

“困难如潮，希望似海”。

建设现代农业产业技术体系是提高农业科技创新能力和创新效率的新思路、新机制。要以产品为单元，以产业为主线，梳理每个农产品产业链条的技术需求，解决每个环节的生产技术难题，依靠科技进步提升农业的素质、效益和竞争力。

本刊携手国家奶牛产业技术研发中心共同开办“奶牛养殖”专栏。本栏目将围绕奶业发展的需求，以详实的数据、实用的技术、朴实的文章、精美的版式，宣传现代奶牛产业技术，提高奶业科技创新能力，增强我国奶业竞争力。

本栏目由国家奶牛产业技术研发中心 协办

不同日粮组成对冬季密闭青年母牛舍碳排放影响的研究

龚飞飞¹, 胡登林¹, 刘志强², 刘恒¹, 余雄^{1*}

(1. 新疆农业大学动物科学学院, 新疆乌鲁木齐 830052;

2. 新疆天山畜牧生物工程股份有限公司, 新疆昌吉 831109)

摘要:本文研究了不同日粮组成对冬季密闭青年母牛舍碳排放的影响。试验选取1栋有100头青年母牛的牛舍,依次饲喂精粗比不同的日粮,密闭采集测定甲烷(CH₄)、氨气(NH₃)、硫化氢(H₂S)和二氧化碳(CO₂)4种气体的浓度。结果表明:随着日粮中精料比例的增加,舍内CH₄浓度呈降低趋势,各组平均浓度依次为73.58、115.83、93.60、50.18 mg/m³,各组之间差异显著(P<0.05);NH₃的平均浓度分别为2.63、2.62、5.38、4.09 mg/m³,除了A组与B组之间外,其余各组之间均差异显著(P<0.05);H₂S的各组分平均浓度分别为0.048 1、0.039 6、0.035 2、0.040 2 mg/m³,各组之间差异均不显著(P>0.05);CO₂的各组分平均浓度依次为3 696、4 061、5 847、3 162 mg/m³,C组与A组、D组之间差异显著(P<0.05)。4种气体在同一高度的浓度变化与牛舍内总浓度的变化呈现显著的相关性。得到以下结论,高精料日粮可使舍内碳排放量下降、CH₄和CO₂浓度降低;日粮蛋白质水平升高,则舍内NH₃的浓度增加。

关键词:不同日粮组成;青年母牛牛舍;碳排放

中图分类号:F326.3 **文献标识码:**A

基金项目:国家奶牛产业技术体系;科技部“十一五”科技支撑项目(2006BAD04A11-06);自治区重大专项(200731134-2)(200731135-2)

作者简介:龚飞飞(1985-),男,乌鲁木齐人,在读硕士,研究方向为反刍动物营养

* 通讯作者



建立现代奶业产业技术体系,增强我国奶业竞争力

2009年12月7日哥本哈根气候大会上,中国做出减排承诺,到2020年前,单位GDP碳强度下降40%~45%,相当于减排15亿t的CO₂,占全球减排量的1/4。所有温室气体中,CO₂的贡献最大,约占60%。CH₄作为仅次于CO₂的温室气体,对全球气候变暖的贡献约为15%~20%,但其温室效应比CO₂高20~30倍。在全球温室气体排放中,反刍动物年产CH₄约77×10¹²g,占全球家畜CH₄排放总量的97%,且牛、羊的CH₄排放量年增幅高达1%^[1]。在反刍动物瘤胃代谢过程中,瘤胃产生的CH₄是瘤胃发酵能量损失的主要原因,约有6%~15%的饲料能量以甲烷能的形式被损耗^[2]。本试验对密闭牛舍内饲喂4种不同组成日粮后,青年母牛排放的CH₄、NH₃、H₂S和CO₂浓度进行了分析,为我国碳排放的减排目标及进一步估测、调控反刍动物温室气体和NH₃、H₂S排放提供理论依据,并有助于进一步探讨奶牛日粮的最佳饲草料配比。

1 材料与方法

1.1 试验动物与时间

本试验选取新疆天山畜牧生物工程股份有限公司榆树沟镇牛场一栋青年母牛舍的100头青年母牛(其中荷斯坦牛71头,瑞士褐牛29头)作为试验对象。试验时间从2009年11月9日至2010年1月12日。

1.2 仪器设备

室内温湿度计、空气盒气压表、QDF-3热球式风速仪、CD-1型便携式大气采样器、722N可见分光光度计、DHG-9140A电热恒温鼓风干燥箱、电子秤、AL204-IC电子天平、WH-2微型旋涡混合仪、SZ-93自动双重纯水蒸馏器、Haier BCD-196F冰箱、10 mL具塞比色管、1 cm比色皿、NH₃吸收管、H₂S吸收管、滴定装置、0.5 L铝箔采样袋、GC-4000A型气相色谱仪、氢火焰离子化检测器(FID)等。

1.3 测试青年母牛舍基本情况

测试青年母牛舍为北京达尔曼农业科技发展有限公司设计,东西走向,舍长为78 m,舍宽为12.2 m,南北两侧墙高为3.1 m,圆拱式屋顶,钢屋架,屋顶采光板长77.6 m,宽2 m,屋顶高5.3 m,北侧纵墙设有宽度为1.3 m双层塑料保温隔热卷帘窗,长度为77.6 m。南侧纵墙设有宽度为1.3 m双层塑料保温隔热卷帘窗,长度为69.6 m。窗户离地面1.45 m。舍内为双列单通道结构,南北两侧各一列,水泥地面,通道宽3.2 m。采食槽为圆凹式,宽0.6 m,最深处达0.2 m。

1.4 试验日粮不同精粗比配方及饲养管理

试验日粮以混合精料(主要成分为玉米、麸皮、麦芽根、葵粕、棉粕)、玉米青贮和苜蓿干草配置A、B、C、D 4种不同精粗比例的日粮,保持该场青年母牛原始的干物质采食量(DMI)不变。其中A组日粮为原场青年母牛日粮配方,其余各组为试验设计日粮配方。A组不设预试期,B组和C组预试期为15 d,为避免突然增大精料比例给牛带来的应激,D组日粮精料从10%的基础上逐日增加原始DMI的5%,10 d后使其精料比例占整个DMI的60%,然后以此为D组日粮配方,继续饲喂9 d。各组大气采样均在正式期内连续采样3 d。试验日粮的组成和营养成分见表1。

A组和B组日粮为全混合日粮(TMR),经TMR搅拌机混匀后再由人工饲喂,C组和D组日粮不经过TMR搅拌机混匀,直接由人工进行饲喂,饲喂顺序为先粗料后精料。每天定时定量喂料3次,每天4:00、11:00、18:00喂料,牛群采食完后出牛舍到运动场,自由饮水,下午采食完到运动场自由饮水,30 min后将牛群赶回牛舍中过夜。每天下午16:00清除粪便1次。大气采样当天下午,牛群采食完毕后不赶出牛舍,22:00开始进行密闭采样。

1.5 采样及分析方法

环境质量各种参数的监测及采样点、采样办法、



表1 试验日粮的组成和营养成分(干物质基础)

项目	精粗比			
	A组 (23:77)	B组 (10:90)	C组 (10:90)	D组 (60:40)
日粮组成				
混合精料/%	23	10	10	60
玉米青贮/%	54	90	/	/
苜蓿干草/%	23	/	90	40
营养成分				
奶牛能量单位/kg	1.75	1.64	1.88	2.02
粗蛋白/%	11.75	8.15	17.28	17.74
粗脂肪/%	2.16	2.70	1.53	1.36
粗纤维/%	28.59	28.65	39.04	24.45
无氮浸出物/%	45.88	50.13	31.43	46.02
粗灰分/%	9.46	9.57	10.23	9.27
钙/%	0.54	0.50	0.34	0.75
磷/%	0.30	0.30	0.14	0.41
可消化粗蛋白/(g/kg)	72.25	50.86	108.98	110.98
干物质采食量/(kg/d)	9.77	9.77	9.77	9.77

采样高度的要求按《环境监测技术规范》执行(NY/T 388-1999),测量方法参照各测量仪器说明书。在舍内东西通道上的同一平面均匀取5个点,在垂直方向各取3个点,分别在距地面0.8、2.0 m和4.5 m的高度进行大气采样,然后计算整栋牛舍以及每个层面CH₄、NH₃、H₂S和CO₂浓度的平均值。

CH₄浓度的测定采用气相色谱仪(GC-4000 A型),氢火焰离子化检测器温度(FID):120℃;流量:氮气70 mL/min,氢气35 mL/min,空气450 mL/min;进样口温度:120℃;色谱柱温度:50℃,柱内填充60~80目GDX-502担体;CH₄标准气体浓度:6.19 mg/m³;进样量:1 mL。浓度高的样品用高纯氮气稀释50~100倍后进样测定。

1.6 数据统计方法

试验数据以平均值±标准差形式表示,采用Excel和SPSS 11.5统计软件进行单因素方差分析(ANOVA),差异显著性进行邓肯氏(Duncan's)多重比较。

2 结果与分析

2.1 饲喂不同日粮时,舍内4种气体浓度的变化情况

不同日粮时CH₄、NH₃、H₂S和CO₂浓度变化情况见表2。由表2可以看出,A、B、C、D 4种不同日粮(干物质质量守恒)饲喂青年母牛后,牛舍中的CH₄浓度分别为74、116、94、50 mg/m³,各组之间差异均显著($P<0.05$),其中A组与B组、B组与D组、C组与D组之间差异极显著($P<0.01$)。在同一高度上,4组CH₄浓度差异极显著($P<0.01$)。

舍内NH₃的浓度发生了变化,分别为2.63、2.62、5.38、4.09 mg/m³,除了A组浓度与B组浓度差异不显著外($P>0.05$),其余各组之间均差异显著($P<0.05$),其中C组与A组、C组与B组之间差异极为显著($P<0.01$)。在0.8 m和2.0 m的高度上,C组NH₃的浓度极显著高于其他3组($P<0.01$);在4.5 m的高度上,C组NH₃的浓度极显著高于A组和B组($P<0.01$),但与D组的差异不显著($P>0.05$)。

H₂S的各组平均浓度差异均不显著($P>0.05$),其浓度分别为0.048 1、0.039 6、0.035 2、0.040 2 mg/m³。在0.8 m的高度上各组差异不显著($P>0.05$),在2.0 m和4.5 m的高度上,A组浓度显著高于C组浓度($P<0.05$)。

各组CO₂的浓度也发生了变化。C组CO₂的浓度显著高于A组和D组($P<0.05$),4组的平均浓度分别为3 696、4 061、5 847、3 162 mg/m³。在同一高度上,C组的浓度极显著高于其他3组($P<0.01$)。

2.2 饲喂不同日粮时,CH₄排放量的估算

试验还随机测量了青年母牛采食过程中牛舍CH₄浓度的变化情况。根据CH₄浓度的变化情况、牛舍体积、牛舍中的风速、缝隙大小以及青年母牛睡眠、闭目、反刍的平均时间,估算了饲喂不同日粮时,平均每头青年母牛每天的CH₄排放量。

试验牛舍的总体积为4 381.3 m³,缝隙大小总计5.91 m²,平均风速为0.15 m/s,CH₄浓度的背景值为1.80 mg/m³。试验从下午18:00青年母牛进圈后开



表2 不同日粮时 CH₄、NH₃、H₂S 和 CO₂ 浓度的变化情况

mg/m³

测定指标	日粮配方	下层(0.8 m)	中层(2.0 m)	上层(4.5 m)	各组平均
CH ₄	A 组(23:77)	64.49±12.13 ^c	77.66±17.50 ^c	78.58±15.76 ^c	73.58±4.54 ^{bc}
	B 组(10:90)	103.64±12.74 ^a	119.14±18.08 ^a	124.70±18.89 ^a	115.83±17.51 ^a
	C 组(10:90)	79.22±17.52 ^{ab}	97.24±23.02 ^{ab}	104.34±13.04 ^{ab}	93.60±4.01 ^{ab}
	D 组(60:40)	45.83±5.22 ^{bd}	49.81±5.48 ^{bd}	54.89±7.14 ^{bd}	50.18±0.78 ^{cd}
	各层平均	74.09±23.85	86.72±29.22	91.72±30.26	
NH ₃	A 组(23:77)	2.79±1.25 ^{ab}	2.54±1.07 ^{bc}	2.59±0.75 ^{cd}	2.63±0.23 ^{ab}
	B 组(10:90)	2.43±1.79 ^{ab}	2.08±0.81 ^b	3.39±2.52 ^{abc}	2.62±0.51 ^{ab}
	C 组(10:90)	4.80±2.05 ^a	5.31±2.80 ^a	5.81±1.43 ^a	5.38±1.00 ^a
	D 组(60:40)	4.17±1.71 ^{ab}	3.59±1.07 ^{ab}	4.56±1.45 ^{ab}	4.09±0.70 ^{ab}
	各层平均	3.56±1.26	3.41±1.57	4.23±1.80	
H ₂ S	A 组(23:77)	0.047 0±0.025 3	0.044 6±0.013 1 ^a	0.052 5±0.037 4 ^a	0.048 1±0.015 6
	B 组(10:90)	0.038 4±0.014 2	0.043 6±0.014 2 ^{ab}	0.035 7±0.020 2 ^{ab}	0.039 6±0.013 6
	C 组(10:90)	0.039 1±0.015 2	0.033 6±0.013 0 ^b	0.032 8±0.015 4 ^b	0.035 2±0.014 4
	D 组(60:40)	0.042 3±0.010 8	0.038 4 ±0.012 8 ^{ab}	0.039 8±0.011 3 ^{ab}	0.040 2±0.003 4
	各层平均	0.041 7±0.012 9	0.040 2±0.009 4	0.040 4±0.016 2	
CO ₂	A 组(23:77)	3 827±1 624 ^{ab}	4 206±1 027 ^{ab}	3 124±1 003 ^{abc}	3 696±935 ^b
	B 组(10:90)	4 538±996 ^{ab}	3 906±702 ^{ab}	3 817±940 ^{ab}	4 061±463 ^{ab}
	C 组(10:90)	6 555±1 364 ^a	5 875±1 374 ^a	4 892±1 090 ^a	5 847±1 150 ^a
	D 组(60:40)	3 594±1 067 ^{ab}	3 555±1 276 ^{ab}	2 338±958 ^{cd}	3 162±1 117 ^b
	各层平均	3 565±1 116	4 421±1 335	4 557±1 710	

注:同列数字肩注不同大写字母表示差异极显著(P<0.01),不同小写字母表示差异显著(P<0.05),表中数据为平均值±标准差

始,立即定量饲喂 A 组日粮,每隔 15 min 采集一次 CH₄ 气体,连续密闭采集 8 h,绘出图 1 所示的曲线。

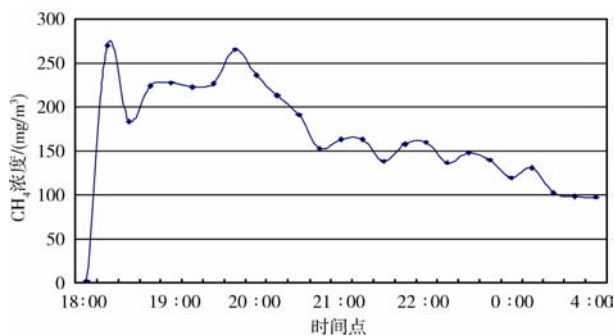


图 1 CH₄ 浓度随采食前后时间的变化

由图 1 可知,前 15 min 内,牛舍内的 CH₄ 浓度迅速升高,这是由于这些青年母牛瘤胃内残留有大

量 CH₄ 气体,进食后,草料将气体挤出瘤胃。在接下来的采食过程中,青年母牛排放量较少或不再排放 CH₄ 气体,原先舍内的 CH₄ 气体会从牛舍四周缓缓逸出,从而导致了舍内 CH₄ 浓度的下降。大约在 19:15 采食结束,19:45 约有 10% 的青年母牛开始反刍,随着时间的推移,反刍的青年母牛越来越多,在 20:45 达到反刍顶峰。从 22:15 开始,有大约 5% 的青年母牛开始睡眠或闭目,到 0:00,大约有 60% 的青年母牛进入睡眠或闭目状态,反刍的青年母牛越来越少。根据以上数据,可以估算出饲喂 9.77 kg 日粮(以干物质计),其中混合精料:玉米青贮:苜蓿干草=23:54:23,每头青年母牛每天可以排放 153.6 g 的 CH₄ 气体。饲喂 B 组、C 组和 D 组日粮,每头青年母牛每天的 CH₄ 排放量分别为 247.7、230.8、105.0 g。



3 讨论

3.1 不同饲草料类型对瘤胃 CH₄ 生成量的影响

A、B、C、D 4 种不同饲草料饲喂青年母牛后, 各组平均每头青年母牛日排放 CH₄ 153.6、247.7、230.8、105.0 g。饲喂 90% 的玉米青贮日粮和 90% 的苜蓿干草日粮后, CH₄ 生成量分别比 A 组 (23:77 玉米青贮和苜蓿干草) 生成量增加了 61.3% 和 50.3%, 而饲喂 60% 的苜蓿干草日粮后, 其 CH₄ 生成量分别比 A 组生成量减少了 31.6%。说明日粮组成对瘤胃中乙酸与丙酸的比例有一定的影响。当饲喂以粗饲料为主的日粮时, 瘤胃中乙酸的含量有所提高; 当增加日粮中精料的比例时, 瘤胃中丙酸的含量增加, 丙酸与甲烷的生成之间呈负相关。

3.2 不同饲草料类型对舍内 NH₃、H₂S 浓度的影响

4 种不同种类饲草料饲喂青年母牛后, 牛舍内 NH₃ 的平均浓度除了 A 组与 B 组之间差异不显著外 ($P>0.05$), 其余各组之间均差异显著 ($P<0.05$)。从表 1 计算得出, 4 种日粮中粗蛋白的含量分别为 1 148、796、1 688、1 733 g。根据《奶牛饲养标准》(NY/T 34-2004), 一头 500 kg、日增重 600 g 的生长母牛每天对可消化粗蛋白的需要量为 463 g。日粮粗蛋白高于青年母牛需要量, 导致了密闭牛舍内 NH₃ 浓度的上升。D 组日粮中粗蛋白含量略高于 C 组, 但是牛舍内 NH₃ 的平均浓度却比 C 组低, 这是由基础日粮类型不同所导致的。基础日粮类型对被测饲料的粗蛋白瘤胃降解率有明显影响, 被测饲料的降解率在青粗饲料为基础日粮条件下的降解率较高, 但在精饲料为基础日粮条件下则较低^[3]。C 组日粮中 90% 为苜蓿干草, 粗蛋白的降解率高, 而 D 组日粮中苜蓿干草只占 40%, 粗蛋白的降解率比前者低, 所以排出体外的氨和尿素也比前者低, 因此牛舍内 NH₃ 的平均浓度比 C 组低。H₂S 的各组平均浓度差异均不显著 ($P>0.05$), 这说明日粮不同种类饲草料对 H₂S 的排放量影响不大。

3.3 不同饲草料类型对舍内 CO₂ 浓度的影响

C 组 CO₂ 的浓度显著高于 A 组和 D 组 ($P>0.05$)。目前发现的产甲烷菌在合成甲烷的途径中, 以乙酸为底物的占 CH₄ 合成的 70% 以上^[4-5], 以氢和 CO₂ 为底物的 CH₄ 合成的占 30%。也就是说, 除呼吸代谢排出的 CO₂ 外, 瘤胃中的乙酸发酵导致了牛舍中 CO₂ 浓度的增加。这与史海山^[6]等研究的结论一致, 表明了 CH₄ 的排放量与 CO₂ 的排放量表现出显著的相关性。

3.4 饲喂不同饲草料类型的日粮时, 各种气体在同一高度的变化情况

饲喂不同饲草料类型的日粮时, 4 种气体在同一高度的浓度变化与牛舍内总浓度的变化呈现显著的相关性。

4 结论

青年母牛采食 90% 的玉米青贮日粮和 90% 的苜蓿干草日粮后, 密闭牛舍内 CH₄ 和 CO₂ 的浓度显著上升, 而饲喂高精料日粮后, 这两种气体的浓度明显下降。日粮蛋白质水平升高, 则舍内 NH₃ 的浓度会增加。在不同高度上, CH₄ 和 CO₂ 的浓度变化与这 2 种气体与空气之间的比重有关。▲

参考文献

- [1] Jounary A R, Newbold J. Methane product by ruminants: its contribution to global warming[J]. *Ann Zootech*, 2000, 49: 231-253.
- [2] Johnson K A, Huylar M T, West berg H H, et al. Measurement of methane emission from ruminant livestock using SF₆ tracer technique[J]. *Environ Sci Technol*, 1994, 28: 359-362.
- [3] Ørskov E R, McDonald I. The estimation of protein degradation in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage[J]. *Agric Sci Camb*, 1979, 92: 499-503.
- [4] McCarty P L, Smith D P. *Anaerobic Wastewater Treatment*[J]. *Environ Sci Technol*, 1986, 20(12): 1200-1206.
- [5] Harper S R, Pohland F G. Recent developments in hydrogen management during anaerobic biological wastewater treatment [J]. *Biotech Bioeng*, 1986, (28): 585-602.
- [6] 史海山, 丁学智, 龙瑞军, 等. 舍饲绵羊甲烷和二氧化碳的日排放动态[J]. *生态学报*, 2008, 28(2): 879.

