

张建丽,孟春花,桂红兵,等. 不同铵源氨化油菜秸秆营养品质及湖羊瘤胃降解率的比较[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):182-186.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.027

不同铵源氨化油菜秸秆营养品质 及湖羊瘤胃降解率的比较

张建丽^{1,2}, 孟春花^{1,2}, 桂红兵^{1,2}, 石祖梁³, 曹少先^{1,2}, 张俊^{1,2}, 贾成立⁴, 钱勇^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院畜牧研究所, 江苏南京 210014; 2. 农业农村部种养殖结合重点实验室, 江苏南京 210014;

3. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 4. 山东省单县畜牧服务中心, 山东单县 274300)

摘要:为促进油菜秸秆的饲料化利用、改善其饲用品质,比较不同铵源氨化处理对油菜秸秆营养品质变化及湖羊瘤胃降解率影响。试验以风干油菜秸秆为研究对象,分别采用 15% 碳酸氢铵(碳铵组)和 5% 尿素(尿素组)氨化 30 d,评定氨化后油菜秸秆的感官指标,测定营养品质,利用体外产气法测定油菜秸秆在瘤胃液中消化 24、48 h 后的干物质(DM)、粗蛋白(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)降解率及 pH 值、氨态氮(NH₃-N)和产气量的变化。结果表明,15% 碳酸氢铵氨化和 5% 尿素氨化均显著改善油菜秸秆的风味和适口性,CP 含量均极显著高于对照组($P < 0.01$),碳铵组的 NDF 含量极显著低于对照组($P < 0.01$),尿素组 NDF 显著低于对照组($P < 0.05$),氨化的 ADF($P < 0.05$)和粗灰分(Ash)、粗纤维(CF)($P < 0.01$)均显著低于对照。体外消化 48 h 后,氨化组产气量、DM、CP 降解率及 NH₃-N 含量均极显著高于对照($P < 0.01$),碳铵组 NDF、ADF 的降解率、体外产气量极显著高于尿素组和对照组($P < 0.01$)。综上所述,15% 碳酸氢铵氨化和 5% 尿素氨化处理均可改善油菜秸秆适口性、提高 CP 含量,降低 NDF、ADF 含量、提高瘤胃体外发酵产气量、DM、CP 降解率和 NH₃-N 浓度,综合比较,15% 碳酸氢铵氨化的油菜秸秆更有利于湖羊瘤胃消化。

关键词:油菜秸秆;氨化;感官品质;营养品质;体外消化

中图分类号:S826.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0182-05

油菜是我国第一大油料作物,2018 年种植面积

约 710 万 hm²,产生油菜秸秆约 3 807 万 t,这些秸秆被饲料化利用仅占 2%,大部分被随意废弃或焚烧,不仅造成资源浪费,还污染环境。油菜秸秆含有牛羊所需的营养物质,是很好的粗饲料来源,可部分替代常规粗饲料^[1-2],但它们又存在天然的异味,影响适口性,而使采食量和消化率偏低^[3-5]。对秸秆采用氨化处理,秸秆变得柔软易咀嚼,具有糊香味、消化率和蛋白质含量增加,采食量提高

收稿日期:2021-11-11

基金项目:江苏现代农业(肉羊)产业技术体系项目(编号:JATS[2021]427);国家油菜产业技术体系岗位科学家(编号:CARs-12)。

作者简介:张建丽(1979—),女,江苏东台人,助理研究员,主要从事动物营养研究。E-mail:zhangjianli79@163.com。

通信作者:钱勇,研究员,主要从事肉羊品种改良、新品种选育及规模化生产技术研究。E-mail:jaasqy@jaas.ac.cn。

[26] Cuypers A, Hendrix S, dos Reis R A, et al. Hydrogen peroxide, signaling in disguise during metal phytotoxicity [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7:470.

[27] 李贺勤,王维华,江绪文. 抗坏血酸对铜胁迫下广藿香幼苗生长、铜积累和抗氧化酶活性的影响[J]. *环境化学*, 2016, 35(7):1431-1437.

[28] 张阿芳,张庆,代惠萍,等. 镉胁迫对银灰杨根和叶片渗透调节物质的影响[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(2):83-87.

[29] Bashir M A, Wang X K, Naveed M, et al. Biochar mediated - alleviation of chromium stress and growth improvement of different maize cultivars in tannery polluted soils[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(9):4461.

[30] Rebbi A E M, Lounici H, Lahrech M B, et al. Response of *Artemisia*

herba alba to hexavalent chromium pollution under arid and semi-arid conditions [J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2019, 21(3):224-229.

[31] Berni R, Luyckx M, Xud X, et al. Reactive oxygen species and heavy metal stress in plants: impact on the cell wall and secondary metabolism [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2019, 161:98-106.

[32] 周颖,李燕,陶瑜,等. 不结球白菜抗坏血酸相关基因 *BcMDHAR2* 功能验证[J]. *南京农业大学学报*, 2021, 44(4):628-636.

[33] Gomes - Junior R A, Moldes C A, Delite F S, et al. Nickel elicits a fast antioxidant response in *Coffea arabica* cells [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2006, 44(5/6):420-429.

20%~40%,提升营养价值和经济效益^[6-7],同时由于加工简单、成本较低,既减少了秸秆废弃对环境的破坏,又节省了能量饲料和蛋白质饲料,秸秆氨化已成为我国大力推广应用的实用技术之一。孟春花等采用 15% 碳酸氢铵处理油菜秸秆显著提高瘤胃降解率^[5],吕贞龙等、依甫拉音·玉素甫分别添加 5% 尿素处理小麦秸秆和玉米秸秆,均获得了较好的效果^[8-9]。本试验通过体外产气法模拟瘤胃发酵,评价经 15% 碳酸氢铵氨化和 5% 尿素氨化油菜秸秆的营养价值,比较体外发酵效果,提高油菜秸秆的适口性、营养品质和瘤胃干物质消化率,为油菜秸秆的饲料化利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料、试验动物及其饲养管理

本试验所用风干油菜秸秆,采自江苏省油菜种植区南通市海门区常乐镇;体外消化所用瘤胃液,采自江苏省农业科学院动物实验基地 3 只装有永久性瘤胃瘘管的 2 周岁湖羊母羊。该动物采用单独圈舍饲养,每天饲喂 2 次,自由饮水,其日粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

项目	含量 (%)
玉米	10.00
豆粕	1.50
麦麸	3.00
玉米蛋白粉	5.00
玉米皮	4.00
醋糟	6.00
预混料	0.40
石粉	0.10
食盐	0.16
青贮玉米秸秆	69.84
合计	100.00
营养水平	
粗蛋白质 CP	13.06
中性洗涤纤维 NDF	45.93
酸性洗涤纤维 ADF	29.57
钙 Ca	0.88
磷 P	0.57

1.2 试验方法

1.2.1 氨化处理及采样 本研究于 2018 年 6 月在南通海门江苏绿羊谷养殖科技发展有限公司进行,

试验组分别采用 15% 碳酸氢铵(含氮量 2.66%)和 5% 尿素(含氮量 2.33%)氨化油菜秸秆,对照组是风干油菜秸秆。参照钟声等的方法,将风干的油菜秸秆铡碎,分别制作,15% 碳铵氨化组(以下简称碳铵组):每 100 kg 风干秸秆添加 70 kg 15% 碳酸氢铵溶液,充分搅拌均匀、堆垛、踏实、密封^[10]。5% 尿素氨化组(以下简称尿素组):每 100 kg 风干秸秆添加 70 kg 5% 尿素溶液,充分搅拌均匀、堆垛、踏实、密封。30 d 后,开封评价感官品质、取样、烘干粉碎,以备后续测定。

1.2.2 体外产气试验 采用文献[11]的方法配制人工瘤胃缓冲液,喂食后 2 h 内从装有永久性瘘管的湖羊瘤胃中吸取瘤胃液,迅速装入预热至 39 °C 保温瓶中,混合均匀后采用 4 层纱布过滤,按照瘤胃液与人工瘤胃缓冲液体积比 1:2 的比例混合,搅拌均匀,同时持续通入 CO₂ 直至溶液变为无色。

称取 0.4 g 烘干样,放入已知质量的 ANKOMF57 纤维袋中,封口,将纤维袋放入 125 mL 产气瓶中,空白瓶中仅放入已知质量无样品纤维袋,首先向瓶中通入 CO₂ 排尽空气,然后加入 40 mL 人工瘤胃液,同时持续通入 CO₂,迅速塞上橡胶塞,盖上铝盖,并用压盖钳将铝盖压紧,置于 39 °C 培养箱中,每 4 h 晃动 1 次,分别于 24、48 h 取出产气瓶,立即放入冷水中,终止发酵,采用注射器测量产气量,开盖取出纤维袋,采用清水洗净,烘干、称质量,用于测定 DM、NDF、ADF、CP 降解率;另外将产气瓶中发酵液倒入离心管中,测定 pH 值,离心后取上清,用于测定 NH₃-N。

各数据计算公式:

降解率 = [放入发酵瓶前底物质量(g) - 终止发酵后残留物质量(g)] / 放入发酵瓶前底物质量(g) × 100% ;

产气量(mL) = 该时间段内瓶中气体量(mL) - 对应时间段内空白瓶产气量(mL)。

1.2.3 测定指标与方法 DM、CP、Ash 含量测定方法参照张丽英主编的《饲料分析及饲料质量检测技术》^[12],中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、粗纤维(CF)含量测定采用范氏洗涤纤维分析法^[13]测定。pH 值采用梅特勒-托利多 FE20 型酸度计测定,氨态氮(NH₃-N)采用苯酚-次氯酸钠比色法测定。

1.2.4 数据处理与分析 试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),试

验结果以“平均值 ± 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 不同铵源氨化油菜秸秆的感官评定

氨化 30 d 后开袋,依据氨化秸秆质量评定标

准^[14],对各处理组油菜秸秆的色泽、气味、质地和温度等感官指标进行评定。

由表 2 可知,采用 15% 碳铵氨化和 5% 尿素氨化后的油菜秸秆均达到较好氨化效果,依据刘向阳的氨化秸秆感官质量评定标准^[14],评为“氨化好”。

表 2 不同铵源氨化处理对油菜秸秆感官指标变化的影响

组别	气味	色泽	质地	温度	评定
碳铵组	有强烈氨味,放氨后呈糊香	棕黄色	松软	手插入温度不高	氨化好
尿素组	有强烈氨味,放氨后呈糊香	棕黄色	松软	手插入温度不高	氨化好

2.2 不同铵源氨化对油菜秸秆营养品质的影响

由表 3 可知,氨化组油菜秸秆的 CP 含量极显著高于对照 ($P < 0.01$),尿素组的 CP 含量极显著高于碳铵组 ($P < 0.01$)。碳铵组 NDF 含量极显著低于对照组 ($P < 0.01$),尿素组 NDF 显著低于对照

($P < 0.05$),略高于碳铵组,但差异不显著。氨化组的 ADF 均显著低于对照 ($P < 0.05$),2 种氨化方式间无显著差异。氨化组的 CF、Ash 均极显著低于对照组 ($P < 0.01$),碳铵组的 CF 极显著高于尿素组 ($P < 0.01$),Ash 极显著低于尿素组 ($P < 0.01$)。

表 3 氨化处理对油菜秸秆营养成分的影响

组别	CP	NDF	ADF	CF	Ash
对照组	3.25 ± 0.05Cc	72.89 ± 0.55Aa	54.20 ± 0.58a	49.25 ± 0.05Aa	8.14 ± 0.02Aa
碳铵组	6.26 ± 0.15Bb	69.32 ± 0.28Bb	51.18 ± 0.38b	48.82 ± 0.06Bb	6.68 ± 0.04Cc
尿素组	7.34 ± 0.15Aa	70.76 ± 0.56Ab	51.43 ± 0.29b	47.89 ± 0.06Cc	7.59 ± 0.05Bb

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$),下表同。

2.3 不同铵源氨化对油菜秸秆体外消化 DM、CP、NDF、ADF 降解率的影响

油菜秸秆瘤胃体外消化的 DM、CP、NDF、ADF 降解率结果见表 4。由表 4 可知,秸秆的 DM、CP、NDF、ADF 降解率均随着发酵时间的延长逐渐升高。不同处理的油菜秸秆 DM 消化率不同,24 h 后碳铵组 DM 降解率显著高于对照组 ($P < 0.05$),尿素组的极显著高于对照组 ($P < 0.01$),处理组之间无显著差异;48 h 后处理组 DM 降解率均极显著高于对照 ($P < 0.01$),分别比对照组高出 7.26% 和

6.61%,碳铵组 DM 降解率略高于尿素组,但差异不显著。24 h 和 48 h 氨化组的 CP 降解率分别极显著高于对照组 ($P < 0.01$),氨化组的 CP 降解率无显著差异 ($P > 0.05$)。对照组和处理组在 24 h 后 NDF 降解率的无显著差异,48 h 碳铵组的 NDF 降解率极显著高于对照组和尿素组 ($P < 0.01$),48 h 尿素组的 NDF 降解率略高于对照组,但差异不显著 ($P > 0.05$)。48 h 后碳铵组的 ADF 降解率极显著高于对照和尿素组 ($P < 0.01$),对照组略高于尿素组,但差异不显著。

表 4 不同铵源对油菜秸秆体外消化营养物质降解率的影响

组别	DM 降解率 (%)		CP 降解率 (%)		NDF 降解率 (%)		ADF 降解率 (%)	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
对照组	28.13 ± 1.04Bb	38.24 ± 1.03Bb	26.93 ± 0.00Bb	58.71 ± 1.89Bb	18.42 ± 0.43a	25.74 ± 0.98Bb	17.70 ± 0.65Aa	24.43 ± 0.12Bb
碳铵组	32.57 ± 0.75Aba	45.50 ± 0.75Aa	72.21 ± 1.45Aa	78.03 ± 1.46Aa	18.79 ± 0.80a	33.10 ± 0.65Aa	13.36 ± 0.87Bb	28.21 ± 0.68Aa
尿素组	33.76 ± 1.53Aa	44.85 ± 1.53Aa	70.73 ± 0.36Aa	78.96 ± 0.57Aa	18.46 ± 0.04a	26.63 ± 0.84Bb	14.61 ± 0.42Ab	23.45 ± 0.69Bb

2.4 不同铵源氨化对油菜秸秆体外产气量、pH 值、NH₃-N 含量的影响

由表 5 可知,24 h 产气量 3 个组之间差异不显著,48 h 后处理组的产气量极显著高于对照组 ($P <$

0.01),碳铵组产气量极显著高于尿素组 ($P < 0.01$),48 h 产气量大小排序为碳铵组 > 尿素组 > 对照。体外发酵液的 pH 值在 6.63 ~ 6.78 之间,均在正常范围之内。碳铵组和尿素组消化 48 h 后 pH

值极显著低于对照组 ($P < 0.01$), 氨化组间无显著差异。碳铵组和尿素的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 在 24、48 h 含量均

极显著高于对照 ($P < 0.01$), 处理组间无显著差异。

表 5 不同铵源对油菜秸秆体外产气的影响

组别	产气量 (mL)		pH 值		$\text{NH}_3 - \text{N}$ (mg/d L)	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
对照组	21.25 ± 0.57a	25.25 ± 1.40Cc	6.77 ± 0.02ab	6.72 ± 0.02Aa	7.69 ± 0.27Bb	11.16 ± 0.44Bb
碳铵组	22.08 ± 0.55a	35.17 ± 0.87Aa	6.78 ± 0.01a	6.63 ± 0.01Bb	10.15 ± 0.31Aa	14.32 ± 0.13Aa
尿素组	22.00 ± 0.45a	32.17 ± 0.44Bb	6.74 ± 0.00b	6.63 ± 0.01Bb	10.60 ± 0.15Aa	15.16 ± 0.28Aa

3 讨论

氨化使秸秆在较强的碱化作用下, 秸秆中的木质素与多糖之间的酯键被破坏, 从而使纤维素与木质素的镶嵌结构变疏松, 通透性提高^[15]。本试验中, 油菜秸秆通过不同铵源的氨化, 营养价值和瘤胃体外降解率均得到了不同程度的改善。

3.1 不同铵源氨化对油菜秸秆营养品质的影响

试验采用 15% 碳铵和 5% 尿素处理油菜秸秆, 极显著提高了油菜秸秆 CP 含量, 与孟春花等^[16]、黄金华等^[17]的研究结果一致, 试验中对照秸秆的 CP 含量略低于孟春花等所测的 3.37%, 这可能与收割时期有关。在秸秆中添加氮源, 补充了秸秆中的非蛋白氮, 提高了 CP 含量^[15]。氨化组显著或极显著降低了 NDF、ADF 含量, 孟春花等的试验中 15% 碳铵氨化降低了油菜秸秆中的 NDF 和 ADF 含量^[16], 黄金华等的研究中尿素氨化能显著降低玉米秸秆中的 NDF 含量^[17], 刘丹等氨化处理秸秆后 ADF 含量显著降低, 玉米秸秆等采用氨化处理提高了粗蛋白含量^[18], 降低了中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量^[9], Elseed 等氨化处理水稻秸秆, 增加了秸秆的 CP 含量、降低了 NDF 含量、改善了适口性^[19]。氨化可能破坏了油菜秸秆纤维的内部结构, 使纤维之间的氢键变弱, 断开了木质素与纤维素、半纤维素之间的酯键, 破坏了木质化纤维的镶嵌结构, 秸秆变得蓬松, 增加了吸附纤维素酶的表面积, 有利于酶解的进行, 从而使 NDF、ADF 含量降低。

3.2 不同铵源氨化对油菜秸秆瘤胃体外降解率的影响

体外产气法是通过模拟瘤胃的发酵环境, 预测发酵底物的营养价值, 操作简便、重复性好, 可进行大量样品检测, 被广泛应用于饲料营养价值的评价。谢春元等对玉米、苜蓿进行营养价值评价的结果表明, 体外产气能够较为客观而准确地反映饲料的发酵和干物质降解情况^[20]。

采用 48 h 瘤胃降解法评价氨化秸秆饲料质量较为合适^[14]。消化 48 h 后, 碳铵组和尿素组的 DM 降解率均显著高于对照组。氨化后秸秆 CP 消化率在 24 h 和 48 h 均极显著高于对照组, 处理组之间没有显著差异。48 h 后, 碳铵组的 NDF、ADF 降解率均极显著高于对照组和尿素组, 对照组和尿素组无显著差异。孟春花等研究显示, 15% 碳铵氨化油菜能提高油菜秸秆营养成分和瘤胃降解率^[17]。氨化在一定程度上破坏了木质素和半纤维素形成的酯键, 纤维部分水解膨胀同时碱性环境使木质化纤维膨胀, 增加瘤胃微生物附着数量, 使消化酶更容易与纤维接触, 提高纤维性物质的降解率, 从而提高氨化秸秆的消化率, CP 含量的提高为发酵提供了蛋白, 进一步提高了瘤胃微生物对干物质的消化能力, 碳铵组和尿素组的油菜秸秆 DM、CP 的瘤胃降解率均提高^[16]。

3.3 不同铵源氨化对油菜秸秆发酵指标的影响

氨化后油菜秸秆 48 h 的产气量和干物质降解率随着时间延长逐渐增大, 碳铵组和尿素组 DM 降解率极显著高于对照组, 与马艳艳等采用氨化、尿素处理稻草提高稻草体外发酵产气量和干物质降解率结果^[21]一致。产气量表示反刍动物摄入饲料中有机物的可利用程度, 也是衡量饲料营养价值的重要指标^[22], 一般来说, 产气体积的大小反映瘤胃微生物的代谢活力和底物可消化营养成分的数量, 氨化提高了油菜秸秆的粗蛋白含量和可发酵的纤维比例, 瘤胃消化后, 可降解比例升高, 从而提高了油菜秸秆干物质降解率和总产气量。

油菜秸秆通过 15% 碳酸氢铵和 5% 尿素氨化极显著提高了秸秆的粗蛋白含量, 发酵后产生的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的浓度极显著高于对照。瘤胃中 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的浓度是反映瘤胃微生物合成情况、氮代谢以及饲料蛋白质降解程度的重要指标, 维持适宜的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度是瘤胃微生物蛋白合成的前提条件^[23]。瘤胃内适宜的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度为 63 ~ 275 mg/L^[24], 本试

验浓度处于正常范围之内。氨化后,油菜秸秆在瘤胃中的粗蛋白降解率提高,促进瘤胃内合成菌体蛋白合成,有研究发现,氨化过程中 NH_3 与秸秆中有机物发生氨解反应,形成了有助于瘤胃微生物合成菌体蛋白的铵盐,为瘤胃微生物的生长提供必需的氮源^[24],有利于提高活力,提高降解率。

氨化后 pH 值极显著低于对照,瘤胃 pH 值是综合反映瘤胃发酵情况及瘤胃内环境变化的重要指标,pH 值的大小影响日粮蛋白质在瘤胃中的降解率,在 6.0 ~ 7.0 最适合蛋白质分解和脱氨基作用^[25],在此范围内大多数饲料蛋白质都能得到有效降解,过高或者过低都会影响瘤胃正常发酵。对照组和氨化组体外发酵的 pH 值位于 6.63 ~ 6.78 间,说明氨化的油菜秸秆未对瘤胃消化产生不良影响。

4 结论

油菜秸秆经过 15% 碳铵氨化和 5% 尿素氨化处理后,改善了秸秆风味和适口性,提高了 CP 含量,降低了 NDF、ADF 含量,提高了营养品质,利用体外瘤胃消化,提高了体外发酵产气量、干物质、CP 降解率和 NH_3 -N 浓度,综合比较,15% 碳铵氨化的油菜秸秆更有利于湖羊瘤胃消化。

参考文献:

- [1] 瞿明仁. 南方经济作物副产物生产、饲料化利用之现状与问题[J]. 饲料工业,2013,34(23):1-6.
- [2] 陈丽园,夏伦志,吴东. 油菜秸秆的无公害处理研究[J]. 中国草食动物,2010,30(4):36-38.
- [3] 王洪超,刘大森,刘春龙,等. 饲料油菜及其饲用价值研究进展[J]. 土壤与作物,2016,5(1):60-64.
- [4] 黎力之,付东辉,欧阳克惠,等. 不同品种油菜秸营养成分及饲用价值评价[J]. 江西畜牧兽医杂志,2016(3):31-33.
- [5] 孟春花,乔永浩,钱勇,等. 微贮对油菜秸秆营养成分及其在山羊瘤胃中降解特性的影响[J]. 南京农业大学学报,2020,43(2):326-332.
- [6] 张兴国,徐相亭,刘洪波,等. 秸秆氨化处理及在羊育肥中的应用研究[J]. 农业与技术,2014,34(7):174.
- [7] 罗志忠,孙法军,王艳. 液氨氨化对麦秸干物质体外消化率的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2015(16):141-142.
- [8] 吕贞龙,陈后庆,尹召华,等. 小麦秸秆氨化中尿素氮水平对其品质的影响[J]. 饲料工业,2007,28(23):26-28.
- [9] 依甫拉音·玉素甫. 氨化处理对玉米秸秆感官品质、营养成分及瘤胃消失率的影响[J]. 新疆畜牧业,2016(7):22-24.
- [10] 钟声,林继煌. 肉羊生产大全[M]. 南京:江苏科学技术出版社,2002:132-134.
- [11] Menke K H, Raab L, Salews K I, et al. The gas production method [J]. Agricultural Science, 1979, 93: 217-222.
- [12] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3版. 北京:中国农业大学出版社,2007:48-80.
- [13] van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10): 3583-3597.
- [14] 刘向阳,阎巧娟,韩鲁佳,等. 氨化秸秆饲料的质量评定[J]. 中国农业大学学报,2002,7(6):49-53.
- [15] 邱玉朗,朱煜升,李林,等. 不同处理秸秆营养成分及对肉羊生长性能的影响[J]. 饲料研究,2020,43(12):13-16.
- [16] 孟春花,乔永浩,钱勇,等. 氨化对油菜秸秆营养成分及山羊瘤胃降解特性的影响[J]. 动物营养学报,2016,28(6):1796-1803.
- [17] 黄金华,王士长,周贞兵,等. 氨化及青贮秸秆的营养价值研究(续)[J]. 饲料研究,2009(11):71-72.
- [18] 刘丹,吴跃明,刘建新. 氨化处理对秸秆理化特性和组织特性的影响[J]. 中国饲料,2004(2):36-38.
- [19] Fadel elseed A N M A. Performance of sheep offered ammonia, or urea - calcium hydroxide treated rice straw as an only feed [J]. Animal Science Journal, 2004, 75(5): 411-415.
- [20] 谢春元,杨红建,么学博,等. 瘤胃尼龙袋法和体外产气法评定反刍动物饲料的营养价值的比较[J]. 中国畜牧杂志,2007,43(17):39-42.
- [21] 马艳艳,李袁飞,成艳芬,等. 不同化学处理对稻草体外发酵动态变化的影响[J]. 草业学报,2014,23(3):350-355.
- [22] 王芳,徐元君,牛俊丽,等. 体外产气法评价反刍动物饲料营养价值研究[J]. 中国畜牧兽医,2016,43(1):76-83.
- [23] 冯建芳,李秋风,高艳霞,等. 全株玉米青贮饲料、苜蓿及谷草间组合效应的研究[J]. 中国饲料,2017(2):10-15.
- [24] 于满满,姜雨轩,张美美,等. 利用体外产气法评定不同比例氨化秸秆替代苜蓿的组合效应[J]. 中国畜牧兽医,2017,44(12):3497-3504.
- [25] 冯仰廉. 反刍动物营养学[M]. 北京:科学出版社,2004:136-138.