 106—109.
- [30] Chen P F, Bai S Q, Yang F Y, *et al.* Effects of additive and moisture content on fermentation quality of smooth vetch silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(2): 80—86.
陈鹏飞, 白史且, 杨富裕, 等. 添加剂和水分对光叶紫花苜蓿青贮品质的影响. 草业学报, 2013, 22(2): 80—86.
- [31] Liu L, Chen X, Li Z, *et al.* Effects of moisture content and additives on the quality of *Agropyron elongatum* silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(6): 203—207.
刘玲, 陈新, 李振, 等. 含水量及添加剂对高冰草青贮饲料品质的影响. 草业学报, 2011, 20(6): 203—207.
- [32] Chen X Z, Zou C L, Zhang W C, *et al.* The effects of cellulase on silage quality of rice straw with normal and low moisture contents. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(2): 453—458.
陈鑫珠, 邹长连, 张文昌, 等. 纤维素酶对常规水分和低水分稻草青贮品质的影响. 草地学报, 2018, 26(2): 453—458.
- [33] Zhou J J, Wei W, Qin A Q, *et al.* Effects of moisture and additives on the quality of pepper straw silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(2): 231—239.
周娟娟, 魏巍, 秦爱琼, 等. 水分和添加剂对辣椒秸秆青贮品质的影响. 草业学报, 2016, 25(2): 231—239.
- [34] Wan L Q, Li X L, Zhang X P, *et al.* The effect of different water contents and additive mixtures on *Medicago sativa* silage. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(2): 40—45.
万里强, 李向林, 张新平, 等. 苜蓿含水量与添加剂组分浓度对青贮效果的影响研究. 草业学报, 2007, 16(2): 40—45.
- [35] Kung J L, Stokes M R. Silage fermentation and preservation. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(4): 1353—1369.
- [36] Kung L, Shaver R. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 2001, 3(13): 1—5.
- [37] Wang X L, Zhu R S, Zhao H B, *et al.* Effects of moisture contents and inoculants on quality of wrapped alfalfa silage. *Shandong Agricultural Sciences*, 2015, 47(11): 106—110.
王星凌, 朱荣生, 赵红波, 等. 不同含水量和菌剂对紫花苜蓿裹包青贮质量的影响. 山东农业科学, 2015, 47(11): 106—110.
- [38] Diepersloot E C, Pupo M R, Ghizzi L G, *et al.* Effects of microbial inoculation and storage length on fermentation profile and nutrient composition of whole-plant *Sorghum* silage of different varieties. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 660567.
- [39] Yue L, Ye K, Zaituniguli K E B, *et al.* Effects of silage inoculants on quality of sweet sorghum straw and distiller's grains. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 54(10): 1856—1862.
岳丽, 叶凯, 再吐尼古丽·库尔班, 等. 青贮菌剂对甜高粱秸秆与酒糟青贮品质的影响. 新疆农业科学, 2017, 54(10): 1856—1862.
- [40] Zhang T, Li L, Zhang Y Z, *et al.* The application effect of adding silage inoculants bacteria in *Medicago sativa* silages. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(1): 100—104.
张涛, 李蕾, 张燕忠, 等. 青贮菌剂在苜蓿裹包青贮中的应用效果. 草业学报, 2007, 16(1): 100—104.
- [41] Zhang J X, Qiao H X, Liu Y T. Effects of moisture and additives on feed quality of alfalfa silage. *Pratacultural Science*, 2014,

31(4): 766–770.

张金霞, 乔红霞, 刘雨田. 水分和添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响. 草业科学, 2014, 31(4): 766–770.

- [42] Li M C, Ren A, Du Z Y, *et al.* Effects of silage inoculum level on the quality of sweet sorghum silage and *in vitro* fermentation characteristics of different varieties of sorghum silage. *China Feed*, 2023(3): 131–136.

李茂春, 任傲, 杜志艳, 等. 青贮菌剂对甜高粱青贮品质影响及不同品种甜高粱青贮体外发酵特性研究. 中国饲料, 2023(3): 131–136.

- [43] Hu H J, Liu X P, Zhang T H, *et al.* Feed nutritional value and silage processing properties of *Caragana microphylla*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(11): 181–190.

胡鸿姣, 刘新平, 张铜会, 等. 小叶锦鸡儿饲用营养价值及青贮加工. 草业学报, 2021, 30(11): 181–190.

- [44] Ni K, Wang F, Zhu B, *et al.* Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage. *Bioresource Technology*, 2017, 238: 706–715.

Wang Y, Xu D, Wang Z, *et al.* Effects of water content and inoculant on silage quality and microbial diversity of *Pennisetum sinense* Roxb. *Microbial Biotechnology*, 2018, 11(1): 210–220.

- [46] Zhang Y C, Yin S L, Wang Y W, *et al.* Research progress in woody forage silage. *Biotechnology Bulletin*, 2021, 37(9): 48–57.

张颖超, 尹守亮, 王一炜, 等. 木本饲料青贮研究进展. 生物技术通报, 2021, 37(9): 48–57.