



# 苜蓿干草和秸秆组合体外发酵营养特性及其利用研究

阳伏林<sup>1</sup>, 丁学智<sup>2</sup>, 史海山<sup>1</sup>, 黄小丹<sup>1</sup>, 龙瑞军<sup>3</sup>

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院西北高原生物所, 青海 西宁 810008;  
3. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**应用体外发酵产气技术,评价了苜蓿 *Medicago sativa* 干草和玉米 *Zea mays*、小麦 *Triticum aestivum* 秸秆分别以 0 100、25 75、50 50、75 25 和 100 0 进行两两组合时的发酵特性。结果表明:不同比例组合产气量(GP)、理论最大产气量(A)、产气速率(b)及产气延滞时间(LAG)变化趋势不同;苜蓿干草与玉米秸秆按 50 50 的比例或苜蓿干草与小麦秸秆按 75 25 的比例组合时的效应明显好于其他组合。48 h 产气量与粗蛋白(CP) ( $P < 0.05$ )及中性洗涤可溶物(NDS)含量呈正相关关系,而与中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、半纤维(HC)含量及 NDS/CP ( $P < 0.01$ )呈负相关关系;理论最大产气量与 CP、NDS 的含量呈正相关关系,与 NDF、ADF、HC 和 NDS/CP ( $P < 0.01$ )呈负相关关系;产气速率与 CP ( $P < 0.01$ )、HC ( $P < 0.01$ )、NDS ( $P < 0.01$ )呈极显著正相关关系,分别与 NDF ( $P < 0.01$ )、ADF ( $P < 0.01$ )、NDS/CP ( $P < 0.05$ )呈负相关关系;产气延滞时间与饲草料的主要营养成分的相关关系不明显,只与 NDS/CP ( $P < 0.05$ )呈显著正相关关系。结论认为,饲草中非结构性碳水化合物与蛋白质比例决定了体外发酵产气的特性。生产实践中应针对低质粗饲料营养特性,适当添补易发酵或高蛋白牧草,提高粗饲料利用效率。

**关键词:**苜蓿干草;秸秆;体外发酵;组合效应;模型参数

中图分类号: S826.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2008)03-0061-07

饲料之间的组合效应 (Associative effects) 具有普遍性与可控性。充分应用系统组合营养技术,增加饲料间正组合效应,可有效提高反刍动物对饲草料尤其是低质粗饲料(农作物秸秆、低质牧草)的采食量和利用率。为此,很多学者进行了大量的相关研究。Chase 和 Hibberd<sup>[1]</sup>报道,在以低质干草和棉籽粕为主的基础日粮中,每天给母牛补饲的玉米 *Zea mays* 量从 1 kg 增加到 2 或 3 kg 时,粗纤维的消化率明显降低;而 Leng 和 Preston<sup>[2]</sup>的研究结果表明,当秸秆和苜蓿 *Medicago sativa* 或酒糟混合青贮时可以提高秸秆的消化率。然而,有关反刍动物饲料间组合效应研究大部分是通过动物试验直接进行的,用试验动物来评估饲料间的组合效应,其过程较为复杂,而且由于动物本身生理状况的变化使得研究结果重复性差;Menke 等<sup>[3]</sup>成功应用体外产气法预测发酵底物的营养价值以来,因其方法简便、经济、快速而被广泛用于评定饲草的营养价值<sup>[4-6]</sup>。

试验应用体外发酵产气技术,评价了目前在我

国北方地区绵羊、肉牛、奶牛常见越冬的 2 种秸秆和 1 种干草饲草料,按不同比例组合时的组合效应,旨在通过饲草料不同比例的组合尽量减少负组合效应的产生,而产生和提高正组合效应,为在反刍动物日粮中合理配置饲草料资源提供参考数据。

## 1 材料与方 法

**1.1 材料** 试验选用紫花苜蓿干草、玉米秸秆和小麦 *Triticum aestivum* 秸秆,材料均来源于甘肃农业大学兰州牧草引种试验圃。样品采集后,先 120 ℃ 烘 10~15 min,然后 65 ℃ 烘干制成风干样,粉碎过 1 mm 筛,室温保存于样品袋中以备使用。按实验室常规方法<sup>[7]</sup>测定其干物质(DM)、有机物(OM)、粗蛋白(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、半纤维(HC)、灰

\* 收稿日期:2007-03-08  
基金项目:国际原子能机构(IAEA)项目(No. 126666/R0);  
兰州大学“萃英人才”计划项目  
作者简介:阳伏林(1983-),男,湖南衡东人,在读硕士生。  
E-mail: yangfulin1983@yahoo.com.cn  
通讯作者:龙瑞军

分(Ash)和中性洗涤可溶物(NDS)的含量。组合饲草料营养成分含量的计算公式如下:AB组合饲草料营养成分含量 = A 饲草营养成分含量 ×A

饲草比例 + B 饲草营养成分含量 ×B 饲草比例, 结果见表 1。

表 1 不同组合营养成分含量

比例组合		DM	OM	CP	NDF	ADF	HC	Ash	NDF
小麦秸秆	0 100	89.90	91.06	17.30	42.06	29.01	13.05	8.94	57.94
	25 75	89.88	91.45	13.70	51.42	34.34	17.09	8.53	48.56
	50 50	89.86	91.84	10.11	60.79	39.66	21.13	8.13	39.18
	75 25	89.83	92.23	6.51	70.15	44.99	25.17	7.72	29.80
	100 0	89.81	92.62	2.91	79.51	50.31	29.21	7.31	20.42
玉米秸秆	0 100	89.90	91.06	17.30	42.06	29.01	13.05	8.94	57.94
	25 75	89.93	91.71	15.06	49.96	32.75	17.21	8.29	50.04
	50 50	89.95	92.36	12.81	57.86	36.49	21.37	7.64	42.15
	75 25	89.98	93.01	10.57	65.75	40.23	25.52	6.99	34.25
	100 0	90.00	93.66	8.32	73.65	43.97	29.68	6.34	26.35
小麦秸秆	0 100	90.00	93.66	8.32	73.65	43.97	29.68	6.34	26.35
	25 75	89.95	93.40	6.97	75.12	45.56	29.56	6.58	24.87
	50 50	89.91	93.14	5.62	76.58	47.14	29.45	6.83	23.38
	75 25	89.86	92.88	4.26	78.05	48.73	29.33	7.07	21.90
	100 0	89.81	92.62	2.91	79.51	50.31	29.21	7.31	20.42

注:半纤维素(%) = 中性洗涤纤维(%) - 酸性洗涤纤维(%), 中性洗涤可溶物(%) = 100% - 中性洗涤纤维(%)。

**1.2 试验设计及产气量的测定** 将苜蓿干草与玉米秸秆、苜蓿干草与小麦秸秆以及玉米秸秆与小麦秸秆以干物质为基础,按 0 100, 25 75, 50 50, 75 25 和 100 0 的比例将 3 种饲草料进行两两组合,分别称取 200 mg 干物质。根据 Menke<sup>[3]</sup> 的活体外产气量法,分别测定苜蓿干草、玉米秸秆与小麦秸秆单一及不同比例组合在 6、12、24、48 h 时间点的体外发酵产气量。

**1.3 试验动物** 试验选用 4 只安装永久性瘤胃瘘管的健康小尾寒羊(羯羊),以燕麦 *Avena sativa* 干草作为基础粗饲料,精粗比为 1 1,饲养水平为 1.3 倍维持需要。试验开始后,于晨饲前从 4 只小尾寒羊的瘤胃瘘管中等量采集瘤胃液置于充满 CO<sub>2</sub> 的保温瓶中,立即送回实验室。

**1.4 混合培养液的组成** 将瘤胃液在连续冲入 CO<sub>2</sub> 的条件下通过 4 层纱布过滤,然后量取所需体积(瘤胃液与人工瘤胃营养液的体积比为 1 2)的瘤胃液迅速加入准备好的预热到 39 的人工瘤胃营养液中,制成人工瘤胃培养液。混合人工瘤胃培养液边加热边搅拌,同时通入无氧的

CO<sub>2</sub>。

人工瘤胃营养液的组成为: 3.579 g/L Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O, 1.544 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.149 g/L MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 0.012 g/L CaCl<sub>2</sub>, 0.010 g/L FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.012 g/L MnCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 0.007 g/L ZnCl<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O, 0.001 g/L CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.002 g/L CuCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 0.498 g/L Na<sub>2</sub>S · 9H<sub>2</sub>O, 0.001 g/L 刃天青, 1.992 g/L NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>, 17.432 g/L NaHCO<sub>3</sub>。

**1.5 统计分析** 根据不同时间点的产气量,采用 Gompertz<sup>[8]</sup> 模型:

$$GP = A \exp \{ - \exp [ 1 + be(LAG - t) / A ] \}$$

来描述苜蓿干草与玉米、小麦秸秆组合时的体外发酵动力学特性,GP 表示产气量(mL),A 表示理论最大产气量(mL),b 表示产气速率常数(mL/h),LAG 表示体外发酵产气延滞时间(h),e 为自然常数,t 表示产气时间点(h)。

采用非线性回归程序(NLRN)获得模型拟合参数 A、b 和 LAG 的值,并计算不同牧草比例组合在 6、12、24 和 48 h 的组合效应程度。应用

SAS 统计分析软件 GLM 过程进行方差分析,用 CORR 过程进行相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同比例组合时营养成分的变化

当苜蓿干草分别与小麦、玉米秸秆组合时,OM、NDF、ADF、HC 含量随苜蓿干草所占比例的上升

而下降,CP、Ash、NDS 含量的变化正好相反,随苜蓿干草所占比例的增加而上升。当玉米秸秆与小麦秸秆组合时,OM、NDF、ADF 含量随玉米秸秆所占比例的上升而下降,CP、HC、Ash、NDS 含量的变化正好相反,随玉米秸秆所占比例的增加而上升(表 2)。

表 2 不同组合发酵时间点的产气量及 Gompertz 模型参数拟合值

比例组合	不同时间点产气量(mL)				参数值			
	6 h	12 h	24 h	48 h	A (mL)	b(mL/h)	LAG(h)	
小麦秸秆 苜蓿干草	0 100	17.30	34.60	41.53	46.12	44.56 ±2.13 <sup>a</sup>	3.37 ±0.92 <sup>a</sup>	0.79 ±0.12 <sup>a</sup>
	25 75	13.00	26.00	34.33	42.18	41.75 ±3.39 <sup>b</sup>	1.73 ±0.55 <sup>b</sup>	-2.18 ±1.82 <sup>b</sup>
	50 50	11.50	23.00	32.67	41.35	41.67 ±2.95 <sup>b</sup>	1.50 ±0.35 <sup>b</sup>	-2.31 ±0.06 <sup>b</sup>
	75 25	8.55	16.75	28.00	37.95	39.59 ±1.40 <sup>c</sup>	1.21 ±0.11 <sup>c</sup>	-1.32 ±0.69 <sup>c</sup>
	100 0	5.50	11.00	23.17	34.82	37.62 ±0.23 <sup>c</sup>	1.06 ±0.01 <sup>c</sup>	1.58 ±0.16 <sup>a</sup>
	S. E. M	1.24	2.48	2.04	1.51			
玉米秸秆 苜蓿干草	0 100	17.30	34.60	41.53	46.12	44.56 ±2.13 <sup>a</sup>	3.37 ±0.92 <sup>a</sup>	0.79 ±0.19 <sup>a</sup>
	25 75	16.27	32.53	39.27	44.12	42.55 ±2.28 <sup>a</sup>	3.05 ±0.91 <sup>a</sup>	0.57 ±0.21 <sup>a</sup>
	50 50	16.50	33.00	41.76	48.41	47.04 ±2.99 <sup>b</sup>	2.64 ±0.83 <sup>a</sup>	-0.51 ±0.88 <sup>b</sup>
	75 25	13.43	26.87	36.83	45.45	45.29 ±3.27 <sup>a</sup>	1.80 ±0.48 <sup>b</sup>	-2.09 ±0.26 <sup>c</sup>
	100 0	13.23	26.47	37.47	44.65	44.79 ±3.07 <sup>a</sup>	1.78 ±0.41 <sup>b</sup>	-2.03 ±1.86 <sup>c</sup>
	S. E. M	0.57	1.15	0.90	0.88			
小麦秸秆 玉米秸秆	0 100	13.23	26.47	37.47	46.65	46.79 ±3.07 <sup>a</sup>	1.78 ±0.41 <sup>a</sup>	-2.03 ±0.86 <sup>a</sup>
	25 75	13.03	26.07	38.30	48.71	49.33 ±3.30 <sup>b</sup>	1.75 ±0.34 <sup>a</sup>	-2.04 ±1.55 <sup>a</sup>
	50 50	10.47	20.93	32.83	43.82	45.27 ±2.49 <sup>a</sup>	1.42 ±0.21 <sup>ab</sup>	-1.85 ±0.05 <sup>ab</sup>
	75 25	7.27	14.53	26.70	38.78	41.55 ±1.04 <sup>c</sup>	1.16 ±0.06 <sup>b</sup>	-1.17 ±0.72 <sup>b</sup>
	100 0	5.50	11.00	23.17	34.82	37.62 ±0.23 <sup>d</sup>	1.06 ±0.01 <sup>b</sup>	1.58 ±0.16 <sup>c</sup>
	S. E. M	0.84	1.68	1.61	1.42			

注:相同组合同列中字母相同表示差异不显著( $P > 0.05$ );字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。S. E. M 表示平均数的标准误差。

### 2.2 不同比例组合对产气特性的影响

当苜蓿干草与小麦秸秆按不同比例组合时,48 h 产气量与体外发酵产气速率常数随苜蓿干草所占比例的上升,呈上升的趋势;理论最大产气量亦有相似的趋势;产气延滞时间随苜蓿干草在组合中所占比例的上升呈先缩短后延长的趋势;3 种组合比例体外发酵参数拟合值,苜蓿干草占 75% 与 50% 的组合之间差异不显著( $P > 0.05$ ),而与 25% 的组合之间差异显著( $P < 0.05$ )。与单一苜蓿干草或小麦秸秆相比,其比例组合 48 h 产气量、理论最大产气量及产气速率常数都比单一小麦秸秆高;其产气延滞时间比单一饲草短。

当苜蓿干草与玉米秸秆按不同比例组合时,不同时间点的产气量、理论最大产气量苜蓿干草与玉米秸秆按 50 50 组合时最高,苜蓿干草占 75% 时的理论最大产气量最低;而产气速率常数随苜蓿所占比例的上升而增大;在玉米秸秆与苜蓿干草按 25 75,50 50,75 25 组合中,体外发酵产气延滞时间以苜蓿占 75% 时最高,并随苜蓿干草所占比例的上升而有延长的趋势。与单一玉米秸秆或苜蓿干草相比,苜蓿干草占 50% 时的理论最大产气量显著( $P < 0.05$ )高于单一玉米秸秆与苜蓿干草,产气速率常数显著高于玉米秸秆。

当小麦秸秆与玉米秸秆按不同比例组合时,

48 h 产气量和理论最大产气量随着玉米秸秆所占比例的上升而增大,产气速率常数有相同的趋势。与单一秸秆相比,小麦秸秆与玉米秸秆按 25 75 的比例组合时其产气量、理论最大产气量及产气速率常数基本上都比单一的小麦秸秆和玉米秸秆高;当小麦秸秆与玉米秸秆按 50 50 和 75 25 的比例组合时,其 48 h 产气量、最大产气量及产

气速率常数低于玉米秸秆,而高于小麦秸秆,其延滞时间则高于玉米秸秆,而低于小麦秸秆。

**2.3 不同比例组合的效应** 当苜蓿干草分别与小麦、玉米秸秆组合时,不同发酵时间点产气量的组合效应随发酵时间的延长其变化规律不同(表 3)。

表 3 不同比例组合体外发酵产气量的组合效应

比例组合	发酵时间(h)				%
	6	12	24	48	
小麦秸秆 苜蓿干草	25 75	- 9.40*	- 9.42*	- 7.06*	- 2.59
	50 50	0.88	0.88	0.99	2.17*
	75 25	- 20.72*	- 20.70*	- 12.34*	- 8.69*
玉米秸秆 苜蓿干草	25 75	- 0.09	- 0.11	- 3.08	- 4.62*
	50 50	8.08*	8.08*	5.73*	4.36*
	5 25	- 5.73*	- 5.73*	- 4.30*	- 2.28*
小麦秸秆 玉米秸秆	25 75	15.34*	15.35*	13.00*	11.49*
	50 50	11.74*	11.71*	8.29*	7.58*
	75 25	- 2.29	- 2.27	- 0.17	2.66

注: \*表示组合效应显著( $P < 0.05$ ); 组合效应(%) = [(观测值 - 预测值) / 预测值] × 100。

当苜蓿干草与小麦秸秆组合时,苜蓿干草以 50% 与小麦秸秆组合时,其各个时间的产气量表现出正组合效应,且随着发酵时间的延长,其正组合效应有上升的趋势;苜蓿干草以 25%、75% 与小麦秸秆组合时,其各个时间的产气量表现出显著的负组合效应,(苜蓿干草以 75% 与小麦秸秆组合时其 48 h 的产气量的负组合效应不显著除外),随着发酵时间的延长,其负组合效应呈下降趋势。

当苜蓿干草与玉米秸秆组合时,苜蓿干草以 50% 与小麦秸秆组合时,其各个时间的产气量表现出显著的正组合效应( $P < 0.05$ ),这与苜蓿干草与小麦秸秆组合时的产气量组合效应相似,且随着发酵时间的延长,其正组合效应呈下降趋势,这有别于苜蓿干草与小麦秸秆产气组合;苜蓿干草以 75% 与玉米秸秆组合时,其各个时间的产气量表现出负组合效应,其中 48 h 的产气量负组合效应显著( $P < 0.05$ ),随着发酵时间的延长,其负组合效应增强;苜蓿干草以 25% 与玉米秸秆组合时,各个时间的产气量表现出显著的负组合效应

( $P < 0.05$ ),随着发酵时间的延长,且其负组合效应呈减弱的趋势。

当小麦、玉米秸秆组合时,玉米秸秆占 25% 时其 6、12、24 h 产气量表现出负组合效应,其他组合都呈正组合效应;玉米秸秆以 75%、50% 分别与小麦秸秆组合时,各个时间的产气量都呈显著的正组合效应( $P < 0.05$ ),并且随着发酵时间的延长,其正组合效应有下降的趋势。

**2.4 发酵参数与营养成分的关系** 48 h 的产气量与 OM、CP ( $P < 0.05$ )、NDS 的含量呈正相关关系,与 NDF、ADF ( $P < 0.05$ )、HC 和 NDS/CP ( $P < 0.01$ ) 呈负相关关系;理论最大产气量与 OM、CP、NDS 的含量呈正相关关系,与 NDF、ADF、HC 和 NDS/CP ( $P < 0.01$ ) 呈负相关关系;产气速率与 CP ( $P < 0.01$ )、HC ( $P < 0.01$ )、NDS ( $P < 0.01$ ) 呈极显著正相关关系,而分别与 OM ( $P < 0.05$ )、NDF ( $P < 0.01$ )、ADF ( $P < 0.01$ )、NDS/CP ( $P < 0.05$ ) 呈负相关关系;产气延滞时间与饲草料的主要营养成分的相关关系不明显,只有与 NDS/CP ( $P < 0.05$ ) 呈正相关关系。就产气

参数之间的关系来看,理论最大产气量与产气延滞时间( $P < 0.05$ )呈显著负相关关系。48 h 的产气量分别与理论最大产气量和产气速率呈极显著正相关关系( $P < 0.01$ )。见表 4。

表 4 体外发酵产气量及发酵参数与营养成分的相关关系

参数	OM	CP	NDF	ADF	HC	NDS	NDS/CP	GP	A	LAG	产气延滞时间
48 h 产气量	0.049	0.612 *	-0.437	-0.550 *	-0.295	0.439	-0.845 **	1.000	0.963 **	0.667 **	-0.427
理论最大产气量	0.269	0.387	-0.198	-0.319	-0.054	0.200	-0.742 **	0.963 **	1.000	0.478	-0.515 *
产气速率	-0.584 *	0.913 **	-0.869 **	-0.903 **	0.806 **	0.869 **	-0.619 *	0.667 **	0.478	1.000	0.252
产气延滞时间	-0.457	0.043	-0.182	-0.095	-0.277	0.181	0.565 *	-0.427	-0.515 *	0.252	1.000

注: \*表示显著相关( $P < 0.05$ ); \*\*表示极显著相关( $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同比例组合对体外产气特性和消化率的影响

体外产气量在一定程度上可反映出反刍动物饲料在动物体内的降解特性。Prasad 等<sup>[9]</sup>动物饲料在体外发酵 45~52 h 时,对其体内消化率的预测值最高。根据这一结论,如果发酵 48 h 后的产气量与体内消化率成一定比例,那么,苜蓿干草的消化率要分别比玉米秸秆和小麦秸秆高 3.2% 和 25.4%;玉米秸秆的消化率要比小麦秸秆高 22.0%。小麦秸秆分别和苜蓿干草、玉米秸秆组合时,随着小麦秸秆所占比例的增多其消化率降低;玉米秸秆以 50/50 与苜蓿干草组合时,表现出最大的消化率。

碳水化合物及粗蛋白作为底物发酵时的主要产气来源物质,直接影响着底物在体外培养时的产气发酵特性。试验表明:48 h 的产气量和理论最大产气量于底物的 CP、NDS 存在正相关关系,而与 NDF、ADF、NDS/CP 呈负相关关系。

#### 3.2 组合效应产生机制及实践意义

苜蓿干草以 50% 分别与玉米、小麦秸秆组合,以及玉米秸秆以 50%、75% 与小麦秸秆组合时,其产气量在不同发酵时间表现出不同程度的正组合效应。Wood 和 Manyuchi<sup>[10]</sup>研究发现,当草原干草与矮象草 *Pennisetum purpureum* 或花生藤 *Arachis duranensis* 的组合料在富氮培养液中发酵时,组合效应在 33~52 h 最为明显;Sampath 等<sup>[11]</sup>报道,在粟米 *Mollugo stricta* 秸秆中添加不同水平的花生饼,在培养 12、52 和 166 h 后其体外产气量出现显著的正组合效应。Liu 等<sup>[12]</sup>认为这是由于添加的牧草或蛋白质类饲料(如花生饼、棉饼)增

加了组合料中的易发酵物质(如能量、氨基酸或缩氨酸),从而促进了瘤胃微生物的生长,使组合料在体外培养时产生了组合效应。还对未处理稻秆或碳酸氢铵处理的稻秆与黑麦草 *Lolium perenne* 或桑树 *Morus alba* 叶组合时的研究表明,正组合效应随发酵时间的延长而下降。在本试验中,当苜蓿干草以 50% 与小麦秸秆组合时,各个时间的产气量所表现出的正组合效应,随着发酵时间的延长有上升的趋势,这可能是由于其延滞时间较长,在发酵前段时产气量的正组合效应程度并不是很高,但随发酵时间的延长,微生物的数量增加,微生物对纤维素类物质的降解力度也开始加大,从而导致产气量的组合效应逐步增加,并在 48 h 时达到最大值。而其他组合的正组合效应随发酵时间的延长而下降,与 Liu 等<sup>[2]</sup>结论一致,随发酵时间的延长,可能由于微生物发酵所产生的副产物不能及时排出,在一定程度上对微生物的进一步发酵产生负面影响,导致可发酵物质的降解速率较低,组合效应程度下降。

从营养成分的构成来看,组合料的营养成分要比单一牧草或秸秆的营养组成更合理。饲草料组合后,其营养物质的供给可能更加平衡,更有利于微生物的生长和提高微生物的活力,从而使牧草中的非结构性碳水化合物与可发酵蛋白质的体外发酵发挥更大潜力。

#### 3.3 粗饲料的合理利用

农作物秸秆由于其高纤维、低蛋白含量的特性,作为反刍动物粗料时,受细胞壁木质化程度的影响,其消化率很低。目前用于提高农作物秸秆营养价值的方法很多,主要包括化学、物理、生物处理(如青贮、氨化秸秆等)方法。利用不同饲料间的正组合效应,也是提

高秸秆利用率的有效途径。谭支良等<sup>[13]</sup>认为,通过系统组合营养技术可有效提高粗饲料的利用效率。在我国北方农作物秸秆主要有小麦秸秆和玉米秸秆,从研究结果来看,玉米秸秆与小麦秸秆按 75:25 或 50:50 组合比较合适,如果玉米秸秆或小麦秸秆饲料中能够加入 50% 的苜蓿干草,就能明显地提高秸秆的消化率或降解率。如果不同粗饲料进行预处理后再进行组合,有可能使正组合效应更显著<sup>[14-16]</sup>。

## 4 结论

4.1 不同秸秆之间进行组合后,如果组合比例合适可,不同程度提高粗料的发酵速率。

4.2 利用不同饲料间的正组合效应,也是提高秸秆利用率的有效途径之一。

4.3 3 种饲草料两两组合时,以苜蓿干草与小麦秸秆按 50:50、苜蓿干草与玉米秸秆按 50:50、玉米秸秆与小麦秸秆按 75:25 或 50:50 的比例组合较为合适。

## 参考文献

- [1] Chase C C, Hibberd C A. Utilization of low-quality native grass hay by beef cows fed increasing quantities of corn grain [J]. *Journal of Animal Science*, 1987, 65:557-566.
- [2] Leng R A, Preston T R. Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and subtropics [M]. Armidale, Australia: Peambur Books, 1990. 58-62.
- [3] Menke K H, Raab L, Salewski A, et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro [J]. *Journal of Agriculture Science (Cambridge)*, 1979, 93:217-222.
- [4] Nsahlai I V, Umunna N N, Negassa D. The effect of multi-purpose tree digesta on in vitro gas production from napier grass or Neutral-detergent fiber [J]. *Journal Science of Food and Agriculture*, 1995, 69:519-528.
- [5] Mauricio R M, Mould F L, Dhanoa M S, et al. A semi-automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 79:321-330.
- [6] 郭彦军,龙瑞军,张德罡,等.利用体外产气法测定高山牧草和灌木的干物质降解率[J].*草业学报*,2003,12(2):54-60.
- [7] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1993.
- [8] Schofield P, Pitt R E, Pell A N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production [J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72:2980-2991.
- [9] Prasad C S, Wood C D, Sampath K T. Use of in vitro gas production to evaluate rumen fermentation of untreated and urea-treated finger millet straw (*Eleusine coracana*) supplemented with different levels of concentrate [J]. *Journal Science of Food and Agriculture*, 1994, 65:457-464.
- [10] Wood C D, Manyuchi B. Use of an in vitro gas production method to investigate interactions between veld hay and napier hay or groundnut hay supplements [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1997, 67:265-278.
- [11] Sampath K T, Wood C D, Prasad C S. Effect of urea and by-products on the in vitro fermentation of untreated and urea treated finger millet (*Eleusine coracana*) straw [J]. *Journal Science of Food and Agriculture*, 1995, 67:323-328.
- [12] Liu J X, Susenbeth A, Sudekum K H. In vitro gas production measurements to evaluate interactions between untreated and chemically treated rice straws, grass hay, and mulberry leaves [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80:517-524.
- [13] 谭支良,卢德勋.提高粗饲料利用效率的系统组合营养技术及其组合效应的研究进展[J].*饲料博览*,1999,11(7):6-10.
- [14] 周传社,汤少勋,姜海林,等.农作物秸秆体外发酵营养特性及其组合利用研究[J].*应用生态学报*,2005,16(10):1862-1867.
- [15] 穆晓峰,刘顺德,阿依古丽,等.化学同步生化复合处理对玉米秸秆营养物质降解率的影响[J].*草业科学*,2007,24(5):79-82.
- [16] 周卫东,黄新,王亚琴,等.不同处理方法对自然晒制苜蓿干草的影响[J].*草业科学*,2006,23(2):43-45.

**Study on *in vitro* fermentation characteristics of alfalfa hay mixed  
with straw and their combined utilization**

YANG Fu-lin<sup>1</sup>, DING Xue-zhi<sup>2</sup>, SHI Hai-shan<sup>1</sup>, HUANG Xiao-dan<sup>1</sup>, LONG Rui-jun<sup>3</sup>

(1. College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Northwest Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China;

3. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University,  
Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** An experiment was conducted to investigate *in vitro* gas production characteristics of mixed forages. The mixed forages investigated in this experiment were alfalfa hay mixed with corns straw, alfalfa hay mixed with wheat straw, and corns straw mixed with wheat straw, all mixtures replicated at proportions of 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, and 100:0. The results show that the maximum theoretic gas production, rate of gas production and lag time of gas production present different changing patterns, respectively, with the variation of mixed proportion. The obvious positive associative effects are noted when the mixture of alfalfa hay was mixed with corn stalk with the proportion of 50:50 or alfalfa hay was mixed with wheat straw with the proportion of 75:25. Correlation analyses indicated that cumulative gas production at 48 h was positively related to the content of CP ( $P < 0.05$ ) and NDS, and negatively related to the content of NDF, ADF, HC and the ratio of NDS to CP. The theoretical maximum gas production CP and NDS, and negatively related to the content of NDF, ADF, HC and the ratio of NDS to CP ( $P < 0.01$ ). The rate of gas production was the content of CP ( $P < 0.01$ ), HC ( $P < 0.01$ ), NDS ( $P < 0.01$ ), and negatively related to the content of NDF ( $P < 0.01$ ), ADF ( $P < 0.01$ ) and the ratio of NDS to CP ( $P < 0.05$ ). The lag times were positively related to the ratio of NDS to CP ( $P < 0.05$ ), but had little correlation with the other major nutritional components of forage grass and feed. It is therefore suggested that the *in vitro* gas production characteristics depend upon the balance of non-structural carbohydrate and crude protein, and adding pastures rich in fermentable carbohydrate and/or digestible protein into low quality forage is essential and necessary to improve utilization efficiency of crude forage.

**Key words:** alfalfa hay; straw; *in vitro* fermentation; associative effect; model parameter

### 2008年第3期《草业科学》审稿专家

蔡庆生	曹致中	陈全功	柴琦	胡自治	侯扶江	李世清
李文龙	林慧龙	梁天刚	牟新待	王锁民	王彦荣	王晓娟
肖金玉	于卓	于应文	张自和	张洪荣		

承蒙以上专家对《草业科学》杂志稿件的审阅,严把质量关,特此表示衷心的感谢!