

DOI:10.11686/cyxb2017121

<http://cyxb.lzu.edu.cn>

袁玖, 万欣杰. 茴香、向日葵、棉花副产品配比苜蓿对饲粮组合效应研究. 草业学报, 2018, 27(2): 163—172.

Yuan J, Wan X J. *In vitro* study on the effect of supplementing an alfalfa diet with straw or shells of fennel, sunflower, and cotton, and their associative effects. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(2): 163—172.

茴香、向日葵、棉花副产品配比苜蓿对饲粮组合效应研究

袁玖^{1*}, 万欣杰²

(1. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州联邦饲料有限公司, 甘肃 兰州 730060)

摘要:为了探讨茴香秸秆、茴香秕壳、向日葵秸秆、向日葵盘、棉花秸秆、棉桃壳 6 种农作物副产品(秸秆或秕壳)与苜蓿配比对饲粮组合效应的影响,本试验采用体外产气法测定了在精粗比 30 : 70 时,精料补充料:秸秆或秕壳:苜蓿干草为 30 : 70 : 0, 30 : 63 : 7, 30 : 56 : 14, 30 : 49 : 21, 30 : 42 : 28, 30 : 35 : 35, 30 : 28 : 42, 30 : 21 : 49, 30 : 14 : 56, 30 : 7 : 63, 30 : 0 : 70 时的 11 组饲料组合及 8 种原料分别培养 2, 4, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72, 96 h 内的产气量,并通过 24 h 产气量和各组合的加权估算值计算出各组合的组合效应值(AE)。6 种秸秆或秕壳共(11×6)+8 个原料=74 种饲粮组合。结果表明:14%、7% 和 0 茴香秸秆组的效应较大,依次为 58.74%, 54.18% 和 77.91%, 极显著高于 70%、63% 和 56% 组($P<0.01$)。茴香秕壳各组的 AE 均为正值。7%、14%、21%、28% 向日葵秆组的 AE 较大,其中 7% 向日葵秆组的 AE 最大,为 124.84%。向日葵盘各组的 AE 均为正值,7% 向日葵盘组的 AE 值最大,为 143.84%。0, 70%, 7% 棉花秆组的 AE 依次为 77.91%, 57.76% 和 54.56%。7%, 14%, 21% 秸秆或秕壳组 AE 较大,可节省苜蓿干草。

关键词:组合效应; 苜蓿; 茴香秸秆; 茴香秕壳; 向日葵秸秆; 向日葵盘; 棉花秸秆; 棉桃壳

***In vitro* study on the effect of supplementing an alfalfa diet with straw or shells of fennel, sunflower, and cotton, and their associative effects**

YUAN Jiu^{1*}, WAN Xin-jie²

1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Lanzhou Federal Feed Limited Company, Lanzhou 730060, China

Abstract: We investigated the effects of supplementing an alfalfa diet with fennel straw, fennel shells, sunflower straw, sunflower plates, cotton straw, and cotton shells, and their associative effects (AE), in an *in vitro* experiment. The concentrate: straw/shell: alfalfa ratios were 30 : 70 : 0, 30 : 63 : 7, 30 : 56 : 14, 30 : 49 : 21, 30 : 42 : 28, 30 : 35 : 35, 30 : 28 : 42, 30 : 21 : 49, 30 : 14 : 56, 30 : 7 : 63, 30 : 0 : 70 in diets with a concentrate: roughage ratio of 30 : 70. Gas production (GP) was recorded at 0, 2, 4, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72, and 96 h. The AE was defined as the difference between the observed *in vitro* GP and the predicted value from the individual feed fermented alone. In total, there were 74 groups that included straws or shells: (11×6)+8 = 74. The AEs of the groups with 14%, 7%, and 0% fennel straw were 58.74%, 54.18%, and

收稿日期:2017-03-20; 改回日期:2017-05-05

基金项目:甘肃农业大学动物科学技术学院青年教师基金项目(2017001)资助。

作者简介:袁玖(1980-),女,新疆乌鲁木齐人,讲师,硕士。E-mail: yuanj@gau.edu.cn

* 通信作者 Corresponding author.

77.91%，分别显著高于70%，63%，和56%的茴香草，($P<0.01$)。所有含茴香壳的组别AE均为正，AE值也较高，含7%，14%，21%，和28%的向日葵草，最高AE为124.84%；含7%的向日葵壳的组别AE最高，为143.84%；含0%，70%，和7%的棉草，AE值分别为77.91%，57.76%，和54.56%；含7%的棉壳的组别AE最高，为139.05%；含14%，21%，和0%的棉壳，AE值分别为100.09%，86.22%，和77.91%。我们得出结论：添加草或壳在7%，14%，或21%时是有效的策略以延长苜蓿。

Key words: AE (associative effective); alfalfa; fennel straw; fennel shell; sunflower straw; sunflower plate; cotton straw; cotton shell

饲料间组合效应(associative effective, AE)是指来自不同饲料来源的营养物质、非营养物质及抗营养物质间互作的整体效应^[1]。当饲料的整体互作使饲粮内某养分的利用率或采食量指标高于各个饲料原料数值的加权值时,为“正 AE”;若饲粮的整体指标低于各个饲料原料数值的加权值,为“负 AE”;若二者相等,为“零 AE”。反刍动物饲料间的 AE 在精饲料和粗饲料之间表现得最明显。在精粗比完全一致的前提下,AE 仍有很大的不同。研究 AE 的方法分为体外试验、体内消化代谢试验和动物试验 3 种^[2]。自 Menke 等^[3]发现由于气体产量同有机物消化率高度相关以来,体外产气法被众多学者应用于不同种类的饲料间组合 AE 研究。饲粮精粗比是决定瘤胃发酵特征的主要因素之一。反刍动物饲料间的 AE 在精饲料和粗饲料之间表现得最明显。给生产水平较高的动物饲喂典型饲粮,当其采食量受到自身因素的限制而需用精料补充料的添加来满足其能量需要时,就有可能发生饲料间负 AE。王加启等^[4]发现精料和粗料的负 AE 点为精粗比大于 70%。孟庆翔等^[5]发现精料的比例为 20%~60% 时对日粮干物质的消化率无显著影响。在精粗比完全一致的前提下,AE 仍有很大的不同。

我国非常规粗饲料资源极其丰富,各种可饲用的作物秸秆、藤蔓、莢壳等农副产品总产量估计年产量达 7.6 亿 t,其中秸秆占全世界秸秆总产量的 20%~30%^[6]。农作物秸秆都存在着含氮量低、采食量少、消化性差、可利用能低等缺陷,单独饲喂仅可作维持用能量饲料,严重制约了反刍动物生产水平的提高,限制农作物秸秆的广泛应用。为此,研究人员提出给农作物秸秆补饲优质牧草苜蓿以提高其利用率。向日葵(*Helianthus annuus*)、棉花(*Gossypium spp.*)、茴香(*Foeniculum vulgare*)在我国西北地区种植面积很广。然而,向日葵、棉花、茴香收获后的农副产品却没有被充分利用起来。本试验是在精粗比 30:70 下,运用体外产气法研究不同水平苜蓿配比茴香秸秆、茴香秕壳、向日葵秸秆、向日葵盘、棉花秸秆、棉桃壳后对饲粮 AE 的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

茴香秸秆、茴香秕壳、向日葵秸秆、向日葵盘、棉花秸秆、棉桃壳 6 种农副产品均来源于甘肃省民勤县。苜蓿干草来源于甘肃省临洮县。精料补充料配方组成为:玉米 84.87%,豆粕 7.32%,棉籽粕 3.66%,食盐 1.71%,预混料 2.44%。

1.2 试验设计

精粗比(concentrate : roughage, C : R)为 30:70,精料补充料占 30%,茴香秸秆等农副产品、苜蓿(*Medicago sativa*)干草占 70%。具体为:精料补充料(concentrate) : 秸秆或秕壳(straw or shell) : 苜蓿(alfalfa)分别为 30:70:0, 30:63:7, 30:56:14, 30:49:21, 30:42:28, 30:35:35, 30:28:42, 30:21:49, 30:14:56, 30:7:63, 30:0:70 共 11 种组合,茴香秸秆、茴香秕壳、向日葵秸秆、向日葵盘、棉花秸秆、棉桃壳 6 种秸秆或秕壳与苜蓿、精料补充料配比,共组成(11×6)+8 个原料,共计 74 种饲粮。

1.3 试验方法

1.3.1 体外培养体系 人工唾液按 Menke 等^[7]方法配制,配方为:400 mL 蒸馏水 + 0.1 mL 微量元素溶液

(A) + 200 mL 缓冲液(B) + 200 mL 常量元素溶液(C) + 1.0 mL 刀天青溶液(D), 用 CO_2 气体饱和并升温至 39 $^{\circ}\text{C}$ 后, 加 40 mL 还原液(E), 继续通入 CO_2 , 直至溶液由淡蓝色转变为无色。人工唾液中 A、B、C、D、E 各溶液配方如下, A、微量元素溶液: 13.2 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ + 10.0 g $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ + 1.0 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ + 8 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, 加蒸馏水溶解, 定容至 1000 mL; B、缓冲溶液: 4.0 g NH_4HCO_3 + 35 g NaHCO_3 , 加蒸馏水溶解, 定容至 1000 mL; C、常量元素溶液: 5.7 g Na_2HPO_4 (无水) + 6.2 g KH_2PO_4 (无水) + 0.6 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, 加蒸馏水溶解, 定容至 1000 mL; D、指示剂溶液: 0.1% (W/V) 刀天青溶液, 即 100 mg 刀天青溶解于 100 mL 蒸馏水; E、还原剂溶液(现配现用): 4.0 mL NaOH + 625 mg $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$ + 95 mL 蒸馏水。

体外发酵培养液配制: 将瘤胃液与人工唾液按 1 : 2 的体积比混合, 搅拌均匀即可。

1.3.2 瘤胃液供体动物及其饲养 试验动物为 3 只装有永久性瘤胃瘘管的青年小尾寒羊, 体重(30 ± 5) kg。饲喂饲粮精粗比为 30 : 70, 即小麦(*Triticum aestivum*)秸秆 700 g • d⁻¹ 和精料补充料 300 g • d⁻¹。每天喂料两次(8:00 和 16:30), 自由饮水。在早饲前抽取 3 只瘘管羊的瘤胃液, 混合后经 4 层纱布过滤至预热处理过的收集瓶, 置于 39 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴箱中保存, 连续通入 CO_2 , 待用。

1.3.3 体外培养程序 准确称取待测饲料样品约 200 mg(干物质基础), 置于体外产气管中, 加入始终用 CO_2 气体饱和的微生物培养液 30 mL, 排出注射器中气体, 用胶管和夹子封住注射器前端, 记录下产气管活塞的初始刻度读数(mL)。在 39 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴锅上放上自制 72 孔有机玻璃支架, 将注射器头朝下插入支架孔中培养(水浴锅水面高度必须要淹没注射器内培养液液面高度), 分别培养各饲料组合和 8 种饲料原料 2, 4, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72, 96 h。每个饲料组合 3 个重复。每批样品培养时做 3 个空白样, 记录注射器活塞的位置读数(mL), 并记录培养过程中空白管以上 10 个时间点的产气量(gas production, GP)。在每次产气管读数后, 均需两手掌相对转动注射器, 起到振荡器的作用以模拟瘤胃运动。某时间点的 $GP(\text{mL}) =$ 该段时间样品 GP - 对应时间段内空白管 GP。

1.4 测定项目和方法

1.4.1 饲料常规营养水平 按常规法(AOAC)^[8] 测定茴香秸秆、茴香秕壳、向日葵秸秆、向日葵盘、棉花秸秆、棉桃壳、苜蓿干草、精料补充料的干物质(dry matter, DM)、粗蛋白质(crude protein, CP)、粗脂肪(ether extract, EE)、粗纤维(crude fiber, CF)和粗灰分(Ash)含量, 按 Van Soest 等^[9] 方法测定中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)含量。

1.4.2 体外 GP 测定 2, 4, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72, 96 h 的 GP。 $GP_t = 200 \times (V_t - V_0)/W$ 。式中: t 为发酵开始后的某一时间(h); GP_t 为样品在 t 时刻的产气量(mL); V_t 为样品发酵 t 小时后培养管刻度读数; V_0 为样品在开始培养时空白培养管刻度读数; W 为样品干物质重(mg)。

1.4.3 产气参数计算 利用‘fit curve’软件(MLP; Lawes Agricultural Trust), 根据 Φ rskov 等^[10] 的产气模型公式将各种样品在 2, 4, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72, 96 h 时间点的 GP 代入, 计算消化动力参数。模型公式为: $GP = a + b(1 - \exp^{-a})$ 。式中: t 为发酵开始后的某一时间(h); a 为快速产气部分; b 为缓慢产气部分; c 为 b 的产气速度常数; $a + b$ 为潜在产气量。

1.4.4 组合效应的估算 组合效应 = (实测值 - 加权估算值) × 100 / 加权估算值。式中: 实测值为实际测定的样品产气量(mL), 加权估算值 = 某一粗饲料的实测值 × 某一粗饲料的配比(%) + 精料补充料实测值 × 精料补充料配比(%) + 苜蓿实测值 × 苜蓿配比(%)。

1.5 统计分析

数据采用 SPSS 16.0 软件, 采用 ANOVA 对数据进行单因子方差分析, 差异显著时采用 Tukey 法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著, $P > 0.05$ 为差异不显著。

2 结果与分析

2.1 饲料营养水平及产气参数

各饲料的营养水平及产气参数见表 1。各粗饲料原料的粗蛋白质含量, 向日葵盘(11.84%)大于向日葵秸秆

(5.72%), 棉桃壳(10.53%)大于棉花秸秆(6.50%), 茴香秕壳(7.61%)大于茴香秸秆(4.33%)。8种原料的快速产气部分a值均为负值,说明8种饲料均不同程度地存在产气滞后效应。对于粗纤维和中性洗涤纤维,向日葵秸秆(30.15%和53.09%)的均比向日葵盘(12.48%和23.51%)高出两倍多。

表1 饲料营养水平及产气参数

Table 1 Nutrient levels and *in vitro* gas parameters of experimental diets

项目 Items	成分 Ingredients							
	茴香秆 Fennel straw	茴香壳 Fennel shell	向日葵秆 Sunflower straw	向日葵盘 Sunflower plate	棉花秆 Cotton straw	棉桃壳 Cotton shell	精料补充料 Concentrate	苜蓿 Alfalfa
干物质 DM (%)	92.17	91.17	90.73	89.63	93.27	91.57	91.53	92.75
有机物 OM (%)	90.08	85.80	88.39	85.96	91.53	83.10	94.25	88.42
粗蛋白 CP (%)	4.33	7.61	5.72	11.84	6.50	10.53	20.05	11.55
粗脂肪 EE (%)	1.00	2.92	0.89	2.13	—	2.04	3.86	1.20
粗纤维 CF (%)	36.41	23.31	30.15	12.48	49.87	53.52	—	—
无氮浸出物 NFE (%)	40.51	43.13	42.36	49.14	—	16.83	—	—
中性洗涤纤维 NDF (%)	—	—	53.09	23.51	70.11	45.77	46.15	53.21
快速产气部分 Rapid GP, a (mL)	-3.57	-2.04	-9.22	-7.55	-6.18	-7.94	-2.53	-5.40
缓慢产气部分 Slow GP, b (mL)	35.39	14.50	48.24	51.38	40.50	49.77	22.15	30.01
产气速度常数 Rate constant of slow GP, c (% · h ⁻¹)	0.095	0.054	0.164	0.131	0.012	0.140	0.061	0.091
潜在产气量 GP potential, (a+b) (mL)	31.82	12.46	39.02	43.84	34.32	41.83	19.62	24.60
24 h 产气量 GP _{24 h} (mL)	27.83	13.00	37.83	39.67	31.00	39.33	14.25	19.67

DM: Dry matter; OM: Organic matter; CP: Crude protein; EE: Ether extract; CF: Crude fiber; NFE: Nitrogen free extract; NDF: Neutral detergent fiber; GP: Gas production. 各饲料的营养水平均为实测值 The nutrient levels of ingredients were measured actually.

2.2 各饲粮组合产气参数及组合效应

由表2可见,63%茴香秸秆组GP_{24 h}显著低于14%组($P<0.05$),极显著低于0组($P<0.01$)。14%、7%组(a+b)显著大于63%组($P<0.05$),0组极显著高于63%组($P<0.01$)。随着茴香秸秆所占比例的减少各组GP_{24 h}和(a+b)缓慢增加。14%、7%、0组缓慢产气部分b极显著高于63%组($P<0.01$),28%、35%、49%组b显著高于63%组($P<0.05$)。缓慢产气速度常数c和快速产气部分a各组间无显著差异($P>0.05$)。14%、7%和0组AE值依次为58.74%、54.18%和77.91%,0组AE极显著大于70%、63%和56%组($P<0.01$),14%、7%组AE极显著大于63%组($P<0.01$)。其他5组的AE值分布在12.63%~29.75%范围内,均为正值。

由表3可见,茴香秕壳各组间a、b、c、(a+b)、GP_{24 h}、AE均无显著差异($P>0.05$)。各组AE均为正值,分布在45.03%~129.91%,其中,70%、63%、49%、42%、21%茴香秕壳组AE值均大于100。

由表4可见,28%、21%和7%向日葵秸秆组GP_{24 h}显著大于42%组($P<0.05$)。7%组b显著大于42%组($P<0.05$)。a和c各组间差异不显著($P>0.05$)。7%、28%和21%组(a+b)极显著大于49%和42%组($P<0.01$);14%组(a+b)显著大于70%、63%和35%组($P<0.05$)。42%组AE为-4.61%,其他10组AE均为正值。7%组AE为124.84%,极显著大于70%、63%、56%、49%、42%、35%组($P<0.01$);7%、14%、21%、28%、0组AE值极显著大于70%、63%、56%、49%、42%组($P<0.01$);35%组AE与其他10组无显著差异($P>0.05$)。

由表5可见,70%向日葵盘组的b、(a+b)和GP_{24 h}均显著大于0组($P<0.05$)。a、c各组间差异不显著($P>0.05$)。各组AE均为正值,分布在40.88%~143.84%。7%向日葵盘组AE极显著大于63%、56%组($P<0.01$);7%组AE显著大于70%、49%、42%、35%组($P<0.05$)。7%组AE最大为143.84%,14%组为102.75%。

3 讨论

本试验可见,1) 63%、70%茴香秸秆组 AE 为负值,其余 9 组(2.44%~77.91%)均为正值,以 0、14%、7%茴香秸秆组 AE 最大。茴香秕壳各组 AE 均为正值(45.03%~129.91%),70%、63%、49%、42%、21%茴香秕壳组 AE 值均大于 100%。茴香秕壳之所以比茴香秸秆表现正组合效应值的范围更宽,是因为茴香秕壳的粗蛋白质含量(7.61%)高于茴香秸秆(4.33%),而粗纤维含量茴香秕壳(23.31%)低于茴香秸秆(36.41%)。因此,茴香秸秆需要配比更多比例的苜蓿来弥补其低蛋白高纤维的特点。2) 7%、14%、21%、28%、0 向日葵秸秆组的 AE 较大(82.88%~124.84%),7%组(124.84%)最大,42%组(-4.61%)最小,其他 5 组 AE 在 0.81%~34.48%。向日葵盘各组 AE 均为正值(40.88%~143.84%),7%组(143.84%)和 14%组(102.75%)最大。向日葵盘补饲苜蓿比向日葵秸秆更容易达到好的组合效应。原因是向日葵盘(11.84%)的粗蛋白质含量高于向日葵秸秆(5.72%),粗纤维含量向日葵盘(12.48%)低于向日葵秸秆(30.15%)。3) 42%棉花秸秆组 AE 为-15.30%,其他 10 组 AE 在 12.91%~77.91%,以 0、70%、7%组 AE 较大。7%棉桃壳组 AE 最大,为 139.05%,14%、21% 和 0 组分别为 100.09%、86.22% 和 77.91%。棉桃壳的 11 组的 AE 值(39.39%~139.05%)明显高于棉花秸秆组(-15.30%~77.91%),原因是棉桃壳(10.53%)的粗蛋白质含量高于棉花秸秆(6.5%),中性洗涤纤维含量棉桃壳(45.77%)小于棉花秸秆(70.11%)。总之,与苜蓿、精料补充料配比成饲粮后,6 种秕壳和秸秆饲料均呈现了正 AE 值,且高蛋白低纤维的茴香秕壳、向日葵盘、棉桃壳分别比高纤维低蛋白的茴香秸秆、向日葵秸秆、棉花秸秆 AE 更高。因此,生产中可以用低质秸秆、秕壳类粗饲料适量取代优质苜蓿干草,以节约苜蓿使用量。

孟梅娟等^[11]采用体外产气法评价小麦秸秆与米糠粕按 100:0,75:25,50:50,25:75,0:100 的比例组合发现,从产气量及干物质降解率 AE 看,最优组合是 75:25;从纤维降解率 AE 看,最优组合是 25:75。张勇等^[12]用体外产气法评价油菜秆与玉米、豆粕的组合效应发现,当油菜秆:玉米:豆粕为 55:30:15 时,瘤胃发酵效率最高,正 AE 值最大,为最优组合。孙国强等^[13]利用体外发酵法发现,全株玉米青贮:花生蔓为 70:30 的组合、全株玉米青贮:花生蔓:羊草为 56:24:20 的组合具有最大组合效应。王典等^[14]给 5 月龄白萨杂交母羊饲喂精料:全株玉米青贮料:马铃薯淀粉渣—玉米秸秆混合青贮料分别为 40:60:0,40:45:15,40:30:30,40:15:45。结果表明,4 组间各种挥发性脂肪酸浓度及各项血清指标、总蛋白含量均无显著差异。马铃薯淀粉渣—玉米秸秆混合青贮料能替代 75%的全株玉米青贮料,与精料组合后产生了正 AE 值。Samprth 等^[15]利用体外产气技术测定了基础饲粮与补充料混合物的产气量,结果表明少量易发酵的精饲料补充料能促进粗饲料的降解,产生正的 AE。以上研究均说明,粗饲料需要搭配适量的精料补充料,才能达到最优的 AE。本试验结果与此一致。本试验中,6 种劣质秸秆或秕壳不仅需要与优质苜蓿适量搭配外,也要与精料补充料合理配比,才能达到最优 AE。本试验中,精粗比设为 30:70 表现出正 AE 值,与孟梅娟等^[11]的米糠粕:小麦秸秆 25:75 产气 AE 最优的结果一致。

崔占鸿等^[16]采用体外产气法评价了燕麦(*Avena fatua*)青干草分别与藏嵩草(*Kobresia willd*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)十珠芽蓼(*Puccinia vivipari*)、线叶蒿草(*Kobresia willd*)3 种天然牧草均按 0:100,25:75,50:50,75:25,100:0 两两组合得出不同牧草组合在发酵 12~24 h 的正 AE 较高,随着发酵时间的延长,各组合效应量均逐渐减弱;以燕麦青干草分别与藏嵩草、金露梅+珠芽蓼、线叶蒿草均以 50:50 比例组合较合适。这与本试验中 6 种秸秆或秕壳类饲料多数以 7%、14%秸秆或秕壳组的 AE 较高结果不一致,原因是 6 种秸秆或秕壳的营养价值远远低于藏嵩草、金露梅+珠芽蓼、线叶蒿草。张锐等^[17]利用体外产气法评价苜蓿和羊草比例为 20:80、40:60、60:40 和 80:20 情况下的组合效应,测定发酵 4、8、12、24、48、72 h 的累积产气量,得出结果饲喂辽宁绒山羊苜蓿和羊草的最佳配比为 60:40。王法明^[18]采用人工瘤胃持续发酵法对 4 种优化粗饲料混合日粮的体外发酵情况研究发现,各时间点累积产气量:8511 苜蓿>尖山青贮>肇东羊草>8511 玉米秸秆;筛选出 4 个优化配方组合:①青贮+羊草(90:10);②青贮+苜蓿(85:15);③青贮+羊草+苜蓿(70:5:25);④青贮+羊草+苜蓿+玉米秸秆(80:5:10:5)。体外发酵 48 h 累积产气量为:配方④>③>②>①。崔占鸿等^[19]发现,青贮玉米秸秆与苜蓿青干草以 25:75,青贮玉米秸秆与燕麦青干草以 50:50,苜蓿青干草与燕麦青干草以

25 : 75 或 50 : 50 组合时 AE 较大。本试验中 7%、14% 稗壳或秕壳组的 AE 较高结果与此不一致,原因主要是本试验中 6 种秸秆或秕壳的营养价值低于羊草、青贮、燕麦青干草,因此使用量少。

高静等^[20]依据组合效应综合指数(MFAEI)理论,采用体外法测定苜蓿、番茄皮渣、玉米秸与小麦秸不同组合发现苜蓿 : 番茄渣 : 玉米秸 30 : 10 : 60、苜蓿 : 玉米秸 0 : 50、苜蓿 : 番茄渣 : 小麦秸 30 : 20 : 50、苜蓿 : 小麦秸 60 : 40 时的多项组合效应值最优,依次为 0.80, 0.85, 0.82 和 0.78。吕永艳等^[21]报道,将苜蓿干草、青贮玉米秸和羊草分别按 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80, 0 : 100 两两组合,结果表明用单项 AE 指数评价 AE 的结果不完全一致,采用 MFAEI 进行综合评价时,青贮玉米秸—苜蓿、青贮玉米秸—羊草、苜蓿—羊草 3 组依次按 60 : 40, 40 : 60, 80 : 20 时能产生最大正 AE, 依次为 0.12, 0.83, 0.09。张吉鹏等^[22]将稻草与苜蓿进行体外发酵发现,经改进的 AE 多项指标综合指数(IMFAEI)对稻草分别添补 0, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% 的苜蓿在 12, 24, 48 h 时的 IMFAEI 自高到低依次为苜蓿水平 60(1.2711), 40(1.2603), 20(0.8265), 80(0.6333)。卢广林等^[23]研究了相同营养条件下肉牛秸秆型、苜蓿—秸秆型、青贮—秸秆型、苜蓿—青贮—秸秆型、黄贮—秸秆型、黄贮—苜蓿—秸秆型 6 组饲粮瘤胃体外发酵的 AE, 结果发酵参数变化显著不同, 进一步证实了反刍动物饲粮中饲料营养价值的非加性。以上研究说明了小麦秸、玉米秸、羊草、青贮玉米秸等与苜蓿干草配比后, 组合效应最优, 本试验结果与此一致, 只是在配比比例上有些差异, 这主要是因为本试验中的秸秆或秕壳的营养价值低造成的。

4 结论

茴香、向日葵、棉花副产品与苜蓿、精料补充料配比后, 秕壳类(茴香秕壳、向日葵盘、棉桃壳)的产气 AE 高于秸秆类(茴香秸秆、向日葵秸秆、棉花秸秆)。以 7%、14%、21% 秸秆或秕壳组的产气 AE 较高。因此, 生产中可以用低比例秸秆或秕壳配比高比例苜蓿, 既能提高饲粮 AE 值, 又能节省优质苜蓿干草的使用量。

参考文献 References:

- [1] Lu D X. The Associative Effects of Feeds. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000: 289—294.
卢德勋. 饲料的组合效应. 北京: 中国农业出版社, 2000: 289—294.
- [2] Chen W J, Wang Y, Duan Z Y, et al. The measurements and methods for evaluation of associative effects in ruminants. China Cattle Science, 2011, 37(2): 61—65.
陈伟健, 王翊, 段志勇, 等. 反刍动物饲料组合效应的衡量指标及评估方法综述. 中国牛业科学, 2011, 37(2): 61—65.
- [3] Menke K H, Raab L, Salewski A, et al. The estimation of the digestibility and metabolisable energy content of ruminant and starch digestion. Small Ruminant Research, 1979, 93: 217—222.
- [4] Wang J Q, Feng Y L. Studies on the synthetic efficiencies of rumen microbial protein from various sources of fermentable carbohydrates and degradable nitrogen. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 1996, 27(2): 97—104.
王加启, 冯仰廉. 不同来源发酵碳水化合物和可降解氮合成瘤胃微生物蛋白质效率的研究. 畜牧兽医学报, 1996, 27(2): 97—104.
- [5] Meng Q X, Xiong Y Q. Radiation treatment improves the nutritional value of straw. Feed Industry, 1991, 12(1): 13—14.
孟庆翔, 熊易强. 辐射处理提高秸秆营养价值. 饲料工业, 1991, 12(1): 13—14.
- [6] Feng Y L, Zhang Z Y. The nutritive value of low-quality roughage and its rational use. Chinese Journal of Animal Science, 2001, 37(6): 3—5.
冯仰廉, 张子仪. 低质粗饲料的营养价值及合理利用. 中国畜牧杂志, 2001, 37(6): 3—5.
- [7] Menke K H, Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development, 1988, 28: 7—55.
- [8] Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemists Incorporated Limited. 15th ed. Virginia, USA, 1990.
- [9] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 1991, 74: 3583—3597.
- [10] Ørskov E R, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. Agriculture Science Camb, 1979, 92: 499—503.
- [11] Meng M J, Tu Y L, Bai Y F, et al. Study of associative effects of wheat straw mixed with rice bran meal on *in vitro* fermentation parameters. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(9): 161—172.

- 孟梅娟, 涂远璐, 白云峰, 等. 小麦秸秆与米糠粕瘤胃体外发酵组合效应研究. 草业学报, 2016, 25(9): 161—172.
- [12] Zhang Y, Xia T C, Chang Y, et al. Evaluation of the associative effects of rape straw, corn and soybean meal using an *in vitro* gas production technique. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(11): 185—191.
- 张勇, 夏天婵, 常誉, 等. 体外产气法评价油菜秆与玉米、豆粕的组合效应. 草业学报, 2016, 25(11): 185—191.
- [13] Sun G Q, Lü Y Y, Zhang J J. A study on the associative effect of whole corn silage-peanut vine and *Leymus chinensis* by rumen fermentation *in vitro*. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(3): 224—231.
- 孙国强, 吕永艳, 张杰杰. 利用体外瘤胃发酵法研究全株玉米青贮与花生蔓和羊草间的组合效应. 草业学报, 2014, 23(3): 224—231.
- [14] Wang D, Li F D, Zhang Y D, et al. Mixed silage of potato pulp and corn straw affects growth performance, ruminant environments and blood biochemical parameters of mutton sheep. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(5): 47—54.
- 王典, 李发弟, 张养东, 等. 马铃薯淀粉渣—玉米秸秆混合青贮料对肉羊生产性能、瘤胃内环境和血液生化指标的影响. 草业学报, 2012, 21(5): 47—54.
- [15] Sampth K T, Wood C D, Prasad C S. Effect of urea and by-products on the *in vitro* fermentation of untreated and treated finger millet straw. Journal of Science of Food Agriculture, 1995, 67: 323—328.
- [16] Cui Z H, Hao L Z, Liu S J, et al. Evaluation of the fermentation characteristics of mixed oat green hay and native pastures in the Qinghai Plateau using an *in vitro* gas production technique. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(3): 250—257.
- 崔占鸿, 郝力壮, 刘书杰, 等. 体外产气法评价青海高原燕麦青干草与天然牧草组合效应. 草业学报, 2012, 21(3): 250—257.
- [17] Zhang R, Zhu X P, Li J Y, et al. Combination effects between regular roughages of alfalfa hay and Chinese wildrye in Liaoning cashmere goats. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(10): 2481—2488.
- 张锐, 朱晓萍, 李建云, 等. 辽宁绒山羊常用粗饲料苜蓿和羊草间饲料组合效应. 动物营养学报, 2013, 25(10): 2481—2488.
- [18] Wang F M. Study on the Associative Effects of Ruminant Feed based on GI and CBI Theory. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2014.
- 王法明. 基于GI与CBI理论的反刍动物饲料组合效应的研究. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2014.
- [19] Cui Z H, Liu S J, Hao L Z, et al. Evaluation of associate effects of ruminants forages in the Qinghai Plateau using *in vitro* gas production technique. Pratacultural Science, 2011, 28(10): 1894—1900.
- 崔占鸿, 刘书杰, 郝力壮, 等. 体外产气法评价青海高原反刍家畜常用粗饲料组合效应. 草业科学, 2011, 28(10): 1894—1900.
- [20] Gao J, Jia Y S, Wang X G, et al. Study on the multiple-factors associative effects of forage. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(4): 236—243.
- 高静, 贾玉山, 王晓光, 等. 饲草组合效应综合指数研究. 草业学报, 2012, 21(4): 236—243.
- [21] Lü Y Y, Cui H J, Cai L F, et al. Study on the associative effects of three kinds of roughage in dairy cattle. Feed Research, 2011, (9): 3—5.
- 吕永艳, 崔海净, 蔡李逢, 等. 奶牛常用3种粗饲料间组合效应的研究. 饲料研究, 2011, (9): 3—5.
- [22] Zhang J K, Zhou Q H, Wang J F, et al. Comprehensive study of associative effects of rice straw mixed with vary levels of *Medicago sativa* L. on *in vitro* fermentation parameters. Feed Industry, 2011, 32(17): 40—48.
- 张吉鹏, 邹庆华, 王金芬, 等. 稻草与多水平苜蓿混合瘤胃体外发酵组合效应的整体研究. 饲料工业, 2011, 32(17): 40—48.
- [23] Lu G L, Li D F, Yang L Y. Effects of different dietary combinations on fermentation parameters of bovine rumen. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2011, 8: 101—103.
- 卢广林, 李东风, 杨连玉. 不同日粮组合对牛瘤胃发酵参数的影响. 黑龙江畜牧兽医, 2011, 8: 101—103.