

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0464

孙林, 薛艳林, 张福金, 吴晓光, 肖燕子, 张欣昕, 刘广华, 刘思博. 刈割茬次与制粒对紫花苜蓿维生素和化学成分的影响. 草业科学, 2021, 38(1): 99-109.

SUN L, XUE Y L, ZHANG F J, WU X G, XIAO Y Z, ZHANG X X, LIU G H, LIU S B. Effects of cutting number and pelletizing on vitamin content and chemical composition of alfalfa. Pratacultural Science, 2021, 38(1): 99-109.

刈割茬次与制粒对紫花苜蓿维生素和化学成分的影响

孙林^{1,2}, 薛艳林², 张福金², 吴晓光³, 肖燕子⁴,
张欣昕², 刘广华², 刘思博²

(1. 西华师范大学生命科学学院, 四川南充 637002; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古呼和浩特 010031;
3. 内蒙古自治区土地调查规划院, 内蒙古呼和浩特 010055; 4. 呼伦贝尔学院农林学院, 内蒙古呼伦贝尔 021000)

摘要: 为探究不同刈割茬次与制粒对紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 草颗粒的营养品质、维生素含量与大肠杆菌数量间差异, 本研究以内蒙古自治区农牧业科学院试验基地紫花苜蓿为研究材料, 选择3个刈割茬次(第1茬、第2茬、第3茬)紫花苜蓿现蕾期刈割, 制作草颗粒, 取样测定其维生素含量、化学成分及大肠杆菌数量。结果表明: 刈割茬次对紫花苜蓿维生素 B₂、B₃、B₅、B₆ 和 Vc 含量影响显著 ($P < 0.05$), 其中, 第2茬紫花苜蓿维生素 B₂、B₃、B₅ 含量显著高于第1茬和第3茬 ($P < 0.05$), 第1茬和第2茬维生素 B₆、Vc 显著高于第3茬 ($P < 0.05$)。刈割茬次对紫花苜蓿干物质 (dry matter, DM)、有机质 (organic matter, OM)、粗蛋白 (crude protein, CP)、中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 含量影响显著, 第2茬紫花苜蓿品质优于第1茬和第3茬。制粒对紫花苜蓿维生素 B₃、B₅ 含量无显著影响 ($P > 0.05$), 而制粒显著降低了维生素 B₂、B₆、Vc、VK₁ 含量 ($P < 0.05$)。两个因素的互作效应对紫花苜蓿 B₁、B₆、OM、DM 含量影响显著 ($P < 0.05$)。大肠杆菌数量由低到高的顺序为第1茬 < 第3茬 < 第2茬, 制粒显著抑制了大肠杆菌的活性 ($P < 0.05$)。第1茬紫花苜蓿草颗粒大肠杆菌数量最低。

关键词: 草颗粒; 干草粉; 营养成分; 大肠杆菌; 维生素 C

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)01-0099-11

Effects of cutting number and pelletizing on vitamin content and chemical composition of alfalfa

SUN Lin^{1,2}, XUE Yanlin², ZHANG Fujin², WU Xiaoguang³, XIAO Yanzi⁴,
ZHANG Xinxin², LIU Guanghua², LIU Sibao²

(1. College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China;

2. Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, Inner Mongolia, China;

3. Inner Mongolia Autonomous Region Land Surveying and Planning Institute, Hohhot 010055, Inner Mongolia, China;

4. College of Agriculture and Forestry, Hulunbeier University, Hulunbeier 021000, Inner Mongolia, China)

Abstract: The aim of study was to investigate the effects of cutting number and pelletizing on vitamin content, chemical composition and *Escherichia coli* population of alfalfa planted in the test field of Inner Mongolia Academy of Agricultural &

收稿日期: 2020-08-31 接受日期: 2020-10-29

基金项目: 国家牧草产业技术体系 (CARS-34); 国家重点研发计划项目 (2017YFD0502103、2016YFC0500604); 内蒙古自治区农牧业科学院青年创新基金项目 (2018QNJJM03、2018QNJJM05)

第一作者: 孙林 (1988-), 女, 内蒙古清水河人, 副研究员, 博士, 主要从事牧草生产与利用研究。E-mail: sunlin2013@126.com

通信作者: 张福金 (1976-), 男, 内蒙古突泉人, 副研究员, 博士, 主要从事草产品品质安全及营养品质评价研究。E-mail: dizhangl@163.com

Animal Husbandry Sciences. Three cuttings (first, second and third) were harvested at bud stage to make pellets. Then, samples were taken from the pellets to determine the vitamin content, chemical composition and *E. coli* population. The results showed that cutting number had significant influence on the amount of VB₂, VB₃, VB₅, VB₆ and Vc in alfalfa; the amount of VB₂, VB₃, VB₅ in the second cutting alfalfa was significantly higher than in the first and the third cuttings ($P < 0.05$), while the B₆ and Vc content was significantly higher in the first and second cuttings than in the third ($P < 0.05$). The cutting number had significant influence on the content of dry matter, organic matter, crude protein, neutral detergent fiber, and acid detergent fiber of alfalfa. Overall, the quality of the second cutting was better than the first and third cuttings ($P < 0.05$). The amounts of B₃ and B₅ in alfalfa were not significantly affected by pelletizing ($P > 0.05$), but the amounts of B₂, B₆, Vc and VK₁ were significantly reduced ($P < 0.05$). The interaction effect of cutting and pelletizing had significant influence on the content of B₁, B₆, organic matter, and dry matter in alfalfa ($P < 0.05$). The population of *Escherichia coli* was lowest in the first cutting and highest in the third cutting; pelletizing significantly inhibited the activity of *E. coli* ($P < 0.05$).

Keywords: grass pellet; grass powder; nutrition composition; *Escherichia coli*; Vc

Corresponding author: ZHANG Fujin Email: dizhangl@163.com

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 作为世界上栽培面积最大的牧草之一, 因其高产量、消化率和适口性, 各种营养成分齐全, 尤其是粗蛋白质、维生素含量丰富, 是我国北方主要豆科当家草种, 也是反刍动物良好的蛋白质和天然维生素来源^[1], 在改善生态环境、解决优质饲草短缺等方面起着重要作用^[2]。在生长、加工过程中苜蓿品质除易受气候土壤条件、品种、浇水和施肥等环境因素影响外, 刈割对其影响尤为显著^[3]。有研究表明, 苜蓿干物质 (dry matter, DM) 产量和营养价值指标受刈割茬次影响显著^[4]。田雨佳^[5] 研究结果表明, 在年刈割苜蓿 3 茬的地区, 第 3 茬苜蓿的中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 和酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 含量较低, 粗蛋白质 (crude protein, CP) 含量较高, 营养价值最高; 第 2 茬则相反, 第 1 茬居中。赵海明等^[6] 研究表明, 海河平原区种植的紫花苜蓿粗蛋白质含量第 2、3 茬显著高于第 1、4 茬。第 2、3 茬苜蓿生长时间较短, 植株中叶片含量较高, 枝条和叶片较为幼嫩, 使得其具有较高的粗蛋白含量。陈水红等^[7] 对 22 个紫花苜蓿品种的研究结果与之相似, 随着刈割茬次的增加, 粗蛋白质含量表现出先升高后降低的趋势。万素梅等^[8] 研究表明, 第 1 茬、第 2 茬紫花苜蓿的粗蛋白质、灰分含量明显高于第 3 茬, 而纤维的含量则相反。Guo 等^[9] 研究表明, 从营养品质、发酵品质和体外模拟瘤胃发酵参数指标来看, 紫花苜蓿在同一个生育期收获调制

青贮饲料, 第 1 茬苜蓿青贮优于第 2 茬苜蓿。尉志霞等^[10] 研究表明, 相比于日间刈割时间, 刈割茬次对苜蓿青贮品质的影响更大。这些研究主要集中于不用刈割茬次对苜蓿干草和青贮品质影响方面, 不同研究者针对不同地区种植的不同品种苜蓿的化学成分研究结果差异较大。因此, 了解其不同茬次化学成分变化对于获得优质苜蓿草产品至关重要。

制粒是将粉状原料 (牧草等) 经挤压作用而成型的粒状饲料过程。有研究表明, 牧草制粒后不仅保持了新鲜牧草的营养成分, 同时兼具有消化率高、适口性好、耐贮存等优点, 能很好地避免干草贮藏运输过程中带来的弊端^[11]。同时, 牧草经制粒时, 因温度、水分和压力等综合作用, 可以改善其中淀粉、蛋白质等成分分布情况, 增强牧草中酶的活性, 有效降低牧草中寄生虫卵和有害病原微生物的活性, 牧草的消化率可提高 10%~12%^[12-13], 从而提高牧草的利用率。紫花苜蓿中富含多种维生素^[14]。维生素是机体内少量需要的有机化合物, 对代谢功能至关重要^[15]。它们参与维持动物健康所需的许多代谢反应, 有充当免疫刺激剂的作用。有研究表明, 在动物的日粮中添加维生素 B₃、B₅ 和 Vc 均可以取得良好的饲喂效果^[16-20]。然而, 由于维生素微量和易破坏的结构特点, 多数维生素不能稳定存在, 遇到光、热、酸、碱时容易发生降解, 制粒工艺中压力、温度和水分等外界因素可造成牧草 20%~75% 的维生素损失, 具体损失程度取决于不同牧草对加工条件的

敏感度^[21]。纵观国内外相关文献, 针对刈割茬次与制粒对苜蓿草颗粒维生素含量的研究资料鲜有报道。因此, 本研究拟分析 3 个茬次收获的紫花苜蓿草粉和草颗粒所含维生素和化学成分的变化规律, 以进一步研究具有稳定保存草颗粒维生素作用的添加剂, 减少畜禽外源维生素的添加, 从而节约生产成本, 为畜禽生产添砖加瓦; 同时筛选出紫花苜蓿品质最佳的收获茬次, 以期获得优质的苜蓿草颗粒。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年 4 月 1 日 - 2018 年 12 月 31 日, 在内蒙古自治区农牧业科学院试验基地进行。该基地位于内蒙古自治区呼和浩特市清水河县, 111°43'33" E, 39°45'15" N, 属于典型的半干旱大陆性气候。年均温 7.4 °C。年均降水量 410 mm, 年均日照时数 2 900 h, 无霜期 136 d。

1.2 试验设计与材料

试验采用刈割茬次、制粒 3 × 2 [茬次 (C) × 制粒 (Pel)] 裂区试验设计。试验以种植第 3 年的准格尔苜蓿为试验材料, 刈割茬次为第 1 茬、第 2 茬和第 3 茬, 收获时间为现蕾期, 留茬高度为 5~6 cm。刈割后采取自然干燥方式调制干草。适时监测紫花苜蓿水分含量动态变化, 当含水量降至 12%~14% 时, 用电动粉碎机 (FW80 型, 常州市国旺仪器制造有限公司) 加工成长度为 5 mm 苜蓿干草粉。此时取样待测草粉营养品质、维生素含量、大肠杆菌数量。然后, 调节紫花苜蓿草粉含水量为 22%~24%, 将其混匀, 直接经 SKJ 250 型颗粒机 (曲阜市启航机械有限公司生产, 颗粒直径 6 mm) 制粒, 冷却后取样, 待测草颗粒的化学成分、维生素含量、大肠杆菌数量。每个处理设置 3 个重复。

1.3 试验方法

1.3.1 维生素含量的测定方法

100 g 样品用真空冷冻干燥机 (Free Zone 4.5 L, 美国密苏里州堪萨斯城 LABCONCO 公司) 冷冻干燥 2 d, 冷冻干燥的样品粉碎后过 1.0 mm 的筛, 每份样品设置两个平行, 采用高效液相色谱法测定维生素含量。维生素 K₁ (VK₁)、维生素 C (Vc)、维生素 B₁ (VB₁)、维生素 B₂ (VB₂)、维生素 B₃ (VB₃)、维生素 B₅

(VB₅) 和维生素 B₆ (VB₆) 含量分别参照 GB 5009.158-2016^[22]、GB 7303-2018^[23]、GB/T 14700-2018^[24]、GB/T 14701-2019^[25]、GB/T 17813-2018^[26]、GB/T 18397-2014^[27] 和 GB/T 14702-2018^[28] 方法测定。

1.3.2 营养品质指标的测定方法

试验样品于 65 °C 鼓风干燥箱烘干, 用微型植物粉碎机进行粉碎后过 1 mm 筛, 保存于密封袋中备用。将粉碎样品置于 105 °C 烘箱中烘 3 h, 测定干物质 (dry matter, DM) 含量; 粗灰分 (crude ash, Ash) 采用电炉碳化后, 经马弗炉 550 °C 灼烧 3 h 后测定; 有机物质计算公式: 有机质 (organic matter, OM) = 干物质 - 粗灰分; 粗蛋白 (crude protein, CP) 采用半微量凯氏定氮法测定; 粗脂肪 (ether extract, EE) 采用索氏抽提法测定; 酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF)、中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 采用 Van Soets 法测定。以上指标均参照张丽英^[29] 的方法测定。

1.3.3 大肠杆菌数量的测定方法

取各处理样品 10 g, 装入盛有 0.85% 灭菌生理盐水 90 mL 的三角瓶内, 置于匀质机上拍打 2 min, 采用伊红美兰培养基^[30], 分别接种 10⁻¹、10⁻²、10⁻³ 3 个稀释梯度的悬浮液, 将接种好的培养皿置于 30 °C 恒温培养箱, 培养 24 h 后选取边缘整齐、圆形、表面有光泽呈灰白色的菌落进行大肠杆菌计数。

1.4 统计分析

运用 Excel 2007 进行初步处理。采用 SAS 9.0 软件进行数据分析, 利用 Duncan 多重检验比较均值的差异显著性。因子数学模型:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

式中: Y_{ijk} 为观察值, μ 为均值, α_i 为茬次的影响 (i = 第 1 茬、第 2 茬、第 3 茬), β_j 为制粒的影响 (j = 草粉、草颗粒); $\alpha\beta_{ij}$ 为茬次 (C) 和制粒 (Pel) 交互效应, 即茬次 (C) × 制粒 (Pel), ε_{ijk} 为误差。

2 结果与分析

2.1 刈割茬次与制粒对紫花苜蓿维生素含量的影响

刈割茬次对紫花苜蓿 VK₁ 含量无显著影响 ($P = 0.6158$) (表 1)。制粒显著影响紫花苜蓿 VK₁ 含量 ($P < 0.0001$)。草颗粒的 VK₁ 含量显著低于草粉。刈割茬

表 1 茬次与制粒对紫花苜蓿维生素 K₁ 和维生素 C 含量的影响
Table 1 Effect of cutting number and pelletizing on VK₁ and Vc content of alfalfa

处理 Treatment	项目 Item	VK ₁ /(mg·kg ⁻¹)	Vc/(mg·kg ⁻¹)
第1茬 First cutting	干草粉 Powder	5.56 ± 0.34*	15.86 ± 0.90
	草颗粒 Pellet	4.49 ± 0.03	13.78 ± 1.30
第2茬 Second cutting	干草粉 Powder	5.65 ± 0.09*	15.82 ± 1.02*
	草颗粒 Pellet	4.35 ± 0.10	13.64 ± 0.76
第3茬 Third cutting	干草粉 Powder	5.73 ± 0.25	11.28 ± 2.00
	草颗粒 Pellet	4.54 ± 0.42	10.56 ± 0.94
茬次 Cutting number (C)	第1茬 First cutting	5.03a	14.82a
	第2茬 Second cutting	5.00a	14.73a
	第3茬 Third cutting	5.14a	10.92b
制粒 Pelletizing (Pel)	干草粉 Powder	5.65a	14.32a
	草颗粒 Pellet	4.46b	12.66b
方差分析 Variance analysis (P)	C	0.615 8	0.000 2
	Pel	< 0.000 1	0.013 8
	C × Pel	0.714 1	0.531 4

同列不同小写字母表示不同茬次处理间或制粒处理间差异显著(P < 0.05), 同列中*表示同一茬次干草粉和草颗粒间差异显著(P < 0.05); 下同。

Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between cutting times or pelletizing treatments at the 0.05 level; * within the same column indicate significant difference between power and pellet under the same cutting times at the 0.05 level; this is applicable for the following tables as well.

次和制粒的互作效应对紫花苜蓿 VK₁ 含量无显著影响 (P = 0.7141)。

刈割茬次 (P = 0.0002) 和制粒 (P = 0.0138) 对紫花苜蓿 Vc 含量影响显著。第 1 茬和第 2 茬紫花苜蓿 Vc 含量显著高于第 3 茬, 而草粉的 Vc 含量 (14.32 mg·kg⁻¹) 显著高于草颗粒 (12.66 mg·kg⁻¹), 高出 13.11%。刈割茬次和制粒的互作效应对紫花苜蓿 Vc 含量无显著影响 (P = 0.5314)。

刈割茬次 (P < 0.0001)、制粒 (P < 0.0001) 和两因素互作效应 (P = 0.0076) 对紫花苜蓿 VB₁ 含量影响显著 (表 2)。第 1 茬紫花苜蓿 VB₁ 含量为 4.04 mg·kg⁻¹, 显著高于第 2 茬 (3.63 mg·kg⁻¹) 和第 3 茬 (1.51 mg·kg⁻¹), 分别高出 11.29% 和 167.55%。草颗粒的 VB₁ 含量为 3.63 mg·kg⁻¹, 显著高于草粉 (2.49 mg·kg⁻¹), 高出 45.78%。刈割茬次 (P < 0.0001)、制粒 (P = 0.0273) 对紫花苜蓿 VB₂ 含量影响显著, 第 2 茬紫花苜蓿 VB₂ 含量为 21.86 mg·kg⁻¹, 显著高于第 1 茬 (16.50 mg·kg⁻¹) 和第 3 茬 (12.33 mg·kg⁻¹), 分别高出 32.48% 和 77.29%。草粉的 VB₂ 含量为 18.08 mg·kg⁻¹, 显著高于草颗粒 (15.72 mg·kg⁻¹), 高出 15.01%。两因素互作效应 (P = 0.3020) 对紫花苜蓿 VB₂ 含量无显著影响。刈割茬次对紫花苜蓿 VB₃ 含量影响显著 (P < 0.0001)。第 2 茬紫花苜蓿 VB₃ 含量为 1.96 mg·kg⁻¹, 显著高于第 1 茬 (1.62 mg·kg⁻¹) 和第 3 茬 (0.33 mg·kg⁻¹), 分别高出 20.99% 和 493.94%。制粒 (P = 0.0973) 和两因素

表 2 茬次与制粒对紫花苜蓿 B 族维生素含量的影响
Table 2 Effect of cutting number and pelletizing on B group vitamin content of alfalfa

处理 Treatment	项目 Item	VB ₁ /(mg·kg ⁻¹)	VB ₂ /(mg·kg ⁻¹)	VB ₃ /(mg·kg ⁻¹)	VB ₅ /(mg·kg ⁻¹)	VB ₆ /(mg·kg ⁻¹)
第1茬 First cutting	干草粉 Powder	3.36 ± 0.08	16.62 ± 0.45	1.52 ± 0.24	5.49 ± 0.56	0.86 ± 0.05
	草颗粒 Pellet	4.71 ± 0.05*	16.39 ± 0.45	1.72 ± 0.15	5.67 ± 0.07	0.91 ± 0.03
第2茬 Second cutting	干草粉 Powder	2.87 ± 0.14	23.73 ± 1.17	1.82 ± 0.20	8.35 ± 0.40	1.16 ± 0.11*
	草颗粒 Pellet	4.39 ± 0.33*	19.99 ± 2.09	2.10 ± 0.28	7.04 ± 0.74	0.69 ± 0.02
第3茬 Third cutting	干草粉 Powder	1.24 ± 0.21	13.89 ± 3.65	0.28 ± 0.22	7.20 ± 0.75	0.80 ± 0.11
	草颗粒 Pellet	1.78 ± 0.38	10.78 ± 2.10	0.39 ± 0.27	6.46 ± 1.03	0.48 ± 0.18
茬次 Cutting number (C)	第1茬 First cutting	4.04a	16.50b	1.62b	5.58c	0.88a
	第2茬 Second cutting	3.63b	21.86a	1.96a	7.69a	0.92a
	第3茬 Third cutting	1.51c	12.33c	0.33c	6.83b	0.64b
制粒 Pelletizing (Pel)	草粉 Powder	2.49b	18.08a	1.20a	7.01a	0.94a
	草颗粒 Pellet	3.63a	15.72b	1.40a	6.39a	0.69b
方差分析 Variance analysis (P)	C	< 0.000 1	< 0.000 1	< 0.000 1	0.000 5	0.000 7
	Pel	< 0.000 1	0.027 3	0.097 3	0.070 9	0.000 2
	C × Pel	0.007 6	0.302 0	0.813 1	0.187 5	0.002 0

交互效应 ($P = 0.8131$) 对紫花苜蓿 VB_3 含量无显著影响。刈割茬次对紫花苜蓿 VB_5 含量影响显著 ($P = 0.0005$)。第 2 茬紫花苜蓿 VB_5 含量为 $7.69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 显著高于第 1 茬 ($5.58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和第 3 茬 ($6.83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 分别高出 37.81% 和 12.59%。制粒 ($P = 0.0790$) 和两因素交互效应 ($P = 0.1875$) 对紫花苜蓿 VB_5 含量无显著影响。刈割茬次 ($P = 0.0007$)、制粒 ($P = 0.0002$) 和两因素交互效应 ($P = 0.0020$) 对紫花苜蓿 VB_6 含量影响显著。第 3 茬紫花苜蓿 VB_6 含量为 $0.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 显著低于第 1 茬 ($0.88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和第 2 茬 ($0.92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 分别低 27.27% 和 30.43%。草粉的 VB_6 含量为 $0.94 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 显著高于草粉 ($0.69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 高出 36.23%。

2.2 刈割茬次与制粒对紫花苜蓿营养品质影响

茬次对紫花苜蓿 DM 含量影响显著 ($P = 0.0182$), 第 2 茬和第 3 茬紫花苜蓿的 DM 含量显著高于第 1 茬 (表 3)。制粒显著降低了紫花苜蓿 DM 含量 ($P < 0.0001$); 两因素的交互效应 ($P = 0.0261$) 对紫花苜蓿 DM 含量有显著影响。刈割茬次 ($P = 0.0005$)、

制粒 ($P = 0.0006$) 和两因素交互效应对紫花苜蓿 OM 含量影响显著 ($P = 0.0004$)。第 1 茬紫花苜蓿的 OM 含量为 92.35%, 显著高于第 2 茬和第 3 茬; 草颗粒的 OM 含量为 91.75%, 显著高于草粉 (89.98%)。刈割茬次对紫花苜蓿 CP 含量影响显著 ($P < 0.0001$), 第 2 茬紫花苜蓿 CP 含量为 17.40%, 显著高于第 1 茬和第 3 茬; 制粒 ($P = 0.2385$) 和两因素交互效应 ($P = 0.1322$) 对紫花苜蓿 CP 含量无显著影响。刈割茬次对紫花苜蓿 NDF 含量影响显著 ($P < 0.0141$), 第 2 茬紫花苜蓿 NDF 含量为 39.55%, 显著低于第 1 茬, 但和第 3 茬无显著差异; 制粒 ($P = 0.0625$) 和两因素交互效应 ($P = 0.0695$) 对紫花苜蓿 NDF 含量无显著影响。刈割茬次 ($P < 0.0001$) 和制粒 ($P = 0.0004$) 对紫花苜蓿 ADF 含量影响显著, 第 2 茬紫花苜蓿 ADF 含量为 29.73%, 显著低于第 1 茬和第 3 茬; 草颗粒的 ADF 含量为 30.56%, 显著低于草粉。两因素交互效应 ($P = 0.8370$) 对紫花苜蓿 ADF 含量无显著影响。刈割茬次、制粒、和两因素的交互效应对紫花苜蓿 EE 含量无显著影响。

表 3 茬次与制粒对紫花苜蓿营养品质的影响

Table 3 Effect of cutting number and pelletizing on the nutritional content of alfalfa

处理 Treatment	项目 Item	干物质 DM/%	有机质 OM/%	粗蛋白质 CP/%	中性洗涤纤维 NDF/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	粗脂肪 EE/%
第1茬 First cutting	干草粉 Powder	92.14 ± 0.27*	92.51 ± 0.90	15.21 ± 0.18	41.52 ± 1.61	33.52 ± 0.16*	2.66 ± 0.27
	草颗粒 Pellet	79.42 ± 4.00	92.18 ± 0.89	14.95 ± 0.08	42.09 ± 1.05	32.16 ± 0.08	2.51 ± 0.40
第2茬 Second cutting	干草粉 Powder	91.64 ± 0.05*	87.55 ± 1.55	17.56 ± 0.28	40.93 ± 1.20*	30.27 ± 0.38*	2.86 ± 0.15
	草颗粒 Pellet	85.33 ± 0.75	92.30 ± 0.13*	17.25 ± 0.16	38.18 ± 1.07	29.19 ± 0.51	2.79 ± 0.53
第3茬 Third cutting	干草粉 Powder	94.02 ± 1.24*	89.88 ± 0.15	16.58 ± 0.38	41.35 ± 0.27	31.36 ± 0.27	2.32 ± 0.36
	草颗粒 Pellet	83.92 ± 0.67	90.77 ± 0.04*	16.77 ± 0.04	40.31 ± 1.01	30.32 ± 1.01	2.90 ± 0.21
茬次 Cutting number (C)	第1茬 First cutting	85.78b	92.35a	15.08c	41.80a	32.84a	2.59a
	第2茬 Second cutting	88.48a	89.93b	17.40a	39.55b	29.73c	2.83a
	第3茬 Third cutting	88.97a	90.33b	16.68b	40.83ab	30.84b	2.61a
制粒 Pelletizing (Pel)	草粉 Powder	92.60a	89.98b	16.45a	41.26a	31.72a	2.62a
	草颗粒 Pellet	82.89b	91.75a	16.32a	40.19a	30.56b	2.74a
方差分析 Variance analysis (P)	C	0.0182	0.0005	< 0.0001	0.0141	< 0.0001	0.4346
	Pel	< 0.0001	0.0006	0.2385	0.0625	0.0004	0.4673
	C × Pel	0.0261	0.0004	0.1322	0.0695	0.8370	0.1748

DM: dry matter; OM: organic matter; CP: crude protein; NDF: neutral detergent fiber; ADF: acid detergent fiber; EE: ether extract.

2.3 刈割茬次与制粒对紫花苜蓿大肠杆菌数量影响

刈割茬次 ($P < 0.0001$)、制粒 ($P < 0.0001$) 和两因素互作效应 ($P = 0.0010$) 对紫花苜蓿大肠杆菌数量影响显著, 第 1 茬紫花苜蓿大肠杆菌数量显著低于第 2 茬和第 3 茬, 而第 2 茬紫花苜蓿大肠杆菌数量显著高于其他茬次 (表 4)。草颗粒附着的大肠杆菌数量显著低于草粉。第 1 茬次紫花苜蓿草颗粒大肠杆菌数量最低为 $2.86 \text{ lg cfu} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

表 4 茬次与制粒对紫花苜蓿大肠杆菌数量的影响
Table 4 Effect of cutting number and pelletizing on *Escherichia coli* population of alfalfa samples

处理 Treatment	项目 Item	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i> ($\text{lg cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)
第1茬 First cutting	干草粉 Powder	$5.61 \pm 0.27^*$
	草颗粒 Pellet	2.86 ± 0.28
第2茬 Second cutting	干草粉 Powder	$6.90 \pm 0.22^*$
	草颗粒 Pellet	5.07 ± 0.29
第3茬 Third cutting	干草粉 Powder	$6.27 \pm 0.15^*$
	草颗粒 Pellet	4.90 ± 0.17
茬次 Cutting number (C)	第1茬 First cutting	4.23c
	第2茬 Second cutting	5.98a
	第3茬 Third cutting	5.59b
制粒 Pelletizing (Pel)	草粉 Powder	6.26a
	草颗粒 Pellet	4.28b
方差分析 Variance analysis (P)	C	< 0.0001
	Pel	< 0.0001
	C × Pel	0.0010

3 讨论

3.1 刈割茬次与制粒对紫花苜蓿维生素含量的影响

维生素的主要作用是作为酶的辅酶参与机体功能、调节机体代谢。紫花苜蓿制粒工艺的粉碎、混合、制粒、冷却等环节产生的温度、摩擦、压力等都会影响维生素的稳定性。VK 包括叶醌 (VK₁)、甲喹酮 (VK₂) 和甲萘醌 (VK₃) 等形式。VK 化合物都具有 2-甲基-1,4-萘醌的生物活性^[31]。本研究中刈割茬次对 VK₁ 含量无显著影响, 但制粒后, 苜蓿 VK₁ 含量显著降低, 说明 VK₁ 受制粒工艺的影响显著。

Vc 的化学性质极不稳定, 遇碱或遇碱加热、遇光都能促进其氧化分解, 失去生物活性^[32]。Vc 作为植物营养成分的重要指标, 易受气候、采收时期、加工方式、贮藏方式、时间等因素的影响^[33-36]。有研究报告, 蒸汽制粒可使日粮维生素 C 损失 20%~30%, 挤压处理则有 55%~70% 被破坏^[37]。严芳芳^[38] 研究发现制粒工艺中膨化浮性饲料中维生素 C 晶体损失率达 71%。沈祥^[39] 研究表明, 饲料加工工艺中, 制粒后 Vc 纯品添加剂的保留率明显降低。本研究中第 1 茬和第 2 茬紫花苜蓿 Vc 含量无显著差异, 但显著高于第 3 茬。紫花苜蓿草颗粒 Vc 含量 ($12.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 显著低于草粉 ($14.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 损失率达 11.59%。因此, 制粒工艺显著降低了紫花苜蓿 VC 含量。B 族维生素作为一类低分子有机化合物(辅酶)。除了湿度和氧化还原反应单一条件能破坏维生素稳定性外, 其他单一条件必须与其他因素结合才可能破坏维生素的稳定性^[40]。Lewis 等^[41] 和 Lešková 等^[42] 研究发现温度低于 88 °C 时, 制粒过程对 B 族维生素含量无显著影响, 进一步说明 B 族维生素相对稳定, 不易分解。Gadient 和 Fenster^[43] 研究报告, 无论在高温、室温还是低温环境下 VB₂ 稳定性都很好。高温 35 °C 时, VB₁ 和 VB₆ 的损失率略高, 而 VB₅(泛酸) 损失率明显升高。Zhuge 等^[44] 研究表明, 随着温度的增高, VB₂ 的损失程度明显比 VB₃ 的损失程度大。VB₆ 在光照和碱性条件下不稳定, 而 VB₃(烟酰胺) 基本是稳定的, 没有单一的条件能破坏它^[45]。Hunt 和 Bethke^[46] 研究表明苜蓿刈割后, 在强光照射 48 h 后, 维生素 B₂ 含量减少了约 25%。有研究表明制粒过程饲料维生素 B₁ 损失 10%~20%, VB₂ 损失约为 15%^[47]。综上所述, 不同的研究得到的结果不同, 可能是由于研究材料不同所致。本研究中, 刈割茬次对 B 族维生素含量影响显著。第 2 茬紫花苜蓿 VB₂、VB₃、VB₅ 显著高于第 1 和 3 茬, 第 1 茬和第 2 茬的 VB₆、Vc 含量无显著差异, 但显著高于第 3 茬, 第 1 茬的 VB₁ 含量显著高于第 2 和 3 茬。制粒对紫花苜蓿 B₃、B₅ 无显著影响, 进一步说明 VB₃ 对高温的稳定性。制粒工艺显著降低了 VB₂、VB₆ 含量, 说明 VB₂、VB₆ 遇高温分解。而制粒后显著提高了 VB₁ 含量, 该结果有待进一步研究。

3.2 刈割茬次与制粒对紫花苜蓿大肠杆菌数量和化学成分的影响

刈割是紫花苜蓿的主要利用方式, 刈割茬次影

响紫花苜蓿营养价值。营养物质含量是衡量牧草品质优劣的基本指标, 其中较为重要的是 CP 含量和纤维物质。CP 含量的多少是饲料饲用价值的主要反映。研究表明, 不同的刈割茬次对苜蓿的 CP 含量也有很重要的影响, 刈割次数的增加会降低植株的再生能力同时降低饲草营养品质^[48]。ADF 和 NDF 的含量关系到动物对所食牧草的采食与消化情况, ADF 和 NDF 含量越低牧草营养价值越高。李菲菲^[3]研究表明, 刈割茬次对紫花苜蓿 DM、ADF、NDF、CP、Ash 含量影响显著, 但对 EE 含量影响不显著, 茬次对苜蓿干草 DM 含量有极显著影响, 茬次的递增会增加 DM 的积累, 第 3 茬 DM 含量总体显著高于第 1 茬和第 2 茬。本研究中, 除刈割茬次除对 EE 无显著影响外, 对其他营养成分指标影响显著, 该结果与李菲菲^[3]研究结果一致。本研究中, 第 2 茬紫花苜蓿 CP 含量高于第 1 茬和第 3 茬, 这是由于紫花苜蓿的蛋白主要集聚于叶中, 第 2 茬紫花苜蓿生长正处于雨热同期, 生长旺盛, 叶片数量多, 保持幼嫩, 且损失少, 进而增加 CP 含量, 降低了 NDF、ADF 含量。第 2 和 3 茬 DM 含量高于第 1 茬, 这是由于第 1 茬紫花苜蓿返青后灌水量大, 水分充足, 植株水分含量高, DM 含量较低, 第 2 茬和第 3 茬紫花苜蓿试验地未进行灌溉, 生长期间温度升高、气候干燥且降雨量偏低, 导致 DM 积累较多。第 1 茬紫花苜蓿 OM 含量高于第 2 和 3 茬, 可能是由于第 2 茬和第 3 茬紫花苜蓿生长过程的外界环境有助于粗灰分的富集。Sanderson 和 Wedin^[49]报道无论是气温较低的环境下还是气温较高的环境, 紫花苜蓿中 NDF 含量在第 1 茬刈割前期积累最多。本研究中第 1 茬紫花苜蓿 NDF 含量平均为 41.80%, 高于第 2 茬和第 3 茬。该结果与上述结果一致。杜书增等^[50]为评价刈割茬次对紫花苜蓿产量及营养价值的影响, 在陕西省旬邑县种植了 3 个品种紫花苜蓿, 结果表明: 第 1 茬的营养价值优于第 2 茬和第 3 茬。宋书红等^[51]

研究表明, 不同刈割茬次紫花苜蓿营养品质的高低顺序为第 1 茬 > 第 2 茬 > 第 3 茬。本研究表明, 第 2 茬紫花苜蓿品质优于第 1 茬和第 3 茬, 第 3 茬刈割的紫花苜蓿干草品质较低, 这是由于潮湿的天气推迟了收获时间, 该结果与上述结果不一致, 可能是由于不同品种、气候、施肥、刈割时间、收获期、管理等客观因素造成的, 有待于进一步研究。

孙林^[52]研究报道针茅草原牧草经加工成草颗粒后, 针茅 (*Stipa*) 草颗粒干物质、粗蛋白质与针茅干草草粉无显著差异。本研究中, 制粒对 CP、NDF、EE 无显著影响, 但草粉的 DM 含量高于草颗粒, 这主要是由于制粒时为了达到适宜的含水量添加了一定比例的水所致。草颗粒的 OM 含量显著高于草粉, 这可能是由于制粒时使部分矿物质元素受损而降低; 而 ADF 含量显著低于草粉, 主要是由于制粒使紫花苜蓿纤维素结构形式改变^[47]。

朝鲁孟其其格等^[53]报道草颗粒形成过程经蒸汽高温能杀灭寄生虫卵和其他病原微生物。调制过程中的高温、高湿和压力的处理可使饲料中有害微生物失活。Ekperigin 等^[54]报道经制粒处理, 大肠杆菌、非乳酸发酵菌全部灭活, 好氧生物和真菌分别灭活 99.7% 和 93.6%。本研究中, 紫花苜蓿制粒后大肠杆菌数量显著降低, 进一步验证了制粒工艺是影响大肠杆菌数量的主要因子; 3 个茬次紫花苜蓿大肠杆菌由低到高的顺序为第 1 茬 < 第 3 茬 < 第 2 茬。茬次与制粒两因素的互作效应显著, 第 1 茬草颗粒大肠杆菌数量最低。

4 结论

综合分析, 第 1 茬和第 2 茬紫花苜蓿具有较高维生素含量, 且第 2 茬紫花苜蓿营养品质优于第 1 茬和第 3 茬。制粒显著降低了紫花苜蓿 VB₂、VB₆、Vc、VK₁ 含量, 且抑制了其表面附着大肠杆菌的活性。

参考文献 References:

- [1] BLAYLOCK L G, RICHARDSON L R, PEARSON P B. The riboflavin, pantothenic acid, niacin and folic acid content of fresh, dehydrated and field-cured alfalfa. *Poultry Science*, 1950(5): 692-695.
- [2] 李德明, 张少平, 耿小丽, 张榕, 刘乾. 12 个紫花苜蓿品种在半干旱地区的生产性能及营养价值. *草业科学*, 2018, 35(6): 1472-1479.

- LI D M, ZHANG X P, GENG X L, ZHANG R, LIU Q. Production performance and nutritional value of 12 alfalfa cultivars in a semi-arid zone. *Pratacultural Science*, 2018, 35(6): 1472-1479.
- [3] 李菲菲. 不同茬次、刈割期对苜蓿干草/青贮 CNCPS 蛋白组分和品质的影响. 石河子: 石河子大学硕士学位论文, 2019.
LI F F. Study on CNCPS protein composition and feeding value of hay and silage in different haze/probiotic period. Master Thesis. Shihezi: Shihezi University, 2019.
- [4] 何香玉, 马艳艳, 成艳芬, 朱伟云. 体外发酵法评定不同茬次和生长年限苜蓿的营养价值. *动物营养学报*, 2015, 27(3): 978-988.
HE X Y, MA Y Y, CHENG Y F, ZHU W Y. Different stubbles and growing years of alfalfa: Evaluation of nutritive value by an in vitro fermentation method. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(3): 978-988.
- [5] 田雨佳. 不同刈割茬次和物候期的苜蓿对奶牛营养价值的比较研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2011.
TIAN Y J. Comparative study on the nutritional value of different stubble and different phenonphase of alfalfa in dairy cows. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [6] 赵海明, 武瑞鑫, 李源, 游永亮, 刘贵波, 翟兰菊, 杨建忠. 紫花苜蓿不同茬次及年际间生产性能的动态规律. *草地学报*, 2016, 24(6): 1349-1357.
ZHAO H M, WU R X, LI Y, YOU Y L, LIU G B, ZHAI L J, YANG J Z. Dynamic analyzing on the production performance of alfalfa between different cutting times and years. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(6): 1349-1357.
- [7] 陈水红, 张剑云, 付春艳. 刈割次数对不同品种紫花苜蓿粗蛋白含量的影响. *浙江农业科学*, 2010(1): 169-171.
CHEN S H, ZHANG J Y, FU C Y. Effects of cutting times on crude protein content of different alfalfa cultivars. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2010(1): 169-171.
- [8] 万素梅, 胡守林, 张波, 黄庆辉, 王龙昌. 不同紫花苜蓿品种产草量及营养成分研究. *西北农业学报*, 2004, 13(1): 14-17.
WAN S M, HU S L, ZHANG B, HUANG Q H, WANG L C. The study on hay yield and nutrition of alfalfa cultivars. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2004, 13(1): 14-17.
- [9] GUO G, SHEN C, LIU Q, ZHANG S L, WANG C, CHEN L, XU Q F, WANG Y X, HUO W J. Fermentation quality and in vitro digestibility of first and second cut alfalfa (*Medicago sativa* L.) silages harvested at three stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology*, 2019, 257: 114-274.
- [10] 尉志霞, 刘强, 霍文婕, 张拴林, 王聪, 许庆方, 郭刚. 茬次和一天内不同收获时间对紫花苜蓿青贮发酵质量和体外发酵参数的影响. *草地学报*, 2019, 27(1): 235-242.
WEI Z X, LIU Q, HUO W J, ZHANG S L, WANG C, XU Q F, GUO G. The Effects of different clipping stubbles and harvest times in a day on fermentation quality and in vitro ruminal fermentation characteristics of alfalfa silage. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(1): 235-242.
- [11] 李占武. 复合草颗粒生产及饲喂奶牛试验. *草业科学*, 2011, 28(3): 464-466.
LI Z W. A study for composite straw particles production and milk cow feeding. *Pratacultural Science*, 2011, 28(3): 464-466.
- [12] 张明忠, 史亮涛, 金杰, 何光熊, 龙会英, 范建成, 邵庆勇. 云南干热河谷热带牧草在混合草颗粒饲料中的应用. *中国农学通报*, 2015, 31(8): 12-15.
ZHANG M Z, SHI L T, JIN J, HE G X, LONG H Y, FAN J C, SHAO Q Y. Application studies on mixed particle of introduced and native tropical grass in Yunnan dry-hot river valley. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(8): 12-15.
- [13] 杨红军, 时建忠, 顾宪红. 制粒和膨化对饲料营养成分的影响. *中国饲料*, 2006(17): 32-35.
YANG H J, SHI J Z, GU X H. Effects of granulation and puffing on nutrient composition of feed. *China Feed*, 2006(17): 32-35.
- [14] 冯光燕, 高洪文, 张新全, 孙果丽, 王学敏. 16 个紫花苜蓿品种维生素 E 含量测定与分析. *草业科学*, 2015, 32(9): 1444-1450.
FENG G Y, GAO H W, ZHANG X Q, SUN G L, WANG X M. Determination and analysis of vitamin E content in 16 alfalfa (*Medicago sativa*) varieties. *Pratacultural Science*, 2015, 32(9): 1444-1450.
- [15] ŚWIATKIEWICZ M, HANCZAKOWSKA E. The effect of vitamin E on the quality of meat of pigs fed maize grain silage. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2005, 14(1): 405-408.

- [16] LOHLTER M, MEYER U, RAULS C, REHAGE J, DNICKE S. Effects of niacin supplementation and dietary concentrate proportion on body temperature, ruminal pH and milk performance of primiparous dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*, 2013, 67(3): 202-218.
- [17] ASCHEMANN M, LEBZIEN P, HTHER L, DLL S, SDEKUM K, DNICKE S. Effect of niacin supplementation on rumen fermentation characteristics and nutrient flow at the duodenum in lactating dairy cows fed a diet with a negative rumen nitrogen balance. *Archives of Animal Nutrition*, 2012, 66(4): 303-318.
- [18] NIEHOFF I, HTHER L, LEBZIEN P, BIGALKE W, DNICKE S, FLACHOWSKY G. Investigations on the effect of a niacin supplementation to three diets differing in forage-to-concentrate ratio on several blood and milk variables of dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*, 2009, 63(3): 203-218.
- [19] LIU Q, WANG C, LI H Q. Effects of dietary protein levels and rumen-protected pantothenate on ruminal fermentation, microbial enzyme activity and bacteria population in *Blonde d'Aquitaine* × *Simmental* beef steers. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 232: 31-39.
- [20] FERREIRA G, BROWN A N, TEETS C L. Effect of biotin and pantothenic acid on performance and concentrations of avidin-binding substances in blood and milk of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(9): 6449-6454.
- [21] MARCHETTI, TOSSANI, MARCHETTI, BAUCE. Stability of crystalline and coated vitamins during manufacture and storage of fish feeds. *Aquaculture Nutrition*, 1999, 5(2): 115-120.
- [22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品中维生素 K₁ 的测定, GB 5009.158-2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Determination of Vitamin K₁ in Food, GB 5009.158-2016. Beijing: China Standards Press, 2016.
- [23] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料添加剂 L-抗坏血酸 (维生素 C), GB 7303-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Feed Additive-ascorbic Acid (vitamin C), GB 7303-2018. Beijing: China Standards Press, 2018.
- [24] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料中维生素 B₁ 的测定, GB/T 14700-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Determination of Thiamine in Feed, GB/T 14700-2018. Beijing: China Standards Press, 2018.
- [25] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料中维生素 B₂ 的测定, GB/T 14701-2019. 北京: 中国标准出版社, 2019.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Determination of Thiamine in Feeds, GB/T 14701-2019. Beijing: China Standards Press, 2019.
- [26] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 添加剂预混合饲料中烟酸与叶酸的测定 高效液相色谱法, GB/T 17813-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Determination of Nicotinic Acid and Folic Acid in Premix-High Performance Liquid Chromatography, GB/T 17813-2018. Beijing: China Standards Press, 2018.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 预混合饲料中泛酸的测定 高效液相色谱法, GB/T 18397-2014. 北京: 中国标准出版社, 2014.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. Determination of Pantothenic Acid in Premix-High Performance Liquid Chromatography, GB/T 18397-2014. Beijing: China Standards Press, 2014.
- [28] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 添加剂预混合饲料中维生素 B₆ 的测定 高效液相色谱法, GB/T 14702-2018. 北京: 中国标准出版社, 2018.

- State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. Determination of Vitamin B₆ in Premix-High Performance Liquid Chromatograph, GB/T 14702-2018. Beijing: China Standards Press, 2018.
- [29] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 第 3 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 49-74.
ZHANG L Y. Feed Analysis and Quality Examination Technology (3rd edition). Beijing: China Agricultural University Press, 2007, 49-74.
- [30] 杨云贵, 张越利, 杜欣, 刘桂要, 曹社会. 2 种玉米青贮饲料青贮过程中主要微生物的变化规律研究. 畜牧兽医学报, 2012, 43(3): 397-403.
YANG Y G, ZHANG Y L, DU X, LIU G Y, CAO S H. Study on the major microorganism changes during the silage processing of two kinds of corn silage. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2012, 43(3): 397-403.
- [31] CHENG L, ZHANG W B, LIN S Q, XU W, MAI K S. Effects of dietary vitamin K on growth performances, blood coagulation time and menaquinone-4 (MK-4) concentration in tissues of juvenile large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*. [Aquaculture Research](#), 2015, 46(5): 1269-1275.
- [32] 吕丽莉. 畜禽对维生素营养需要的分析. 现代畜牧科技, 2018(6): 51.
LYU L L. Analysis of the nutritional needs of livestock and poultry for vitamins. Modern Animal Husbandry Science and Technology, 2018(6): 51.
- [33] 魏永义, 曾维丽, 景利芳. 不同贮藏方式对白萝卜中维生素 C 含量的影响. 北方园艺, 2011(19): 142-143.
WEI Y Y, ZENG W L, JING L F. Influence of different storage methods on content of vitamin C in white radish. Northern Horticulture, 2011(19): 142-143.
- [34] 姚福荣, 任燕. 草莓不同采收时期维生素 C 含量的测定. 毕节学院学报, 2007, 25(4): 84-88.
YAO F R, REN Y. Measure the content of vitamin C in strawberry at different ripening stages. Journal of Bijie University, 2007, 25(4): 84-88.
- [35] 楚红英, 崔虹, 袁琦. 苦菜中维生素 C 含量的测定方法及含量变化规律. [生物质化学工程](#), 2012, 46(3): 9-12.
CHU H Y, CUI H, YUAN Q. Method for the determination of vitamin C and its content changes in *Sonchus oleraceus* L. [Biomass Chemical Engineering](#), 2012, 46(3): 9-12.
- [36] 张凤军, 张永成, 田丰. 不同生态环境马铃薯维生素 C 含量分析. [种子](#), 2006, 25(12): 24-27.
ZHANG F J, ZHANG Y C, TIAN F. Analysis for vitamin C content of potato in differ ecological environment. [Seed](#), 2006, 25(12): 24-27.
- [37] 王放银. 维生素 C 的稳定性. 湖南大学邵阳分校学报, 1990(2): 141.
WANG F Y. Stability of vitamin C. Journal of Hunan Shaoyang Branch School, 1990(2): 141.
- [38] 严芳芳. 不同加工工艺对鱼饲料维生素保留率的影响. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 2013.
YAN F F. Effect of different manufacturing processes on the retention efficiency of vitamins in fish feed. Master Thesis. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [39] 沈祥. 不同温湿度环境和低温制粒下 Vc 保留率变化规律的研究. 北京: 中国农业大学硕士学位论文, 2016.
SHEN X. Research on the rule of Vc retention rate under different temperature and humidity environment and low temperature granulating process. Master Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [40] 王小明. 益生菌和 B 族维生素影响饲料发酵参数的研究. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2016.
WANG X M. Study of fermentation parameters of feed with probiotic strains and B vitamins. Master Thesis. Taian: Shandong Agricultural University, 2016.
- [41] LEWIS L L, STARK C R, FAHRENHOLZ A C, BERGSTROM J R, JONES C K. Evaluation of conditioning time and temperature on gelatinized starch and vitamin retention in a pelleted swine diet. [Journal of Animal Science](#), 2015, 93(2): 615-619.
- [42] LEŠKOVÁ E, KUBÍKOVÁ J, KOVÁČIKOVÁ E, KOŠICKÁ M, PORUBSKÁ J, HOLČÍKOVÁ K. Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. [Journal of Food Composition and Analysis](#), 2006,

- 19(4): 252-276.
- [43] GADIANT M, FENSTER R. Stability of ascorbic acid and other vitamins in extruded fish feeds. *Aquaculture*, 1994, 124(1): 207-211.
- [44] ZHUGE Q, KLOPFENSTEIN C F. Factors affecting storage stability of vitamin A, riboflavin, and niacin in a broiler diet premix1. *Poultry Science*, 1986, 65(5): 987-994.
- [45] 孙美玲. 贮存时间、湿度、铜源和添加剂来源对预混料中 B 族维生素稳定性的影响. 沈阳: 沈阳农业大学硕士学位论文, 2016. SUN M L. Effects of storage times, storage moisture, copper sources and source of vitamins on stability of vitamins. Master Thesis. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [46] HUNT C H, BETHKE R M. The riboflavin content of certain hays and grasses. *The Journal of Nutrition*, 1940, 20(2): 175-180.
- [47] 王风莲. 制粒工艺对饲料营养成分和动物生长性能的影响. *山东畜牧兽医*, 2015, 36(2): 64-65. WANG F L. Effect of pelletizing technology on nutrient composition and animal growth performance of feed. *Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2015, 36(2): 64-65.
- [48] 刘云. 4 种紫花苜蓿品种不同生长期的刈割初探. *当代畜牧*, 2010(6): 39-40. LIU Y. A preliminary study on cutting of four alfalfa cultivars in different growing stages. *Contemporary Animal Husbandry*, 2010(6): 39-40.
- [49] SANDERSON M A, WEDIN W F. Cell wall composition of alfalfa stems at similar morphological stages and chronological age during spring growth and summer regrowth. *Crop Science*, 1988, 28(2): 342-347.
- [50] 杜书增, 杨云贵, 辛亚平, 王红俊. 紫花苜蓿品种及刈割茬次对产量及营养价值的影响. *家畜生态学报*, 2013, 34(7): 44-48. DU S Z, YANG Y G, XIN Y P, WANG H J. Effects of the variety and cutting time on the yield and nutrition level of alfalfa. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2013, 34(7): 44-48.
- [51] 宋书红, 陈志飞, 张晓娜, 张莹, 李欣悦, 杨云贵. 刈割茬次对紫花苜蓿、红豆草产量和营养价值的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2017(7): 143-146. SONG S H, CHEN Z F, ZHANG X N, ZHANG Y, LI X Y, YANG Y G. Effects of mowing stubbles on the yields and nutrition values of alfalfa and sainfain. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2017(7): 143-146.
- [52] 孙林. 针茅草原牧草加工利用模式及相关机制研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学博士学位论文, 2016. SUN L. Processing and utilization of *Stipa* steppe grass and related mechanism involved. PhD Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- [53] 朝鲁孟其其格, 贾玉山, 格根图, 刘志刚, 张晓娜. 草颗粒加工、贮藏及利用技术研究与应用. *中国草地学报*, 2010, 32(4): 98-102. Chaolumengqiqige, JIA Y S, Gegentu, LIU Z G, ZHANG X N. Research and application of processing, storage and utilization technology of mixed grass particle. *Chinese Journal of Grassland*, 2010, 32(4): 98-102.
- [54] EKPERIGIN H E, McCAPES R H, REDUS R, RITCHIE W L, CAMERON W J, NAGARAJA K V, NOLL S. Research Note: Microcidal effects of a new pelleting process. *Poultry Science*, 1990, 69(9): 1595-1598.

(责任编辑 张瑾)