

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0498

据泽亮,赵桂琴,覃方铨,焦婷.含水量对燕麦及燕麦+箭筈豌豆裹包青贮品质的影响.草业科学,2016,33(7):1426-1433.

Ju Z L, Zhao G Q, Qin F C, Jiao T. Effect of different moisture contents on fermentation quality of baling silage of monoculture oat and oat and common vetch mixture. Pratacultural Science, 2016, 33(7): 1426-1433.



## 含水量对燕麦及燕麦+箭筈豌豆 裹包青贮品质的影响

据泽亮,赵桂琴,覃方铨,焦婷

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室 甘肃省草业工程实验室,  
中一美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为了探讨含水量对燕麦(*Avena sativa*)以及燕麦+箭筈豌豆(*Vicia sativa*)混合(6:4)后裹包青贮发酵品质的影响,设45%~50%(A<sub>1</sub>)和65%~70%(A<sub>2</sub>)两个含水量,以单贮(CK)和与箭筈豌豆混贮燕麦(H)为原料,研究采用捆裹法青贮40、80和120 d的发酵品质和养分含量,分析原料含水量对两种原料裹包青贮料品质的影响。结果表明,含水量及单、混贮对燕麦青贮发酵品质的影响极显著( $P<0.01$ )。A<sub>2</sub>含水量下各处理的粗蛋白、乳酸和水溶性糖含量比较稳定,pH值和氨态氮含量显著( $P<0.05$ )降低,青贮效果较优。A<sub>1</sub>含水量下粗蛋白含量下降幅度远高于A<sub>2</sub>;A<sub>2</sub>H处理显著( $P<0.05$ )降低了青贮料的pH,同时其乳酸含量在青贮40、80和120 d时一直保持最高值,120 d时仍高达0.82%,比最低的A<sub>1</sub>CK(0.50%)高64.00%。燕麦与箭筈豌豆混贮可显著改善青贮发酵品质,效果优于单播燕麦。青贮40 d时,钙、磷含量以A<sub>2</sub>H为最高(1.34%和0.24%),A<sub>1</sub>H次之(1.16%和0.23%),极显著( $P<0.01$ )高于对照。青贮80 d时,A<sub>1</sub>H和A<sub>2</sub>H处理粗蛋白含量比对照分别高出31.94%和14.70%。综上所述,在青藏高原高寒地区,燕麦与箭筈豌豆混播(6:4),在箭筈豌豆盛花期、燕麦灌浆期刈割,在65%~70%含水量下裹包青贮可获得优质青贮料。

**关键词:**燕麦;箭筈豌豆;混合青贮;含水量;裹包青贮

中图分类号:S816.5<sup>+</sup>3;S344.1<sup>+</sup>6

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2016)7-1426-08\*

### Effect of different moisture contents on fermentation quality of baling silage of monoculture oat and oat and common vetch mixture

Ju Ze-liang, Zhao Gui-qin, Qin Fang-cuo, Jiao Ting

(Key Laboratory of Grassland Ecology System, Ministry of Education, Sino-U.S. Centers for Grazing land Ecosystem Sustainability, College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to study the effects of different moisture contents and single silage and mixed silage on the quality of baling silage, oat (*Avena sativa*) silage alone, oat and common vetch (*Vicia sativa*) mixed silage (6:4) were wilted to target moisture contents (45%~50% (A<sub>1</sub>) and 65%~70% (A<sub>2</sub>) for baling silage. These bales were sampled on 40, 80 and 120 days after ensiling, with 3 replicates for each treatment. The results showed that moisture contents, silage alone and mixed silage had significant effects on silage quality. Treatments at 65%~70% moisture content had more stable contents of crude protein (CP), lactic acid (LA) and water soluble carbohydrate (WSC), lower pH value and ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) counts, showing a better ensiling effectiveness. Treatment A<sub>1</sub> had much larger decreasing amount than A<sub>2</sub> on CP content. A<sub>2</sub>H significantly reduced pH value, and its LA content remained the highest at 40, 80 and 120 d, still up to 0.82% on 120 d, 64.00% higher than the lowest A<sub>1</sub>CK (0.50%). Treatments at mixed seeded oat and vetch can signif-

\* 收稿日期:2015-09-04 接受日期:2016-01-19

基金项目:国家燕麦荞麦产业体系(CARS-08);农业行业科研专项(201003023)

第一作者:据泽亮(1991-),男,安徽宣城人,在读硕士生,研究方向为草地植物多样性保护与利用。E-mail:juzliang@126.com

通信作者:赵桂琴(1970-),女,甘肃天水人,教授,博士,研究方向为草种质资源及育种。E-mail:zhaogq@gsau.edu.cn

ificantly improve the quality of silage fermentation. After 40 d of ensiling, A<sub>2</sub>H had the highest calcium and phosphorus contents (1.34% and 0.24%), and A<sub>1</sub>H was in the second (1.16% and 0.23%), which were significantly ( $P < 0.01$ ) higher than control. In addition, the CP content of A<sub>1</sub> and A<sub>2</sub>H was 31.94% and 14.70% higher than that of control after 80 d of ensiling, respectively. In conclusion, in alpine pastoral area of Qinghai-Tibet Plateau, mixed seeding oat and vetch harvested at grain filling and flowering stage respectively, with 65%~70% moisture content could significantly improve the quality of baling silage.

**Key words:** oat; common vetch; mixed silages; moisture content; baling silage

**Corresponding author:** Zhao Gui-qin E-mail: zhaogq@gsau.edu.cn

青藏高原是我国最大的高寒牧区,这里生长季短,草畜矛盾突出,日益退化的草原不仅给畜牧业生产带来了严重影响,更加剧了生态环境的恶化<sup>[1]</sup>。因此,鼓励牧民开展人工种草和舍饲养畜,是保障当地经济增长和生态安全协调发展最有效的手段。

青藏高原海拔 4 000 m 以下的地区均可进行牧草生产,燕麦(*Avena sativa*)与箭筈豌豆(*Vicia sativa*)非常适合青藏高原地区种植。燕麦耐贫瘠、抗旱、耐寒、产草量高,占青藏高原地区人工种草面积的 70% 左右<sup>[1]</sup>。箭筈豌豆是优良的豆科牧草,与燕麦混播可以明显提高产量、改善饲草品质。寇明科等<sup>[2]</sup>研究发现,高寒牧区箭筈豌豆和燕麦混播具有非常明显的增产效果,平均鲜草产量提高 26%。Velazquez-Beltran 等<sup>[3]</sup>的研究结果表明,燕麦与箭筈豌豆混播,平均鲜草产量为 31 000 kg·hm<sup>-2</sup>,比单播高 20.5%,粗蛋白产量也明显提高。Moreira<sup>[4]</sup>认为箭筈豌豆与燕麦混播比燕麦单播的鲜草产量、粗蛋白含量和可消化有机物均有所增加。

青贮是一个通过乳酸发酵产生乳酸以实现长期保存青绿饲料的过程。燕麦与箭筈豌豆混播草青贮,能够很好地结合禾本科和豆科牧草的特点:禾本科具有较高的碳水化合物,豆科牧草含有较高的蛋白质、钙和磷,较低的纤维含量以及比较丰富的营养,能够满足不同畜种不同时期的营养需求,获得优质的青贮饲料。陶延英和李延章<sup>[5]</sup>用燕麦与箭筈豌豆混播草裹包青贮后饲喂绵羊,40 d 后与饲喂相应的干草相比增重效果显著(3.65 kg)。在青贮过程中,青贮原料的含水量对青贮发酵品质的影响极显著<sup>[6]</sup>。含水量太高青贮不易成功,大量营养成分渗出,造成营养损失甚至引起霉变,产生大量丁酸<sup>[7]</sup>;而水分过低会使青贮介质中水的活性降低,限制青贮有益菌群的生长<sup>[8]</sup>,且水的活性越小,介质中生长的乳酸菌菌落也越小<sup>[9]</sup>,乳酸菌发酵产生的乳酸量有限,pH 值难以下降到适宜水平,不利于青贮发酵的进行。所以,调制青贮饲料时要综合考虑青贮料特性与含水量的关系,不同的青贮料有不同的

最适青贮含水量。覃方铨等<sup>[10]</sup>研究了含水量及添加剂对灌浆期燕麦裹包青贮品质的影响。结果显示,在 65%~70% 青贮料含水量下辅以适宜的添加剂可显著提高燕麦青贮品质。但燕麦与箭筈豌豆混播后裹包青贮的适宜含水量研究尚未见报道。因此,本研究以单播燕麦和燕麦与箭筈豌豆混播草为原料,探讨不同含水量对燕麦单贮和燕麦+箭筈豌豆混贮发酵品质的影响,以期获得较佳的青贮组合,为燕麦草的青贮加工提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验点位于甘南藏族自治州夏河县桑科草原境内,地处甘肃省西南部、青藏高原东北缘。海拔 2 500 m,寒冷湿润,高原大陆性气候特点比较明显。年均气温 2.6℃,年降水量 516 mm,全年无霜期 56 d,年日照 2 296 h。 $\geq 0^\circ\text{C}$  的积温 1 214~2 477℃·d, $\geq 10^\circ\text{C}$  的积温 215~1 636℃·d,年均蒸发量 1 200~1 350 mm。试验地为农耕地,地势较平坦,亚高山草甸土,肥力均匀。

### 1.2 试验材料

供试材料:燕麦为陇燕 3 号(*A. sativa* cv. Longyan No. 3),箭筈豌豆为西牧 333 (*V. sativa* cv. Ximu333),种子均由甘肃农业大学草业学院提供。于 2013 年 4 月以撒播方式种植,燕麦单播量为 255 kg·hm<sup>-2</sup>,箭筈豌豆为 60 kg·hm<sup>-2</sup>,燕麦与箭筈豌豆混播草分别以各自单播量的 60% 和 40% 混播。

### 1.3 青贮调制

本试验设原料种类和原料含水量两个因子,每个因子各设两个处理,共 4 个处理,分别为燕麦、燕麦+箭筈豌豆,45%~50%、65%~70%。单贮燕麦(CK)在燕麦灌浆期刈割,混贮处理(H)在箭筈豌豆盛花期、燕麦灌浆期刈割,在室外自然晾晒至牧草含水量达到 45%~50%(A<sub>1</sub>)、65%~70%(A<sub>2</sub>),分别进行裹包青贮处理,单播燕麦单独青贮,混播处理中将燕麦秸秆充

分与箭筈豌豆混合均匀,使其茎叶比一致,混合青贮。用圆型打捆机打捆(50 cm×70 cm),以裹包机裹包,置于干燥阴凉的室内,于青贮 40、80 和 120 d 取样测试,每个处理各时间点 3 个重复。

#### 1.4 指标测定

在草捆不同位置取样约 300 g 剪碎并混合均匀,自封袋密封低温储存带回实验室。称取 200 g 样于 105 ℃灭酶 15 min 后 65 ℃烘干 60 h 以上至恒重,用粉草机粉碎后过孔径 0.425 mm 筛,置于自封袋中密封保存。测定方法参照《饲料分析及饲料质量检测技术》<sup>[11-12]</sup>。干物质(dry matter, DM)采用烘箱干燥法测定;粗蛋白(crude protein, CP)采用凯氏定氮法测定;氨氮(ammonia nitrogen, AN)采用苯酚一次氯酸钠比色法测定;水溶性碳水化合物(water soluble carbohydrate, WSC)采用蒽酮—硫酸比色法测定;中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)与酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)采用 van Soest 法测定;钙(Ca)采用配位滴定法;磷(P)采用钼钒亚硫酸钠法。

称取 20 g 样,加入 180 mL 去离子水,4 ℃冰箱中浸提 24 h,四层纱布过滤后再用定性滤纸精滤,最后 0.22 μm 滤膜过滤,用来测定 pH 和乳酸(lactic acid, LA)。pH 采用 PHS-3C 型(上海佑科仪器仪表有限公司)数显酸度计测量;乳酸采用安捷伦 1260 高效液相色谱和 G1321B 紫外荧光检测器测定<sup>[12]</sup>。色谱条件:SB-AQ C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm);流动相 A(甲醇):流动相 B[0.01 mol·L<sup>-1</sup>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, pH=2.70]=3:97,流速 1 mL·min<sup>-1</sup>,进样量 20 μL,检测波长 210 nm,柱温 25 ℃。

#### 1.5 统计分析

采用 Excel 2010 对数据进行初步整理。采用 SPSS 17.0 软件进行数据分析。青贮料种类与含水量间的交互作用对青贮所有项目的影响采用多因子方差分析,结合 SNK 法进行交互作用显著性分析( $P<0.01$ );并用 Duncan 方法对处理间及青贮天数间数据进行多重比较( $P<0.05$ )。结果用平均数±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 含水量及单、混贮对青贮过程中主要营养指标的影响

青贮 40 d 时,交互对 DM、WSC、ADF 和 Ca 含量的影响达到极显著( $P<0.01$ )水平;青贮 80 d,交互对 CP 和 WSC 也有极显著( $P<0.01$ )影响。青贮 120 d 时,含水量和单混播交互对 DM、WSC 和 NDF 作用显

著( $P<0.05$ )(表 1)。

含水量及单、混播对青贮过程中主要营养指标的影响均较大(表 2)。A<sub>2</sub> 含水量下干物质含量始终显著( $P<0.05$ )低于 A<sub>1</sub>。随青贮时间的延长,各处理干物质含量都有变化,但 A<sub>2</sub> 处理下更稳定, A<sub>1</sub> 下则变化较大, A<sub>1</sub>CK 和 A<sub>1</sub>H 处理青贮 120 d 较 40 d 时干物质分别下降了 11.96% 和 10.47%。粗蛋白含量的变化幅度也较大,各青贮时间点, H 处理粗蛋白含量始终显著( $P<0.05$ )高于 CK。青贮 80 d 时,与相同含水量下 CK 相比, A<sub>1</sub>H 和 A<sub>2</sub>H 处理粗蛋白含量分别提高 31.94% 和 14.70%;相较于青贮 40 d,青贮 80 d 时, A<sub>1</sub>CK、A<sub>1</sub>H、A<sub>2</sub>CK 和 A<sub>2</sub>H 处理的粗蛋白分别下降了 37.45%、30.79%、23.99% 和 24.62%,可见 A<sub>1</sub> 含水量下粗蛋白含量下降幅度更大。

青贮 40 d 时,相同含水量下 H 处理的水溶性碳水化合物含量显著( $P<0.05$ )低于 CK。各处理水溶性碳水化合物含量随发酵时间延长均显著( $P<0.05$ )降低,相较于 40 d,青贮 120 d 时 A<sub>1</sub>CK、A<sub>2</sub>CK、A<sub>1</sub>H 和 A<sub>2</sub>H 处理分别下降了 41.88%、41.59%、20.00% 和 18.34%。CK 组下降幅度远远高于 H 处理。

同时, A<sub>2</sub>H 处理各青贮时间下始终显示最低的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量,并显著( $P<0.05$ )低于 CK;青贮 80 d 时, A<sub>2</sub>H 处理中性洗涤纤维含量(43.76%)较最高的 A<sub>1</sub>CK(59.49%)低了 26.44%,酸性洗涤纤维含量低了 18.72%。随着青贮发酵的进行,中性洗涤纤维含量总体呈现上升趋势,而酸性洗涤纤维含量则相反,呈下降趋势,以 A<sub>2</sub>H 处理降幅最大,青贮 120 d 时较 40 d 时降低了 13.30%。

### 2.2 含水量及单、混贮对青贮过程中 pH、乳酸和氨氮含量的影响

在不同的青贮时间下,含水量及单、混贮对青贮发酵品质的影响均非常明显(表 1)。二者的互作效应也很显著,青贮 40 d 时,交互对 LA 和 NH<sub>3</sub>-N 含量的影响极显著( $P<0.01$ );青贮 80 d,交互对 pH、LA、NH<sub>3</sub>-N 均也有极显著( $P<0.01$ )影响;青贮 120 d 时,交互对 pH、LA 作用也达极显著( $P<0.01$ )水平(表 1)。

青贮 40 d 时,各处理的 pH 仍然保持在较高水平(4.63~4.98),青贮发酵没有完成(表 3)。青贮 120 d 时,各处理 pH 值与 40 d 时相比均显著( $P<0.05$ )降低,其中 A<sub>2</sub>CK 和 A<sub>2</sub>H 处理的 pH 已降至 4.2 以下,较 40 d 时分别下降 13.14% 和 15.33%,显著( $P<0.05$ )低于其它处理;以 A<sub>1</sub>CK 为最高(4.29), A<sub>1</sub>H 处理次之(4.27),较 40 d 时分别下降了 13.86% 和 13.39%。

与 pH 的变化相对应,A<sub>2</sub> 含水量处理下乳酸含量更高,显著( $P<0.05$ )高于 A<sub>1</sub>(表 1)。青贮 40 d,以 A<sub>2</sub>H 处理乳酸含量为最高(1.15%),A<sub>2</sub>CK 的次之(0.96%)。并且,A<sub>2</sub>H 处理乳酸含量始终显著( $P<0.05$ )高于其它各处理。青贮 120 d,A<sub>2</sub>H 处理乳酸含量仍高达 0.82%,比最低的 A<sub>1</sub>CK(0.50%)高出 64.00%。

氨氮的变化则不同,随着青贮时间的延长,A<sub>1</sub> 含水量下氨氮含量总体呈上升趋势,A<sub>2</sub> 含水量下总体呈先上升后下降的趋势。青贮 40 d 时,以 A<sub>2</sub>H 处理的

氨氮含量最高(21.10%),A<sub>1</sub>H 处理的最低(9.50%)。青贮 80 d 时,所有处理的氨态氮含量均上升,尤以 A<sub>1</sub>H 处理增幅最大,较 40 d 时上升了 66.53%。青贮 120 d 时,A<sub>1</sub>CK 和 A<sub>1</sub>H 处理氨态氮含量继续上升,A<sub>2</sub>CK 和 A<sub>2</sub>H 处理则开始下降,较 80 d 时分别降低了 24.95%和 26.69%。

**2.3 含水量及单、混贮对青贮过程中钙和磷含量的影响**

含水量及单混播对青贮过程中钙和磷含量都有显著影响(表4)。与CK相比,H处理钙含量极显著( $P<$

表 1 含水量及单、混贮交互作用下不同时间各指标的 P 值

Table 1 P value of each factor under different moisture contents and monoculture and mixture on different fermenting interval

| 青贮时间<br>Ensiling days | 项目<br>Item            | 含水量<br>Moisture content | 单、混贮<br>Mono and mix | 含水量×单、混贮<br>Moisture content×Mono and mix |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------------------|
| 40 d                  | <i>df</i>             | 1                       | 1                    | 1                                         |
|                       | 干物质 DM                | <0.001                  | <0.001               | 0.001                                     |
|                       | 粗蛋白 CP                | 0.005                   | <0.001               | 0.252                                     |
|                       | 水溶性碳水化合物 WSC          | <0.001                  | <0.001               | <0.001                                    |
|                       | 中性洗涤纤维 NDF            | 0.012                   | 0.045                | 0.060                                     |
|                       | 酸性洗衣机涤纤维 ADF          | 0.050                   | <0.001               | 0.004                                     |
|                       | pH                    | <0.001                  | 0.066                | 0.755                                     |
|                       | 乳酸 LA                 | <0.001                  | 0.068                | <0.001                                    |
|                       | 氨氮 NH <sub>3</sub> -N | <0.001                  | 0.301                | 0.004                                     |
|                       | 钙 Ca                  | 0.001                   | <0.001               | 0.001                                     |
|                       | 磷 P                   | 0.003                   | <0.001               | 0.547                                     |
| 80 d                  | <i>df</i>             | 1                       | 1                    | 1                                         |
|                       | 干物质 DM                | <0.001                  | 0.268                | 0.280                                     |
|                       | 粗蛋白 CP                | <0.001                  | <0.001               | 0.002                                     |
|                       | 水溶性碳水化合物 WSC          | <0.001                  | 0.001                | 0.001                                     |
|                       | 中性洗涤纤维 NDF            | <0.001                  | <0.001               | 0.032                                     |
|                       | 酸性洗衣机涤纤维 ADF          | 0.723                   | 0.057                | 0.062                                     |
|                       | pH                    | <0.001                  | <0.001               | <0.001                                    |
|                       | 乳酸 LA                 | 0.302                   | 0.001                | <0.001                                    |
|                       | 氨氮 NH <sub>3</sub> -N | <0.001                  | 0.003                | <0.001                                    |
|                       | 钙 Ca                  | 0.075                   | <0.001               | 0.239                                     |
|                       | 磷 P                   | <0.001                  | <0.001               | 0.115                                     |
| 120 d                 | <i>df</i>             | 1                       | 1                    | 1                                         |
|                       | 干物质 DM                | <0.001                  | 0.022                | 0.002                                     |
|                       | 粗蛋白 CP                | 0.244                   | <0.001               | 0.275                                     |
|                       | 水溶性碳水化合物 WSC          | 0.001                   | 0.016                | 0.025                                     |
|                       | 中性洗涤纤维 NDF            | 0.003                   | 0.025                | 0.028                                     |
|                       | 酸性洗衣机涤纤维 ADF          | 0.007                   | 0.524                | 0.566                                     |
|                       | pH                    | <0.001                  | <0.001               | 0.001                                     |
|                       | 乳酸 LA                 | <0.001                  | <0.001               | 0.003                                     |
|                       | 氨氮 NH <sub>3</sub> -N | <0.001                  | <0.001               | 0.645                                     |
|                       | 钙 Ca                  | 0.228                   | <0.001               | 0.177                                     |
|                       | 磷 P                   | 0.014                   | <0.001               | 0.217                                     |



表 2 含水量及单、混贮对青贮过程中主要营养指标的影响

Table 2 Effects of different moisture contents and silage materials on main parameters of nutrition during ensiling

| 测定项目<br>Item      | 处理<br>Treatment   | 青贮天数 Ensiling days/d |               |              |
|-------------------|-------------------|----------------------|---------------|--------------|
|                   |                   | 40                   | 80            | 120          |
| 干物质<br>DM/%       | A <sub>1</sub> CK | 50.02±0.37Aa         | 47.41±0.33Ab  | 44.04±0.82Ac |
|                   | A <sub>2</sub> CK | 29.35±0.70Ca         | 28.42±0.33Ba  | 29.27±0.26Ba |
|                   | A <sub>1</sub> H  | 50.22±0.86Aa         | 48.62±0.57Aa  | 44.96±0.63Ab |
|                   | A <sub>2</sub> H  | 35.94±0.20Ba         | 28.44±0.71Bb  | 28.39±0.13Bb |
| 粗蛋白<br>CP/%       | A <sub>1</sub> CK | 9.56±0.06Ca          | 5.98±0.06Cc   | 7.86±0.12Bb  |
|                   | A <sub>2</sub> CK | 9.13±0.22Ca          | 6.94±0.10Bc   | 7.85±0.12Bb  |
|                   | A <sub>1</sub> H  | 11.40±0.24Aa         | 7.89±0.10Ac   | 8.97±0.24Ab  |
|                   | A <sub>2</sub> H  | 10.56±0.00Ba         | 7.96±0.09Ac   | 8.60±0.12Ab  |
| 水溶性碳水化合物<br>WSC/% | A <sub>1</sub> CK | 13.37±0.15Aa         | 11.22±0.38Ab  | 7.77±0.19Ac  |
|                   | A <sub>2</sub> CK | 10.05±0.07Ba         | 8.05±0.07Cb   | 5.87±0.29Bc  |
|                   | A <sub>1</sub> H  | 9.80±0.09Ba          | 9.08±0.17Bb   | 7.84±0.17Ac  |
|                   | A <sub>2</sub> H  | 9.16±0.05Ca          | 8.16±0.05Cb   | 7.48±0.29Ac  |
| 中性洗涤纤维<br>NDF/%   | A <sub>1</sub> CK | 55.41±0.33Ab         | 59.49±0.41Aa  | 58.90±0.49Ab |
|                   | A <sub>2</sub> CK | 54.73±0.97Ab         | 55.52±0.58Bab | 58.02±0.69Aa |
|                   | A <sub>1</sub> H  | 50.28±0.60Bb         | 51.69±0.00Cb  | 53.85±0.44Ba |
|                   | A <sub>2</sub> H  | 46.70±0.59Cab        | 43.76±1.35Db  | 49.75±0.74Ca |
| 酸性洗涤纤维<br>ADF/%   | A <sub>1</sub> CK | 37.65±0.52Aa         | 37.29±2.06Aa  | 33.71±0.29Ab |
|                   | A <sub>2</sub> CK | 36.09±0.38Aa         | 35.05±1.55Aa  | 32.88±0.41Ab |
|                   | A <sub>1</sub> H  | 32.43±0.18Ba         | 31.20±1.57Ba  | 28.15±0.47Bb |
|                   | A <sub>2</sub> H  | 32.11±0.47Ba         | 30.31±0.60Ba  | 27.84±0.55Bb |

注：不同大写字母表示相同青贮天数不同处理间差异显著( $P<0.05$ )；不同小写字母表示相同处理不同青贮天数间差异显著( $P<0.05$ )。下同。  
Note: Different capital letters within the same column show significant difference among different treatments in the same ensiling day at 0.05 level. Different lower case letters within the same row show significant difference among different ensiling days in the same treatment at 0.05 level. The same below.

表 3 含水量及单、混贮对青贮过程中 pH 值、乳酸和氨态氮含量的影响

Table 3 Effects of different moisture contents and silage materials on pH, LA and NH<sub>3</sub>-N contents during ensiling

| 测定项目<br>Item               | 处理<br>Treatment   | 青贮天数 Ensiling days/d |              |              |
|----------------------------|-------------------|----------------------|--------------|--------------|
|                            |                   | 40                   | 80           | 120          |
| pH                         | A <sub>1</sub> CK | 4.98±0.01Aa          | 4.45±0.01Ab  | 4.29±0.02Ac  |
|                            | A <sub>2</sub> CK | 4.72±0.09Ba          | 4.20±0.02Bb  | 4.10±0.02Bb  |
|                            | A <sub>1</sub> H  | 4.93±0.13Aa          | 4.30±0.01Ab  | 4.27±0.01Ab  |
|                            | A <sub>2</sub> H  | 4.63±0.01Ba          | 4.05±0.03Cb  | 3.92±0.01Cc  |
| 乳酸 LA/%                    | A <sub>1</sub> CK | 0.59±0.01Ca          | 0.58±0.02Ca  | 0.50±0.01Db  |
|                            | A <sub>2</sub> CK | 0.96±0.01Ba          | 0.74±0.01Bb  | 0.76±0.01Bb  |
|                            | A <sub>1</sub> H  | 0.48±0.02Dc          | 0.63±0.02Cb  | 0.70±0.01Ca  |
|                            | A <sub>2</sub> H  | 1.15±0.03Aa          | 0.96±0.02Ab  | 0.82±0.01Ac  |
| 氨氮<br>NH <sub>3</sub> -N/% | A <sub>1</sub> CK | 10.90±0.07Bc         | 12.52±0.15Cb | 18.81±0.10Ba |
|                            | A <sub>2</sub> CK | 20.87±0.07Ab         | 24.13±0.13Aa | 18.11±0.32Bc |
|                            | A <sub>1</sub> H  | 9.50±0.11Cc          | 15.82±0.41Bb | 20.96±0.11Aa |
|                            | A <sub>2</sub> H  | 21.10±0.04Ab         | 23.27±0.38Aa | 17.06±0.21Cc |

表 4 含水量及单、混贮对青贮过程中钙和磷含量的影响

Table 4 Effects of different moisture contents and silage materials on Ca and P contents during ensiling

| 测定项目<br>Item | 处理<br>Treatment   | 青贮天数 Ensiling days/d |              |             |
|--------------|-------------------|----------------------|--------------|-------------|
|              |                   | 40                   | 80           | 120         |
| 钙 Ca/%       | A <sub>1</sub> CK | 0.36±0.03Ca          | 0.36±0.01Ba  | 0.34±0.01Ba |
|              | A <sub>2</sub> CK | 0.36±0.01Ca          | 0.35±0.02Ba  | 0.35±0.01Ba |
|              | A <sub>1</sub> H  | 1.16±0.01Ba          | 1.20±0.02Aa  | 1.15±0.05Aa |
|              | A <sub>2</sub> H  | 1.34±0.02Aa          | 1.25±0.01Ab  | 1.19±0.05Ab |
| 磷 P/%        | A <sub>1</sub> CK | 0.12±0.00Ba          | 0.12±0.00Ba  | 0.11±0.00Ba |
|              | A <sub>2</sub> CK | 0.13±0.00Ba          | 0.13±0.00Ba  | 0.13±0.01Ba |
|              | A <sub>1</sub> H  | 0.23±0.00Aa          | 0.22±0.00Aa  | 0.18±0.00Ab |
|              | A <sub>2</sub> H  | 0.24±0.00Aa          | 0.22±0.00Aab | 0.19±0.00Ab |

0.01)增加。青贮 40 d 时,以 A<sub>2</sub>H 为最高(1.34%),A<sub>1</sub>H 次之(1.16%),比相同含水量下的 CK 相比分别高 272.22%和 222.22%。青贮 120 d 时,各处理钙含量均有下降趋势,以 A<sub>2</sub>H 降幅最大,较 40 d 时下降了 11.19%。

磷含量与钙含量类似,H 处理磷含量极显著( $P<0.01$ )高于 CK。青贮 40 d 时,以 A<sub>2</sub>H 为最高(0.24%),A<sub>1</sub>H 次之(0.23%),分别比相同含水量下的 CK 高 84.62%和 91.67%。随着青贮时间的延长,各处理磷含量总体呈下降趋势。

3 讨论

饲草含水量过高直接青贮不易成功,青贮后各种营养物质的保存率显著降低,厌氧稳定所需的临界 pH 也下降<sup>[13]</sup>。本研究采用自然晾晒法在青贮前对青贮原料进行凋萎处理,降低青贮料含水量,结果显示,所有处理组均具有较低的 pH,氨氮、NDF 与 ADF 含量,较高的 LA、DM、CP 和 WSC 含量,青贮成功。这可能是由于青贮前凋萎处理使饲草含水量降低,提高了青贮料的 DM 含量,创造了一个较为干燥的微生物生理环境,抑制了青贮料中有害菌群的繁殖代谢,使乳酸发酵占据主导地位,提高了青贮发酵品质<sup>[14]</sup>。相较于 45%~50%含水量,65%~70%含水量组具有更低的 pH,这与 Mangan 等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。成功青贮一般要求 pH 在 4.2 以下<sup>[16]</sup>,本研究中只有 65%~70%含水量下裹包青贮于 80 d 后低于此值,所以青贮成功受青贮料本身特性影响也较大。郭旭生等<sup>[17]</sup>提出,pH 不宜作为不同牧草青贮发酵品质评价的统一标准,其可能受不同牧草、牧草本身含水量及植物缓冲能力的影响。LA 含量表现出与 pH 相对应的变化,65%~70%含水量处理组 LA 含量更高,这与李平

等<sup>[18]</sup>和刘玲等<sup>[19]</sup>研究结果一致,与李君临等<sup>[14]</sup>和庄益芬等<sup>[20]</sup>研究结果不一致,可能是因为牧草的种类和特性有所不同。

另外,含水量对青贮料 DM、WSC 和氨氮含量影响显著( $P<0.05$ )。45%~50%含水量组 DM、WSC 含量显著高于 65%~70%含水量组,氨氮则显著低于 65%~70%含水量组,这与刘玲等<sup>[19]</sup>研究结果一致,可能是由于含水量的降低使得水溶性碳水化合物等养分进一步浓缩,有利于乳酸菌的迅速发酵,抑制了氨氮的产生,提高青贮品质。但较低的含水量往往不利于营养物质的长时间保存。过低的含水量会使青贮反应介质中水的活性降低,抑制青贮过程中酸度的积累,不利于青贮发酵,还会使青贮料不易压实,容易引起好氧霉变<sup>[21]</sup>。燕麦秸秆的中空结构使其不易压实,裹包青贮过程中会残留部分空气,使得好氧细菌大量繁殖,消耗了部分营养物质,不利于青贮发酵。本研究中,随着青贮时间的推移,WSC 含量显著降低,A<sub>1</sub>CK、A<sub>2</sub>CK、A<sub>1</sub>H 和 A<sub>2</sub>H 组分别下降了 41.88%、41.59%、20.00%和 20.52%,以及粗蛋白、钙和磷的流失等都很好地说明了燕麦青贮时结构上的弊端。80 d 时,粗蛋白含量最低,这可能是由于原料本身含有较多植酸酶,在青贮发酵初期植酸酶可以分解原料中的蛋白质,再加上青贮发酵中生孢梭菌发酵消耗部分蛋白,导致蛋白质分解为氨氮而流失。后期乳酸发酵占据优势,抑制了杂菌活动,蛋白质含量趋于稳定,但也会消耗部分干物质,故而粗蛋白含量有所上升。综上所述,适宜的含水量更成为青贮饲料制作的关键因素。青贮发酵过程本身是一个需要消耗部分养分的过程,在青贮饲料生产实践中,应当选择适宜的含水量,在提高发酵品质的同时尽量保存青贮料的营养。综上所述,65%~70%含水量更适合燕麦及燕麦与箭筈豌豆混播草的青贮。

燕麦与箭筈豌豆(6:4)混贮与燕麦单贮相比,青贮发酵品质显著改善。CP 含量显著( $P<0.05$ )提高,Ca 和 P 含量极显著( $P<0.01$ )提高;促进了乳酸发酵,不同程度降低了 pH 和 NDF 含量,增加了 LA 含量。王奇等<sup>[22]</sup>研究结果表明,箭筈豌豆与苇状羊茅(*Festuca arundinacea*)混合青贮后,不同程度地改善了青贮饲料的发酵品质和营养价值,但不适宜的比例会增加蛋白质的损失,70%苇状羊茅与 30%箭筈豌豆混合青贮效果最好,既能保证青贮料中有充足的可溶性碳水化合物供应乳酸菌发酵,又能提高青贮饲料的粗蛋白含量。张洁等<sup>[23]</sup>对燕麦与箭筈豌豆(7:3)混合青贮发酵品质进行了研究,发现混贮可以取得较好的发酵品质,且适宜的添加剂可以进一步提高青贮饲料品质。本研究中,燕麦与箭筈豌豆混贮比例为 6:4,且未使用添加剂,与张洁等<sup>[23]</sup>的研究结果不同。这可能与燕麦较高的可溶性碳水化合物含量有关,青贮 80 d 后青贮料仍有较高的 WSC 含量,所以降低燕麦的比例依然可以青贮成功。同时,增加箭筈豌豆的比例可以丰富燕麦含量较低的营养成分,如粗蛋白、钙和磷元素等。

前人<sup>[5,24-25]</sup>研究表明燕麦和箭筈豌豆混播草具有丰富的营养,能够满足不同品种、不同营养需求的牲

畜。本研究中,燕麦与箭筈豌豆(6:4)混播草在 65%~70%含水量下混合青贮品质优异,很好地结合了禾本科较高碳水化合物与豆科牧草较高蛋白质、钙、磷及较低纤维含量的优点。同时,在实际生产中,青贮量往往较大,青贮料的混合调制,及青贮过程中各种环境因素的影响都比实验室环境更加多变;本研究中将燕麦与箭筈豌豆混播后直接刈割,凋萎处理后进行裹包青贮,省时省力较符合生产需要,并实地进行试验,结果较能反映当地实际情况。试验结果表明该方法可以有效贮藏该牧草,适合在青藏高原西北部推广,为冬春枯草季节提供充足、优质饲草。

#### 4 结论

在青藏高原高寒地区,由于秋冬季气温较低,青贮发酵所需时间较平原地区更长,一般需要 80 d 左右方可完成发酵。适宜的含水量可以促进发酵进程,改善青贮发酵品质。燕麦与箭筈豌豆(6:4)混播,在燕麦乳熟期、箭筈豌豆开花期刈割,凋萎处理后使其含水量达到 65%~70%进行混合裹包青贮可以获得优质的青贮料,拥有较高的 CP、LA、Ca 和 P 元素含量,较低的 pH 及  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、NDF、ADF 含量,较燕麦单独青贮效果更佳。

#### 参考文献 References:

- [1] 赵桂琴,师尚礼.青藏高原饲用燕麦研究与生产现状、存在问题与对策.草业科学,2004,21(11):17-21.  
Zhao G Q, Shi S L. The current situation of oat research and production, problems and strategy in Tibetan Plateau. Pratacultural Science, 2004, 21(11): 17-21. (in Chinese)
- [2] 寇明科,王安禄,徐占文,卓玛加,马玉明.高寒牧区当年生人工混播草地建植试验.草业科学,2003,20(5):6-8.  
Kou M K, Wang A L, Xu Z W, Zhuomajia, Ma Y M. The establishment experiment of annual mixed artificial grassland in alpine region. Pratacultural Science, 2003, 20(5): 6-8. (in Chinese)
- [3] Velázquez-Beltrán L G, Felipe-Pérez Y E, Arriaga-Jordán C M. Common vetch (*Vicia sativa*) for improving the nutrition of working equids in campesino systems on hill slopes in central Mexico. Tropical Animal Health and Production, 2002, 34(2): 169-179.
- [4] Moreira N. The effect of seed rate and nitrogen fertilizer on the yield and nutritive value of oat-vetch mixtures. The Journal of Agricultural Science, 1989, 112(1): 57-66.
- [5] 陶延英,李延章.捆裹青贮燕麦与箭筈豌豆混播草饲喂绵羊的增重效果.四川畜牧兽医,2006,33(12):29.
- [6] 刘秦华,张建国,卢小良.乳酸菌添加剂对王草青贮发酵品质及有氧稳定性的影响.草业学报,2009,18(4):131-137.  
Liu Q H, Zhang J G, Lu X L. The effects of lactic acid bacteria inoculation on the fermentation quality and aerobic stability of king grass silage. Acta Prataculturæ Sinica, 2009, 18(4): 131-137. (in Chinese)
- [7] Pitt R E. Silage and Hay Preservation. Cornell University Press, New York; Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 1990: 423.
- [8] Troller J A, Christian J H B. Water Activity and Food. New York: Academic Press, 1978: 103-117.
- [9] Pahlow G, Weissbach F. Effect of numbers of epiphytic lactic acid bacteria (LAB) and of inoculation on the rate of pH-decline in direct cut and wilted grass silages. In: Aberystwyth, (ed), UK. Proceedings of the XII th International Silage Conference, 1996: 104-105.

- [10] 覃方铨,赵桂琴,焦婷,韩永杰,侯建杰,宋旭东.含水量及添加剂对燕麦裹青贮品质的影响.草业学报,2014,23(6):119-125.  
Qin F C,Zhao G Q,Jiao T,Han Y J,Hou J J,Song X D.Effects of different moisture contents and additives on the quality of baling oat silage,Acta Prataculturae Sinica,2014,23(6):119-125.(in Chinese)
- [11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术.北京:中国农业出版社,2007:45-98.
- [12] 杨胜.饲料分析及饲料质量监测技术.北京:北京农业大学出版社,1996:15-68.
- [13] 杨春华,杨兴霖,左艳春,杨颖慧.不同含水量多花黑麦草青贮效果研究.四川草原,2006,18(3):1-3.  
Yang C H,Yang X L,Zuo Y C,Yang Y H.Study on silaging of annual ryegrass with different water concentration,Journal of Sichuan Grassland,2006,18(3):1-3.(in Chinese)
- [14] 李君临,张新全,玉柱,郭旭生,孟祥坤,罗燕,闫艳红.含水量和乳酸菌添加剂对多花黑麦草青贮品质的影响.草业学报,2014,23(6):342-348.  
Li J L,Zhang X Q,Yu Z,Guo X S,Meng X K,Luo Y,Yan Y H.Effects of moisture content and lactic acid bacteria additive on the quality of Italian ryegrass silage,Acta Prataculturae Sinica,2014,23(6):342-348.(in Chinese)
- [15] Mangan J L,Harrison F A,Vetter R L.Immunoreactive fraction 1 leaf protein and dry matter content during wilting and ensiling of ryegrass and alfalfa,Journal of Dairy Science,1991,74(7):2186-2199.
- [16] Shao T,Zhang Z X,Shimojo M,Wang T,Masuda Y.Comparison of fermentation characteristics of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.) during the early stage of ensiling,Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2005,18(12):1727-1734.
- [17] 郭旭生,丁武蓉,玉柱.青贮饲料发酵品质评定体系及其新进展.中国草地学报.2008,30(4):100-106.  
Guo X S,Ding W R,Yu Z.The evaluation system of fermentation quality of ensiled forage and its improvement.Chinese Journal of Grassland,2008,30(4):100-106.(in Chinese)
- [18] 李平,白史且,鄢家俊,游明鸿,张昌兵,张玉,张劲.添加剂及含水量对老芒麦青贮品质的影响.草地学报,2013,21(6):1176-1181.  
Li P,Bai S Q,Yan J J,You M H,Zhang C B,Zhang Y,Zhang J.Effects of additives and moisture content on the quality of *Elymus sibiricus* L. silages,Acta Agrestia Sinica,2013,21(6):1176-1181.(in Chinese)
- [19] 刘玲,陈新,李振,韩明明,许庆方,韩建国,玉柱,白春生.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.  
Liu L,Chen X,Li Z,Han M M,Xu Q F,Han J G,Yu Z,Bai C S.Effects of moisture content and additives on the quality of *Agropyron elongatum* silage,Acta Prataculturae Sinica,2011,20(6):203-207.(in Chinese)
- [20] 庄益芬,安宅一夫,张文昌.生物添加剂和含水率对紫花苜蓿和猫尾草青贮发酵品质的影响.畜牧兽医学报,2007,38(12):1394-1400.  
Zhuang Y F,Ataku K,Zhang W C.Effects of biological additive and moisture content on fermentation quality of alfalfa and timothy silages,Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences,2007,38(12):1394-1400.(in Chinese)
- [21] 万里强,李向林,张新平,何峰.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.  
Wan L Q,Li X L,Zhang X P,He F.The effect of different water contents and additive mixtures on *Medicago sativa* silage,Acta Prataculturae Sinica,2007,16(2):40-45.(in Chinese)
- [22] 王奇,余成群,辛鹏程,李志华,下条雅敬,邵涛.苇状羊茅和箭筈豌豆混合青贮发酵品质的研究.草地学报,2012,20(5):952-956.  
Wang Q,Yu C Q,Xin P C,Li Z H,Masataka S,Shao T.The fermentation quality of mixed silages of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and common vetch (*Vicia sativa* L.).Acta Agrestia Sinica,2012,20(5):952-956.(in Chinese)
- [23] 张洁,原现军,郭刚,闻爱友,王坚,肖慎华,巴桑,余成群,邵涛.添加剂对西藏燕麦和箭筈豌豆混合青贮发酵品质的影响.草业学报,2014,23(5):359-364.  
Zhang J,Yuan X J,Guo G,Wen A Y,Wang J,Xiao S H,Ba S,Yu C Q,Shao T.Effect of additives on the fermentation quality of mixed silages of oat (*Avena sativa*) and common vetch (*Vicia sativa*) in Tibet,Acta Prataculturae Sinica,2014,23(5):359-364.(in Chinese)
- [24] 曾植虎.青贮燕麦与箭筈豌豆混播草饲喂肉羊试验.山东畜牧兽医,2011,32(7):20.
- [25] 陶延英,陶延胜.捆裹青贮燕麦与箭筈豌豆混播草饲喂鲁西黄牛的增重试验.中国牛业科学,2008,34(2):24-25.  
Tao Y Y,Tao Y S.Effect of feeding baling mangle growing oat and Jiankuo peas haylage on bodyweight gain of Luxi cattle,China Cattle Science,2008,34(2):24-25.(in Chinese)

(责任编辑 苟燕妮)