

苜蓿、沙打旺、高丹草、狼尾草和黑麦草间的组合效应研究

王志军^{1,2} 格根图¹ 高 静³ 朝鲁孟其其格² 王晓光⁴ 贾玉山^{1*}

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区草原勘察规划院,

呼和浩特 010051; 3. 内蒙古农业大学动物科学学院, 呼和浩特 010019;

4. 中国科学院内蒙古草业中心, 呼和浩特 010031)

摘 要: 本试验旨在研究苜蓿、沙打旺、高丹草、狼尾草和黑麦草间的组合效应。引入组合效应综合指数(MFAEI)以及饲养试验,以苜蓿、沙打旺2种豆科牧草和高丹草、狼尾草、黑麦草3种禾本科牧草为原料采用体外发酵的研究方法,对pH、产气量、微生物蛋白、挥发性脂肪酸、有机物体外降解率等指标进行3次重复测定,利用MFAEI对饲草进行优化组合和筛选。通过试验对比分析看出,将粗饲料进行合理搭配后,通过营养素间的互补,可显著提高粗饲料的整体发酵水平。结果表明:6种饲草配方的MFAEI从高到低依次为:B组>A组>C组>D组>F组>E组。依据MFAEI原理,从6种饲草组合筛选出2个最优组合:A组为苜蓿:沙打旺:狼尾草=40:40:20, MFAEI为1.13; B组为苜蓿:沙打旺:高丹草=40:40:20, MFAEI为1.21。

关键词: 粗饲料; 体外发酵; 组合效应; MFAEI

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2015)11-3628-08

随着我国畜牧业的转型升级,以及近年来实施的草原生态保护补助奖励机制等具有战略性的草地生态治理措施,使肉羊市场供应的主要来源开始由草原牧区为主逐步转向半农半牧区和农区的舍饲养殖为主。而农区长期形成人畜共粮、粮畜农业的生产方式,单纯追求高精料饲喂草食家畜,不仅增加了养殖成本,而且导致家畜对粗饲料的采食量和消化率下降,肉品质及肉品风味变劣。再加上我国长期饲草储备品种单一,饲草严重匮乏,饲草利用率低。因此,对饲草组合效应的研究就显得尤为重要。谭支良等^[1]、张吉鹏^[2]经过大量的研究发现,饲草间的组合确实能够产生不同程度的正负组合效应。然而大多数养殖场在配制草食家畜饲料时并没有考虑饲草间的组合效应,

尤其是当饲草间产生负组合效应时,会大大降低饲草营养价值,对动物生产性能的发挥产生极大的不利影响^[1-7]。如果有意识地利用饲草的正组合效应来提高动物对饲草料的采食量和利用率,所产生的正面经济效应则是不容忽视的。因此在家畜饲粮配制技术中应当重视饲草之间的组合效应,充分利用和发挥营养措施及非营养措施,促使最大程度的产生正组合效应,控制和消除负组合效应,最终优化饲粮的整体营养水平。本试验依据农牧交错区饲草资源分布与利用状况,研究引入组合效应综合指数(multiple-factors associative effects index, MFAEI)以及优化饲养设计,采用体外发酵的研究方法,利用MFAEI对饲草组合进行优化组合和筛选的研究,最终筛选出2个饲草组

收稿日期: 2015-05-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201850); 内蒙古中国-加拿大饲用作物试验与示范项目

作者简介: 王志军(1986—),男,黑龙江大庆人,博士研究生,研究方向为草产品加工与动物营养。E-mail: zhijunwang321@126.com

* 通信作者: 贾玉山,教授,博士生导师, E-mail: jys_nm@sina.com

合,旨在为草食家畜的优化饲养设计及饲草科学利用提供一个可靠的理论依据。将饲草间的组合效应应用于草食家畜实际生产中,不仅可以节约饲养成本,显著增加农牧民的养殖效益,还可以为我国现代肉羊发展提供技术支持,从而保障畜产品安全,缓解人畜争粮,增加经济收入,促进畜牧业发展,解决饲草料短缺,最终实现畜牧业转型升级。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验以初花期“草原 2 号”苜蓿、沙打旺、高丹草、狼尾草、黑麦草为试验原料,均于 2013 年 8 月取自内蒙古通辽市奈曼旗。按四分法从所采集的饲草样品中各取 500 g 在 105 ℃ 条件下干燥 6 h,然后经粉碎机粉碎,再通过 40 目筛,置于干燥处备用。5 种饲草营养成分见表 1。

1.2 瘤胃液供体动物

本试验选择 3 只 1.5 周岁、体重(35±1.3) kg、

健康且装有永久性瘤胃瘘管的成年绵羊作为瘤胃液的供给体。试验瘘管羊饲粮配制参照内蒙古自治区地方标准《细毛羊饲养标准》(DB15/T 30—92)。饲粮组成:青干草 65.00%,玉米 21.17%,小麦麸 5.25%,豆粕 7.00%,磷酸氢钙 0.87%,食盐 0.36%,预混料 0.35%。营养水平:干物质(DM) 85.81%,代谢能 10.33 MJ/kg,粗蛋白质(CP) 11.19%。代谢能为维持需要的 1.2 倍,精粗比为 30:70,日饲喂 2 次(08:30 和 16:00),自由饮水、常规光照。

1.3 试验设计

试验设计以饲草分级指数(grading index,GI)和饲草相对饲喂价值(relative feeding value,RFV)为基础,将苜蓿、沙打旺、高丹草、狼尾草、黑麦草 5 种饲草,初步设计出 138 种饲草组;依据 GI 最大化与成本较低的原则初步筛选出 20 种优化组合;再从 20 种饲草组合中,结合饲草的 GI 和有机物体外降解率(*in vitro* digestibility organic matter,IVDOM)的最大化及其成本的最小化,得出最终 6 种饲草组合见表 2。

表 1 5 种饲草营养成分(干物质基础)
Table 1 Nutrient components of 5 kinds of forage grass (DM basis) %

项目 Items	干物质 DM	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF
苜蓿 Alfalfa	90.00	17.10	2.30	40.50	31.50
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	88.00	13.20	2.20	44.90	34.30
高丹草 <i>Gaodan grass</i>	88.00	7.00	2.30	57.20	35.50
狼尾草 <i>Chinese pennisetum</i>	85.00	6.50	1.30	64.60	46.80
黑麦草 <i>Ryegrass</i>	90.00	9.00	3.00	58.50	34.20

表 2 混合饲草组合
Table 2 Combination of mixed forage grass %

项目 Items	A 组 Group A	B 组 Group B	C 组 Group C	D 组 Group D	E 组 Group E	F 组 Group F
苜蓿 Alfalfa	40	40	60	40	30	30
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	40	40		40	50	50
高丹草 <i>Gaodan grass</i>			40	20		
狼尾草 <i>Chinese pennisetum</i>	20					20
黑麦草 <i>Ryegrass</i>		20			20	

本次试验将 6 种饲草组合,进行体外发酵,分别取样 0.2 g 进行体外 3、6、9、12、18 和 24 h 培养,对 pH、24 h 累积产气量(gas production, GP)、微生物蛋白(microbial protein, MCP)含量、挥发性脂肪酸(volatile fatty acid, VFA)含量、IVDOM 等指标进行测定,通过所测定的指标计算出 MFAEI 进行综合评定,筛选出 2 种最佳饲草组合。

1.4 缓冲液制备

根据 Mauricio 等^[8]的方法配制缓冲液。缓冲液包括 5 部分:微量元素溶液、碳酸盐缓冲液、常量元素溶液、指示剂溶液和还原剂溶液。

1.5 体外发酵

晨饲前 2 h 从 3 只瘰管羊的瘤胃内上、中、下 3 点采集足量的瘤胃液,灌入预热到 39 ℃ 并且通入一定量 CO₂ 的保温瓶中,立即封严瓶口,迅速返回实验室经过 3 层纱布过滤,通入足量的 CO₂ 与预热到 39 ℃ 的缓冲溶液以 1:2 的比例混合,预先称取 0.2 g 样品分装到培养管(国产 100 mL 注射器)中,迅速将 30 mL 混合液分装到培养管中,排尽培养管内的空气,封严针头部分,记录初始刻度,放入恒温水浴摇床中开始培养。

试验设 1 个空白组,即无底物的混合液,每种组合设置 18 个重复,每次取出 3 个培养管。分别在培养开始后 3、6、9、12、18 和 24 h 取样。发酵结束后,迅速将注射器放入冷水浴中终止发酵,每次取 15 mL,分别装于 3 只 5 mL 的离心管中,冷冻保存,用于 pH、MCP 含量、VFA 含量的测定。将 3 个发酵终止后残留物过滤、洗涤、烘干称量后,转入烘干的坩埚于马弗炉中烘至恒重,用于测定 IVDOM。

1.6 测定指标与分析方法

1.6.1 pH 的测定

采用雷磁 25 型高精度 pH 酸度计,分别测定 3、6、9、12、18 和 24 h 的 pH,测定数据取 3 次测定结果的平均值。

1.6.2 GP 的测定

记录培养 3、6、9、12、18 和 24 h 时每个注射器活塞的位置读数(mL)。

某时间点的积累 GP=该段时间内样品的
积累 GP-该段时间空白样的积累 GP。

1.6.3 MCP 含量的测定

MCP 含量测定采用菌体蛋白质分离采用差速离心法,参照 Wang 等^[9],将其换算成每毫升混合

培养液中 CP 的毫克数。

1.6.4 VFA 含量的测定

参照 Khorasani 等^[10]气相色谱的方法测定;TVFA 含量是乙酸、丙酸、丁酸含量之和。

1.6.5 IVDOM 的测定

将发酵终止后残留物过滤、洗涤、烘干称量后,然后转入马福炉中烘至恒重。

1.7 各组饲草配方组合效应的计算

单项组合效应指数(SFAEI, %)=

(实测值-理论值)/理论值×100。

式中:实测值为实际测定的值;理论值=饲草 I 实测值×饲草 I 配比(%) + 饲草 II 实测值×饲草 II 的配比(%)。

MFAEI=SFAEI 之和(GP+MCP+VFA+IVDOM)。

1.8 数据处理

数据的前期处理均采用 Excel 2007 软件,试验数据统计采用 SAS 9.0 统计软件中的 ANOVA 进行均值的方差分析,结果表示为平均值±标准差, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 各组饲草组合体外发酵 24 h 内 pH 变化

24 h 内各时间点 pH 变化表明(表 3),6 种组合的饲草在体外发酵过程中 pH 均呈下降趋势, A 组和 B 组的下降幅度最为平缓,且二者 24 h 的 pH 差异显著($P < 0.05$),均显著高于 D 组($P < 0.05$), D 组的 pH 下降幅度最大。

2.2 各组饲草组合体外发酵 24 h 内 GP 变化

24 h 内各时间点 GP 的变化表明(表 4), B 组的 24 h 累积 GP 最高,显著高于其他各组($P < 0.05$),其次是 A 组和 D 组。A 组在前 12 h 内 GP 增加平缓,12 h 后开始快速增加, D 组则是从 9 h 后 GP 积累速度开始加快。C 组、E 组和 F 组的 24 h 内累积 GP 差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 各组饲草组合体外发酵 24 h 内 MCP 含量变化

24 h 内各时间点 MCP 含量的变化表明(表 5), B 组的 24 h MCP 含量显著高于其他各组($P < 0.05$), E 组的 24 h MCP 含量最小, A 组和 C 组的 24 h MCP 含量显著高于 D 组、F 组($P < 0.05$),但 A 组和 C 组之间、D 组和 F 组之间的 24 h MCP 含量差异不显著($P > 0.05$)。

表 3 6 组混合饲草 24 h 内 pH 变化

Table 3 The change of pH in 24 hours of 6 kinds of mixed forage grass

项目 Items	培养时间 Culture time/h					
	3	6	9	12	18	24
A 组 Group A	6.43±0.20	6.42±0.23	6.39±0.23	5.89±0.31	5.86±0.31	5.75±0.10 ^b
B 组 Group B	6.45±0.27	6.31±0.33	6.09±0.19	6.04±0.23	5.90±0.31	5.86±0.27 ^a
C 组 Group C	6.51±0.22	6.42±0.31	6.27±0.26	5.97±0.27	5.64±0.17	5.68±0.25 ^{bc}
D 组 Group D	6.44±0.24	6.07±0.04	6.04±0.16	5.92±0.49	5.68±0.14	5.63±0.62 ^c
E 组 Group E	6.43±0.06	6.14±0.29	5.80±0.06	5.74±0.08	5.72±0.24	5.70±0.17 ^{bc}
F 组 Group F	6.51±0.04	5.97±0.27	5.83±0.22	5.79±0.06	5.74±0.40	5.68±0.31 ^{bc}

同列数据肩标无字母或相同字母时表示差异不显著 ($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。表 4 至表 7 同。

In the same column, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with differences small letter superscripts mean no significant difference ($P<0.05$). The same as Table 4 to Table 7.

表 4 6 组混合饲草 24 h 内 GP 变化

Table 4 The change of gas production in 24 hours of 6 kinds of mixed forage grass

mL

项目 Items	培养时间 Culture time/h					
	3	6	9	12	18	24
A 组 Group A	45.74±0.07	57.15±0.37	70.98±0.07	115.15±0.03	160.95±0.19	188.73±0.02 ^b
B 组 Group B	56.53±0.18	66.40±0.15	103.77±0.49	148.81±0.46	171.36±0.43	192.30±0.13 ^a
C 组 Group C	39.20±0.38	61.09±0.57	87.00±0.06	122.01±0.22	153.59±0.40	179.30±0.46 ^d
D 组 Group D	41.81±0.38	65.34±0.19	108.48±0.19	151.54±0.03	165.08±0.23	184.34±0.27 ^c
E 组 Group E	43.43±0.37	83.95±0.19	96.70±0.22	116.95±0.38	153.54±0.19	178.34±0.33 ^d
F 组 Group F	41.83±0.38	70.13±0.25	98.02±0.52	118.93±0.30	159.29±0.31	179.02±0.35 ^d

表 5 6 组混合饲草 24 h 内 MCP 含量变化

Table 5 The change of MCP content in 24 hours of 6 kinds of mixed forage grass

mg/mL

项目 Items	培养时间 Culture time/h					
	3	6	9	12	18	24
A 组 Group A	107.16±0.05	159.14±0.29	166.64±0.23	178.69±0.58	202.27±0.12	223.00±0.58 ^b
B 组 Group B	136.49±0.40	113.46±0.32	168.89±0.01	218.36±0.46	225.61±0.12	235.06±0.59 ^a
C 组 Group C	127.07±0.31	123.54±0.06	189.90±0.13	233.79±0.05	229.41±0.27	223.07±0.02 ^b
D 组 Group D	111.15±0.07	157.27±0.21	172.93±0.84	182.81±0.10	199.60±0.10	214.19±0.02 ^c
E 组 Group E	104.35±0.20	125.92±0.10	159.05±1.16	186.75±0.27	202.19±0.18	208.98±0.18 ^d
F 组 Group F	94.92±0.35	115.47±0.09	164.95±0.19	193.73±0.06	200.25±0.15	215.28±0.07 ^c

2.4 各组饲草组合体外发酵 24 h 内 VFA 含量变化

24 h 内各时间点 VFA 的含量变化表明(表 6),3~9 h 各组饲草 VFA 的含量都有一个缓慢上升的趋势,9~12 h VFA 的含量急剧上升,12 h 后

A 组的 VFA 含量上升平缓,B 组则出现缓慢下降的趋势,D 组、E 组、F 组在体外发酵 18 h 后均出现缓慢下降趋势。24 h 的 VFA 含量以 B 组的 VFA 含量最高,F 组最低,各组之间均差异显著 ($P<0.05$)。

表 6 6 组混合饲草 24 h 内 VFA 含量变化

Table 6 The change of VFA content in 24 hours of 6 kinds of mixed forages grass

mmol/L

项目 Items	培养时间 Culture time/h					
	3	6	9	12	18	24
A 组 Group A	34.46±0.10	40.06±0.10	45.36±0.16	59.23±0.13	59.25±0.05	59.52±0.13 ^c
B 组 Group B	36.08±0.16	49.74±0.16	52.17±0.17	62.70±0.24	61.61±0.24	61.50±0.24 ^a
C 组 Group C	34.89±0.09	42.55±0.03	47.50±0.10	60.90±0.23	59.96±0.12	60.58±0.21 ^b
D 组 Group D	34.12±0.15	44.85±0.17	48.39±0.02	56.42±0.20	56.83±0.23	56.73±0.16 ^d
E 组 Group E	32.61±0.13	40.17±0.21	41.62±0.27	50.43±0.03	51.61±0.13	51.32±0.08 ^c
F 组 Group F	32.14±0.18	39.49±0.16	41.34±0.21	50.14±0.06	50.95±0.17	50.70±0.10 ^f

2.5 各组饲草组合体外发酵 24 h 内 IVDOM 变化

24 h 内各时间点 IVDOM 变化表明(表 7),各组饲草在 0~12 h 内 IVDOM 急剧上升,12 h 后上

升趋势开始较为平缓,24 h 时 B 组的 IVDOM 显著高于 C 组、D 组、E 组($P<0.05$);C 组、D 组、E 组之间的 IVDOM 差异不显著($P>0.05$),但是显著低于 A 组、B 组($P<0.05$)。

表 7 6 组混合饲草 24 h 内 IVDOM 变化

Table 7 The change of IVDOM in 24 hours of 6 kinds of mixed forages grass

项目 Items	培养时间 Culture time/h					
	3	6	9	12	18	24
A 组 Group A	27.07±0.15	31.73±0.36	35.61±0.38	37.91±0.33	38.20±0.25	39.12±0.19 ^a
B 组 Group B	26.91±0.31	33.44±0.44	36.25±0.58	37.00±0.15	37.45±0.20	38.34±0.44 ^{ab}
C 组 Group C	25.71±0.20	32.56±0.13	34.32±0.36	37.15±0.18	37.20±0.35	37.22±0.33 ^{cd}
D 组 Group D	26.64±0.57	32.22±0.07	34.91±0.25	36.12±0.38	36.24±0.42	36.99±0.06 ^d
E 组 Group E	25.46±0.33	35.26±0.58	35.36±0.44	36.02±0.44	36.25±0.01	36.58±0.69 ^d
F 组 Group F	26.73±0.15	30.44±0.38	33.95±0.18	37.22±0.44	37.28±0.30	38.04±0.10 ^{bc}

2.6 混合饲草组合效应值

本试验将 5 种饲草以不同比例混合,通过测定 GP、MCP、VFA、IVDOM 几个因素,根据 SFAEI 得出 MFAEI,用以评定各饲草组间的组合效应。从表 8 的结果分析可以看出,各组饲草间均发生了正组合效应。尤其以 A 组苜蓿:沙打旺:狼尾草

为 40:40:20(MFAEI:1.13)和 B 组苜蓿:沙打旺:高丹草为 40:40:20(MFAEI:1.21)这 2 组组合效应值较大,而 E 组苜蓿:沙打旺:高丹草为 30:50:20(MFAEI:0.7)最小。MFAEI 从高到低的排序依次是:B 组>A 组>C 组>D 组>F 组>E 组。

表 8 6 组混合饲草组合效应评价

Table 8 The evaluation of associate effects of 6 kinds of mixed forages grass

项目 Items	A 组 Group A	B 组 Group B	C 组 Group C	D 组 Group D	E 组 Group E	F 组 Group F
单项组合效应指数 SFAEI						
产气量 GP	0.10	0.11	0.05	0.08	0.04	0.05
有机物体外降解率 IVDOM	0.20	0.11	0.08	0.07	0.07	0.10
微生物蛋白 MCP	0.61	0.69	0.66	0.53	0.51	0.60
挥发性脂肪酸 VFA	0.22	0.30	0.26	0.19	0.08	0.07
多项组合效应综合指数 MFAEI	1.13	1.21	1.05	0.87	0.70	0.82

3 讨 论

3.1 不同饲草组合的发酵特性

草食家畜的饲料是以粗饲料为主的,反刍家畜的生产性能在很大程度上受到粗饲料在其瘤胃中分解发酵的方式和程度。瘤胃发酵可以将难以被其他动物消化吸收的纤维分解成可利用的VFA,并可利用非蛋白氮(NPN)将各种必需氨基酸合成MCP,同时还能够利用发酵产物合成各种对机体有益的B族维生素,从而提高粗饲料转化率。

瘤胃pH一定程度上能够反映瘤胃内发酵状况,过高或过低都会影响到粗饲料中纤维物质的正常消化。大量研究表明,反刍动物瘤胃pH一般在6.0~7.0。从本试验的研究结果来看,经过24 h的体外发酵,A组和B组的pH更接近6.0。在这种环境下瘤胃中大多细菌和微生物活动旺盛,饲料中的IVDOM也较高,从而延缓了pH的下降,进而说明A组和B组具有较高的能氮同步性。

饲草中所含有的可发酵有机物含量越高,微生物活性越大,GP就会越高。本试验研究结果表明B组GP最大,且显著高于其他各组,原因可能是B组营养物质丰富,蛋白质含量高。碳水化合物及CP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。因此以GP为组合效应的评定指标来看,B组和A组的GP组合效应最好。

MCP是反刍动物最主要的氮源供应者,能提供蛋白质需要量的40%~80%,其合成需要各种营养物质的供应,包括碳水化合物、维生素、微量元素及常量元素等,维持微生物生长最主要的营养物质是能量和蛋白质。MCP含量间接地反映培养体系中微生物种群的数量。GP反映的是饲料组合中可利用能量和碳水化合物的发酵,而MCP反映的是饲料组合提供微生物可利用蛋白质的能力,主要受饲料可降解氮和可发酵能平衡程度的影响。因此,单一指标虽然能从一定程度上反映组合效应,但是不全面的,只有把二者综合起来考虑才可能得到较为准确的结果。

Macrae等^[11]研究表明,在粗饲料中添加酪蛋白以增加绵羊饲料中的氨基酸供应量,其代谢能利用率可以提高12%。本试验将蛋白质含量高的豆科牧草与能量较高的禾本科牧草进行一定比例

的组合,促进了饲料间的能氮平衡,从而促使饲草间产生正组合效应,这与Sanson等^[12]的研究结果相符。A组和B组在pH、GP、MCP、VFA和IVDOM这几个指标中效果均优于其他各组。A组和B组的组合效应最好,主要是因为其快速降解部分能迅速为瘤胃微生物提供能量及蛋白质等营养物质,促进微生物的生长,进而促进了消化,并产生较好的组合效应。这一结果与Liu等^[13]的研究结果一致。

3.2 SFAEI与MFAEI

家畜饲料各组分间存在着广泛的组合效应,这对反刍动物吸收利用饲料中的营养物质及其生产性能的发挥有着不可忽视的影响。王旭等^[14]采用体外法,应用MFAEI对饲料的组合效应进行量化,取得了良好效果,表明MFAEI可很好地量化饲料间的组合效应,直接进行组合效应的大小评定。谭支良等^[1]研究认为,将饲草间的组合效应充分应用到饲料配制技术中可有效提高粗饲料的利用效率。组合饲料不仅在营养成分上要比单一牧草或秸秆的营养组成更全面更合理,在利用效率上,组合饲料也比单一饲草更加高效。将饲草进行合理组合后,不仅其营养物质的供给将更加全面、平衡,微生物的繁殖与生长也更加活跃,微生物活力也可大大提高,从而使牧草中的可发酵蛋白质和非结构性碳水化合物的体外发酵发挥更大的潜力。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^[15-17]。

4 结 论

本试验利用体外发酵法,引进MFAEI对6种组合饲草配方的组合效应进行综合评定,经全面分析比较,最终从6种饲草配方中优化筛选出2个最优组合:A组为苜蓿:沙打旺:狼尾草=40:40:20,组合为效应综合指数为1.13;B组为苜蓿:沙打旺:高丹草=40:40:20,组合为效应综合指数为1.21。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 张吉鹏.粗饲料分级指数参数的模型化及粗饲料科学搭配的组合效应研究[D].博士学位论文.呼和浩特

- 特:内蒙古农业大学,2004.
- [3] 茹彩霞.模拟瘤胃条件下苜蓿对粗饲料产气特性和发酵特性的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [4] 段志勇.反刍动物日粮中淀粉与纤维的组合效应及其机理的研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2006.
- [5] 布同良.体外产气法评定青贮玉米、羊草和苜蓿之间的组合效应[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2006.
- [6] 李申发.苜蓿、黄贮及玉米秸秆组合效应研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2007.
- [7] 张吉鹏.反刍动物秸秆基础日粮补饲苜蓿的组合效应[J].中国奶牛,2007(5):16-19.
- [8] 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(4):321-330.
- [9] WANG M Z, WANG H R, CAO H C, et al. Effects of limiting amino acids on rumen fermentation and microbial community *in vitro* [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(12):1524-1531.
- [10] KHORASANI G R, OKINE E K, KENNELLY J J. Forage source alters nutrient supply to the intestine without influencing milk yield [J]. *Journal of Dairy Science*, 1996, 79(5):862-872.
- [11] MACRAE J C, LOBLEY G E. Some factors which influence thermal energy losses during the metabolism of ruminants [J]. *Livestock Production Science*, 1982, 9(4):474-456.
- [12] SANSON D W, CLANTON D C, RUSH I G. Intake and digestion of low-quality meadow hay by steers and performance of cows on native range when fed protein supplements containing various levels of corn [J]. *Journal of Animal Science*, 1990, 68(3):595-603.
- [13] LIU J X, SUSENBETH A, SÜDEKUM 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(2):517-524.
- [14] 王旭.利用 GI 技术对粗饲料进行科学搭配及绵羊日粮配方系统优化技术的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2003.
- [15] 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.
- [16] 穆晓峰,刘顺德,阿依木古丽,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.
- [17] 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):43-46.

Research of Associative Effects of Alfalfa, *Astragalus adsurgens*, *Gaodan* Grass, Chinese Pennisetum and Ryegrass

WANG Zhijun^{1,2} GE Gentu¹ GAO Jing³ CHAO Lumengqiqige²

WANG Xiaoguang⁴ JIA Yushan^{1*}

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Inner Mongolia Autonomous Region Grassland and Planning Institute, Hohhot 010051, China; 3. College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 4. Inner Mongolia Prataculture Research Center, Chinese Academy of Sciences, Hohhot 010031, China)

Abstract: This paper aimed to study the associative effects of Alfalfa, *Astragalus adsurgens*, *Gaodan* grass, Chinese pennisetum and ryegrass. Introduced the combination of multiple-factors associative effects index (MFAEI) and feeding experiment, using two kinds of legume forage with alfalfa, *Astragalus adsurgens* and three kinds of grasses with *Sudan* grass, Chinese pennisetum and ryegrass as raw materials by the method of *in vitro* fermentation, tested the pH, gas production, microbial protein, volatile fatty acid, *in vitro* digestibility organic matter indexes determination of 3 repetitions, by the means of the MFAEI to design selection and the optimized combination. Through the test contrast analysis, with reasonable collocation of the roughage and the complementary between nutrients, the level of whole fermentation could significantly improve. The results showed that the MFAEI of six kinds of forage from high to low in turn was: group B>group C>group A>group D>group F>group E. According to the theory of MFAEI, two optimal combination from six kinds of forage combination is: group A, alfalfa :*Astragalus adsurgens* :Chinese pennisetum=40:40:20, the MFAEI is 1.13; group B, alfalfa :*Astragalus adsurgens* :*Sudan* grass=40:40:20, the MFAEI is 1.21. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(11):3628-3635]

Key words: roughages; *in vitro* fermentation; associative effects; MFAEI

* Corresponding author, professor, E-mail: jys_nm@sina.com