

青贮卫士 (Siloguard) 对高水分紫花苜蓿青贮品质的影响

刘振宇^{1,2}, 谢楠¹, 李海山³, 冯伟¹, 刘志伟⁴, 杨富裕², 玉柱², 智健飞¹, 刘忠宽^{1*}

(1.河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051; 2.中国农业大学动物科技学院, 北京 100093; 3.河北省农林科学院, 河北 石家庄 050051; 4.黄骅市畜牧局, 河北 黄骅 061100)

摘要: 为探究青贮卫士 (Siloguard) 添加剂对高水分紫花苜蓿青贮品质的影响, 以初花期苜蓿鲜草 (含水量 78.01%) 为原料, 青贮卫士添加水平 (与鲜苜蓿的质量比) 设 0.00% (CK)、0.05%、0.10%、0.15%、0.20% 和 0.25% 计 6 个处理, 研究了青贮卫士不同添加量对苜蓿青贮饲料发酵及营养品质的影响。结果表明: 在高水分苜蓿青贮中添加适量的青贮卫士能够明显改善青贮饲料的感官品质; 促进青贮饲料中的乳酸积累, 抑制乙酸和丙酸产生, 提升乳酸/乙酸, 促使青贮饲料 pH 值快速下降, 抑制氨态氮的生成, 减少青贮饲料蛋白质的损失, 有效改善发酵品质; 降低苜蓿青贮饲料中的中性洗涤纤维含量, 提高其相对饲用价值和可溶性糖含量。本试验条件下, 青贮卫士的适宜添加量为 0.10%。

关键词: 紫花苜蓿; 青贮卫士; 高水分青贮; 青贮饲料; 感官品质; 营养价值

中图分类号: S963.22*3.3 文献标识码: A 文章编号: 1008-1631 (2018) 02-0053-05

Effects of Siloguard on Quality of High Moisture Alfalfa

LIU Zhen-yu^{1,2}, XIE Nan¹, LI Hai-shan³, FENG Wei¹, LIU Zhi-wei⁴, YANG Fu-yu², YU Zhu², ZHI Jian-fei², LIU Zhong-kuan^{1*}

(1. Institute of Agro-resources and Environment, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 2. College of Animal Sciences and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China; 4. Huanghua Animal Husbandry Bureau, Huanghua 061100, China)

Abstract: To explore the effect additive of siloguard on the silage quality of high moisture alfalfa, using the early flowering alfalfa grass with moisture content of 78.01% as the raw material, six addition levels of siloguard (quality ratio of siloguard to fresh alfalfa) including 0.00% (CK), 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20% and 0.25% were set, the effects of siloguard addition on the fermentation and nutrient quality of alfalfa silage were studied. The results showed that adding a proper amount of silo guard in high water alfalfa silage could improve the sensory quality of silage obviously, promote the accumulation of lactic acid of silage, inhibit the production of acetic acid and propionic acid, increase the ratio of acetic acid to acetic acid, promote fast decrease of pH value of silage, inhibit the production of ammonia nitrogen, reduce the loss of protein of silage, effectively improve the fermentation quality, reduce the neutral washing fiber in alfalfa silage, and increase the relative feeding value and soluble sugar content. Under the condition of this test, the suitable addition amount of silo guard was 0.10%.

Key words: Alfalfa; Siloguard; High moisture silage; Silage; Sensory qualities; Nutrient value

收稿日期: 2018-03-13

基金项目: 农业部公益性行业 (农业) 科研专项 (201303061); 国家现代牧草产业技术体系项目 (CARS-34); 河北省现代农业科技创新工程项目; 河北省渤海粮仓科技示范工程项目; 河北省科技计划项目 (14226335D); 河北省科技计划项目 (17227005D)

作者简介: 刘振宇 (1981-), 男, 山东成武人, 副研究员, 主要从事牧草加工和绿肥研究。E-mail: zhenyu416@126.com。

通讯作者: 刘忠宽 (1971-), 男, 河北滦县人, 研究员, 博士, 主要从事牧草栽培研究。E-mail: zhongkuanjh@163.com。

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是一种优良的牧草品种, 具有适应性强、产草量高、品质优良、耐刈割等特点, 是目前世界上栽培面积最大的牧草种类^[1]。目前我国苜蓿的主要产品为干草, 且调制干草的方法多为自然晾晒。由于我国苜蓿主产区雨热同季, 因此, 苜蓿干草调制不仅难度大, 且在晾晒过程

中还会因雨淋、落叶、长时间晾晒等因素的影响,造成产量损失高达 30%左右^[2-5]。采用烘干方法对苜蓿进行干燥虽然几乎不受雨季的影响,且能够生产出高质量的草产品,但由于设备昂贵、能源消耗量大,因此,限制了该方法的应用范围。苜蓿青贮是解决上述问题较为理想的技术措施。其原理是在密闭的环境中,利用植物细胞和好氧微生物的呼吸作用,耗尽原料压实后残余的少量氧气,造成厌氧环境,使青贮原料所附着的乳酸菌快速繁殖,并快速将青贮原料中的碳水化合物(主要是糖类)转变成以乳酸为主的有机酸,当乳酸积累到 0.65%~1.30% (优质青贮料可以达到 1.5~2.0%) 时,青贮料 pH 值下降到 4.2 以下,大部分微生物停止发酵,从而抑制丁酸菌的繁殖,甚至乳酸菌本身也受到抑制,使青贮料达到贮存效果^[5-10]。但是,紫花苜蓿是一种高蛋白、低碳水化合物、高缓冲能、高水分的豆科牧草,且青贮原料附着的乳酸菌很少,有害细菌与有益细菌的比例高达 10:1,因此,苜蓿青贮技术难度较大^[5,6]。前人研究发现苜蓿原料萎蔫至半干(水分含量 55%~65%) 时可以成功调制出苜蓿青贮饲料^[11,12],目前该技术已在生产中广泛应用。半干青贮仍然需要对原料进行晾晒至萎蔫,较干草而言仅仅是缩短了晾晒时间,仍然存在雨淋的风险,未能从根本上解决雨季苜蓿收获和贮藏安全问题。高水分青贮技术无需对苜蓿进行晾晒,刈割粉碎后可直接入窖,能较好地解决苜蓿饲料实际生产中的问题。由于苜蓿自身存在营养缺陷,因此,在调制高水分青贮时,需要加入适量的添加剂。青贮卫士(Siloguard) 是一种无机盐添加剂,主要成分是硫酸钠、亚硫酸钠、硫酸钾、糖化麦芽、葡萄糖和丙二醇等。前人研究表明,青贮卫士在豆科牧草半干青贮中应用效果良好^[13-15]。但截至目前,有关青贮卫士在高水分苜蓿青贮中的应用研究较少。在高水分苜蓿中添加青贮卫士,探究其不同用量对青贮发酵品质的影响,可为生产上推广应用高水分苜蓿青贮技术时科学选择添加剂提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苜蓿为 3 a 生的中苜 1 号。其初花期苜蓿干物质含量 21.99%,粗蛋白(干基)含量 25.10%,中性洗涤纤维(干基)含量 42.52%,酸性洗涤纤维(干基)含量 29.91%,相对饲用价值 143.52%,可溶性糖(干基)含量 4.03%。

供试青贮卫士的主要成分为硫酸钠、亚硫酸钠、

硫酸钾、糖化麦芽、葡萄糖和丙二醇等,由国际食品贮藏公司(JZSF)生产。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 青贮卫士添加水平(与苜蓿鲜草质量比)设 0.00% (CK)、0.05% (SG1)、0.10% (SG2)、0.15% (SG3)、0.2% (SG4) 和 0.25% (SG5) 6 个处理,3 次重复。

2016 年 8 月 10 日在苜蓿初花期进行刈割。将苜蓿鲜草(含水量 78.01%) 用铡草机切成长 2~3 cm 的段,充分混匀后称取 27.5 kg 的鲜草样品,共 18 份。然后,称取青贮卫士 13.75、27.50、41.25、55.00 和 68.75 g 各 3 份,分别加入到鲜草样品中,混合均匀;以不加青贮卫士的 3 份鲜草样品作为对照。将原料逐层装入青贮桶〔有盖的高密度无毒聚乙烯圆桶,容积 50 L,外形尺寸 390 mm (直径) × 580 mm (高度),桶口直径 235 mm〕,密封并压实后做好标记。

1.2.2 测定项目与方法 贮藏 53 d 后开封取样,进行指标测定。

1.2.2.1 感官品质。依据农业部《青贮饲料质量评定标准》^[16],从 pH 值、色泽、气味、质地和霉变 5 个方面对青贮饲料的感官品质进行综合评定。其中,优等:100~76 分;良好:75~51 分;一般:50~26 分;劣质:25 分及以下。

1.2.2.2 发酵与营养品质。称取青贮饲料鲜样 20 g,加蒸馏水 180 mL 搅拌均匀,用组织捣碎机搅碎 1 min,然后用 4 层纱布和定性滤纸分别过滤,保留浸出液进行有关指标测定。其中,pH 值测定采用酸度计法;乳酸(LA)、乙酸(AA)、丙酸(PA)和丁酸(BA)含量测定采用 SHIMADZE-10A 型高效液相色谱法(色谱柱 Shodex Rspak KC-811 S-DVB gel Column 30 cm × 8 mm,检测器 SPD-M10AVP,流动相为 3 mmol/L 高氯酸,流速 1 mL/min,柱温 50 °C,检测波长 210 nm,进样量 5 μL)^[17];氨态氮(NH₃-N)含量测定采用苯酚-次氯酸钠比色法^[18];干物质(DM)含量测定采用烘箱烘干法^[19];总氮和粗蛋白质(CP)含量测定采用凯氏定氮法^[20];中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量测定采用范氏洗涤纤维法^[20],并计算相对饲用价值〔RFV, 120/NDF × (88.9 - 0.779ADF) / 1.29〕^[21];可溶性糖(WSC)含量测定采用蒽酮-硫酸比色法^[22]。

1.2.3 数据分析 利用 Excel 2003 软件处理基础数据,利用 SPSS 17.0 软件对数据进行统计和方差分析,采用 Duncan 法对数据进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料感官品质的影响

CK 的苜蓿青贮饲料感官品质得分为 43 分，质量等级为一般；添加青贮卫士处理的苜蓿青贮饲料感官品质得分均>CK，指标值随着添加量的增加呈先升高后降低的变化趋势，其中 SG3 处理得分最高、SG2 处理次之，但不同添加量处理的青贮饲料感官品质等级均达到了良好（表 1）。可以看出，在高水分苜蓿青贮中添加青贮卫士能够改善青贮饲料的感官品质，明显提升青贮饲料的质量等级，其中，青贮卫士添加量为 0.10%~0.15%时效果较好。

表 1 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料感官品质的影响
Table 1 The effect of siloguard on sensory quality of alfalfa silage

处理	分值 (分)						质量等级
	pH 值	水分	色泽	气味	质地	合计	
CK	0	16	7	17	3	43	一般
SG1	0	13	13	22	7	55	良好
SG2	0	16	13	23	7	59	良好
SG3	0	16	13	24	7	60	良好
SG4	0	16	13	20	7	56	良好
SG5	0	16	13	18	7	54	良好

2.2 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料发酵品质的影响

添加青贮卫士处理的苜蓿青贮饲料 pH 值均<CK，指标值随着添加量的增加呈先降低后升高的变化趋势，其中 SG1、SG2 和 SG3 处理的指标值与 CK 差异达到了显著水平，分别较 CK 降低了 0.44、0.70 和 0.40 个单位，且 SG2 处理的指标值也显著<SG1 和 SG3 处理，而 SG1 与 SG3 处理差异不显著（图 1）。可以看出，在高水分苜蓿青贮中添加青贮卫士能够降低青贮饲料的 pH 值，其中，青贮卫士添加量为 0.10%时效果最好，其次是添加量为 0.05%和 0.15%。

随着青贮卫士添加量的增加，苜蓿青贮饲料中的乳

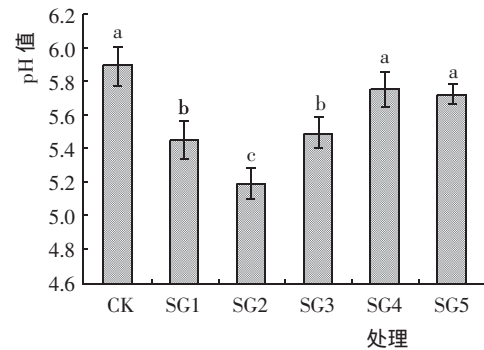


图 1 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料 pH 值的影响
Fig.1 The effect of siloguard on pH value of alfalfa silage
* 小写英文字母不同，表示在 0.05 水平上差异显著。

酸含量呈先升高后降低的变化趋势，其中 SG1、SG2 和 SG3 处理的指标值显著>CK 和其他 2 个添加量处理，且 SG3 处理的指标值也显著>SG1 和 SG2 处理，而 SG1 与 SG2 处理差异不显著（表 2）。苜蓿青贮饲料中的乙酸含量，除 SG3 处理略>CK 外，其他添加青贮卫士处理的指标值均<CK，其中，SG2 处理的指标值最低，与 SG1 以外的其他处理差异均达到了显著水平。添加青贮卫士处理的乳酸与乙酸含量比均>CK，其中 SG2 处理指标值最大，与 SG1 以外的其他处理差异均达到了显著水平。

添加青贮卫士处理的苜蓿青贮饲料丙酸含量均<CK，其中 SG1~SG4 处理的指标值差异不显著，但均与 CK 差异达到了显著水平。表明添加青贮卫士能够降低青贮饲料的丙酸含量，其中添加量为 0.05~0.20%时效果显著，但从经济上考虑，认为低添加量较为适宜。

添加青贮卫士处理的苜蓿青贮饲料丁酸含量均>CK，但所有处理之间差异均不显著。表明本研究添加量水平下，青贮卫士是否添加以及添加水平对苜蓿青贮饲料的丁酸含量影响不大。

添加青贮卫士处理的苜蓿青贮饲料氨态氮与总氮含量比均<CK，其中 SG1 处理的指标值最低，与 SG2 以外的其他处理差异均达到了显著水平。表明青

表 2 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料发酵品质的影响
Table 2 The effect of siloguard on fermentation quality of alfalfa silage

处理	乳酸含量 (%DM)	乙酸含量 (%DM)	乳酸/乙酸	丙酸含量 (%DM)	丁酸含量 (%DM)	氨态氮/总氮 (%)
CK	2.90±0.21 c	2.89±0.07 ab	1.01±0.08 d	0.34±0.18 a	0.05±0.04 a	9.18±0.53 a
SG1	4.05±0.46 b	2.15±0.35 cd	1.93±0.45 ab	0.12±0.05 b	0.08±0.00 a	4.64±1.77 d
SG2	4.62±0.44 b	1.86±0.25 d	2.53±0.50 a	0.11±0.05 b	0.08±0.01 a	5.36±0.31 cd
SG3	5.72±0.84 a	3.11±0.08 a	1.84±0.29 bc	0.14±0.06 b	0.08±0.01 a	8.13±0.71 ab
SG4	3.03±0.14 c	2.47±0.28 bc	1.24±0.15 cd	0.15±0.07 b	0.10±0.02 a	6.90±1.46 bc
SG5	2.87±0.37 c	2.78±0.29 ab	1.04±0.17 d	0.24±0.06 ab	0.10±0.02 a	8.47±0.43 ab

* 同列数据后小写英文字母不同，表示在 0.05 水平上差异显著，下表同。

贮卫士添加量为 0.05%~0.10%时效果较好。

2.3 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料营养品质的影响

青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料的粗蛋白和酸性洗涤纤维含量无显著影响(表 3)。

表 3 青贮卫士添加量对苜蓿青贮饲料营养品质的影响
Table 3 The effect of siloguard on nutritional quality of alfalfa silage

处理	干物质含量 (%)	粗蛋白含量 (%)	酸性洗涤纤维含量 (%)	中性洗涤纤维含量 (%)	相对饲用价值 (%)	可溶性糖含量 (%)
CK	26.21±0.36 a	24.09±0.62 a	33.76±0.74 a	48.73±1.16 a	119.54±3.50 c	2.84±0.63 b
SG1	24.35±0.84 b	23.57±0.48 a	34.18±0.96 a	48.74±1.53 a	118.93±3.76 c	3.49±0.23 ab
SG2	25.55±0.62 ab	24.15±1.03 a	33.51±1.07 a	45.63±2.26 bc	128.28±7.82 ab	4.14±1.45 ab
SG3	25.93±1.86 ab	23.19±0.40 a	33.10±0.37 a	45.41±1.06 c	129.34±3.55 a	4.69±1.84 a
SG4	26.23±0.66 a	23.35±0.33 a	34.22±0.14 a	48.33±1.18 ab	119.86±2.90 bc	0.84±0.39 c
SG5	25.67±0.35 ab	23.87±0.23 a	34.19±0.61 a	47.31±1.70 abc	122.57±5.45 abc	0.44±0.38 c

与 CK 相比,除 SG1 处理外,其他添加青贮卫士处理的干物质含量均无显著变化,且均可降低苜蓿青贮饲料中的中性洗涤纤维含量,提高其相对饲用价值,其中,SG2 和 SG3 处理的中性洗涤纤维含量分别降低了 6.36%和 6.81%,相对饲用价值分别提高了 7.31%和 8.20%,差异均达到了显著水平。青贮卫士添加量≤0.15%时,苜蓿青贮饲料的可溶性糖含量随着添加量的增加而增加,其中 SG3 处理与 CK 差异达到了显著水平;添加量继续增加,苜蓿青贮饲料的可溶性糖含量急剧下降,且显著<CK。

综上所述可以看出,在高水分苜蓿青贮中添加适量青贮卫士可降低苜蓿青贮饲料中的中性洗涤纤维含量,提高其相对饲用价值和可溶性糖含量。总体来看,青贮卫士添加量为 0.10%~0.15%时效果较好。

3 结论与讨论

3.1 在高水分苜蓿中添加青贮卫士可改善青贮饲料的感官品质

紫花苜蓿是一种高蛋白、低碳水化合物、高缓冲能、高水分的豆科牧草,且青贮原料附着的乳酸菌很少,有害细菌与有益细菌比例高达 10:1,直接青贮时不易调制出优质的青贮饲料^[5,6]。本试验的感官评定结果显示,将紫花苜蓿直接青贮获得的青贮饲料质量等级仅为一般,但添加青贮卫士后,青贮饲料的色泽、气味和质地均有所提升,感官品质提高到良好等级。

3.2 在高水分苜蓿中添加青贮卫士可改善青贮饲料的发酵品质

青贮卫士属于无机盐添加剂,主要成分是硫酸钠、亚硫酸钠、硫酸钾、糖化麦芽、葡萄糖和丙二醇等。亚硫酸钠能消耗青贮容器内的氧气,使青贮环境快速进入厌氧条件,有效抑制酵母菌等需氧微生物的繁殖,从而达到抑制高水分苜蓿青贮饲料乙酸和丙酸

等有机酸积累,减少养分损耗的目的;同时,为厌氧菌的快速繁殖创造了有利的环境条件。糖化麦芽和葡萄糖等可溶性糖的添加为乳酸发酵提供了充足的底物,促进了乳酸的积累。本试验结果表明,添加适量青贮卫士后,高水分苜蓿青贮饲料的 pH 值显著降低,说明其促进了青贮发酵中酸的产生,与郭艳萍等^[23]在青贮玉米上的应用效果基本一致。添加适量青贮卫士能促进高水分苜蓿青贮饲料乳酸的积累,抑制乙酸和丙酸的产生,对改善青贮发酵品质有着促进作用,与玉柱等^[13]、王莹等^[15]和郭艳萍等^[23]的研究结果基本一致。青贮饲料中乳酸多,说明发酵过程中同型乳酸菌发酵活跃,异型乳酸菌发酵受到抑制,营养物质损失^[23,24]。

氨态氮是苜蓿青贮过程中蛋白质水解的产物,氨态氮含量越高,表明青贮过程中降解的蛋白质越多,发酵品质越差,而且会明显影响动物的采食量和饲料利用率^[25,26]。添加青贮卫士可降低青贮饲料的氨态氮含量,说明青贮卫士对高水分苜蓿青贮饲料的蛋白降解有抑制作用。这可能与青贮卫士中硫酸钠具有干燥功能有关:硫酸钠吸收了青贮原料的部分渗出液,干扰了苜蓿粗蛋白的水解环境,降低了氨态氮的生成。但该结论有待进一步试验验证。

添加青贮卫士虽然可以显著降低青贮饲料的 pH 值,但效果不太理想,最低 pH 值仅为 5.19,且不能有效抑制青贮过程中丁酸的发酵。今后,应对青贮卫士抑制丁酸发酵、降低 pH 值的效果加以改进。

综合各项发酵品质指标来看,在高水分苜蓿青贮饲料中添加 0.05%~0.10%的青贮卫士效果较好。

3.3 在高水分苜蓿中添加青贮卫士可改善青贮饲料的营养品质

青贮饲料营养品质指标主要包含干物质含量、粗蛋白含量、中性洗涤纤维含量、酸性洗涤纤维含量、

可溶性糖含量和相对饲用价值等。干物质、粗蛋白和可溶性糖含量越高,说明青贮饲料中营养成分的保存越充分,饲料的营养品质越好^[17,12-15]。本试验结果表明,青贮卫士添加量大于0.05%时对高水分苜蓿青贮饲料的干物质和粗蛋白含量影响均不显著,添加量 \leq 0.15%时可溶性糖含量随着添加量的增加而增加,说明在高水分苜蓿青贮中添加适量青贮卫士后,其发酵过程对养分的消耗没有明显增加,与玉柱等^[13]的研究结果相一致。

相对饲用价值在苜蓿干草品质评价中的应用已极为普遍。其与中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量均呈负相关,即中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量越低,饲料的相对饲用价值越高,品质越好。本试验条件下,在高水分苜蓿青贮中添加0.10%和0.15%的青贮卫士可显著降低中性洗涤纤维含量,明显提高其相对饲用价值。

综合各项营养品质指标来看,在高水分苜蓿青贮饲料中添加0.10%~0.15%的青贮卫士效果较好。

综上所述,添加适量的青贮卫士能够改善苜蓿高水分青贮的发酵品质和营养品质,可以将青贮卫士作为苜蓿高水分青贮调制的发酵品质改良剂,较为适宜的添加量为0.10%。

参考文献:

[1] 张涛,李蕾,崔宗均,李胜利,胡跃高. 添加不同青贮菌剂对苜蓿青贮效果的影响 [J]. 青海草业, 2009, 18(3): 1-7.

[2] 李向林,万里强. 苜蓿青贮技术研究进展 [J]. 草业学报, 2005, 14(2): 9-15.

[3] 马春晖,夏艳军,韩军,钱文熙,张玲,席琳乔,方雷. 不同青贮添加剂对紫花苜蓿青贮品质的影响 [J]. 草业学报, 2010, 19(1): 128-133.

[4] 戚志强,王永雄,胡跃高,曾昭海. 当前我国苜蓿产业发展的形势与任务 [J]. 草业学报, 2008, 17(1): 23-26.

[5] 刘振宇,玉柱,智健飞,谢楠,秦文利,冯伟,刘忠宽. 苜蓿青贮研究进展 [J]. 河北农业科学, 2013, 17(6): 62-65, 83.

[6] 玉柱,孙启忠. 饲草青贮技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.

[7] Wan L Q, Li X L, Zhang X P. The effect of different water contents and additives on *Medicago sativa* silage [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2007, 16(2): 40-45.

[8] Bhandari S K, Ominski K H, Wittenberg K M. Effects of chop length of alfalfa and corn silage on milk production and rumen fermentation of dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90(5): 23-29.

[9] 单贵莲,薛世明,徐柱,初晓辉. 不同调制方法紫花苜蓿干燥特性及干草质量的研究 [J]. 草业学报, 2008, 17(4):

56-60.

[10] 郭万柱,吴彤,陈瑶先. 动物微生物学 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2001.

[11] McDonald P, Henderson N, Heron S. The biochemistry of silage: 2nd ed [M]. Berkshire: Chalcombe Publ, 1991.

[12] 王莹,玉柱. 不同添加剂对紫花苜蓿青贮发酵品质的影响 [J]. 中国草地学报, 2010, 32(5): 80-84.

[13] 玉柱,魏馨,韩建国,于艳冬,孙启忠. Siloguard添加剂在尖叶胡枝子青贮饲料中的应用 [J]. 饲料博览, 2009, (3): 1-4.

[14] 刘振宇,玉柱,刘忠宽,黄欣颖,王宇通,邵新庆. 无机盐添加剂对窖贮紫花苜蓿品质的影响 [J]. 草业科学, 2010, 27(10): 154-159.

[15] 王莹,玉柱,于艳冬. 添加剂对扁蓿豆青贮饲料影响的研究 [J]. 草业科学, 2010, 27(2): 129-133.

[16] 刘建新,杨振海,叶均安,史占全,吴跃明. 青贮饲料的合理调制与质量评定标准 [J]. 饲料工业, 1999, 20(4): 3-5.

[17] 许庆方,玉柱,韩建国,白春生,薛艳林,荀桂荣. 高效液相色谱法测定紫花苜蓿青贮中的有机酸 [J]. 草原与草坪, 2007, 121(2): 63-65, 67.

[18] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media [J]. Journal of Dairy Science, 1980, 63(1): 64-75.

[19] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1999.

[20] Goering H K, Van Soest P J. Forage fiber analysis [M]. Washington D C: Department of Agriculture Handbook, 1970.

[21] 毛培胜. 草产品质量与安全监测 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.

[22] Owens V N, Albrecht K A, Muck R E, Duke S H. Protein degradation and fermentation characteristics of red clover and alfalfa silage harvested with varying levels of total nonstructural carbohydrates [J]. Crop Science, 1999, 39(6): 1873-1880.

[23] 郭艳萍,邓波,娜日苏,玉柱,顾雪莹,朝克图. 添加剂 Siloguard 对全株玉米青贮饲料品质及有氧稳定性的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(4): 424-428.

[24] Amer S, Hassanat F, Berthiaume R, Seguin P, Mustafa A F. Effects of water soluble carbohydrate content on ensiling characteristics, chemical composition and in vitro gas production of forage millet and forage sorghum silages [J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 177(1): 23-29.

[25] 张涛,崔宗均,李建平,杨立国,康玉凡,胡跃高. 不同发酵类型青贮菌剂对青贮发酵的影响 [J]. 草业学报, 2005, 14(3): 67-71.

[26] 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 [J]. 中国草地学报, 2008, 30(4): 100-106.