

包被尿素与蒸汽压片玉米组合对活体外瘤胃 氨氮释放和发酵参数的影响

辛杭书^{1,2} 任丽萍^{1,2} 孙长勉^{1,2} E. A. Dirk³ 刘庆平⁴ 孟庆翔^{1,2}

(1. 动物营养学国家重点实验室, 北京 100094; 2. 中国农业大学 动物科学技术学院/ 肉牛研究中心, 北京 100094;
3. 美国兰科矿物质公司, 弗吉尼亚 23842; 4. 国际原料公司, 佛罗里达 33569)

摘要 选用包被尿素、普通尿素(负对照)和大豆分离蛋白(正对照)作为氮源,普通玉米(对照)和蒸汽压片玉米作为碳源,采用 2 × 3 因子试验设计,利用活体外人工瘤胃产气法,研究包被尿素与蒸汽压片玉米组合对活体外瘤胃氨氮释放速度和发酵参数的影响。结果表明:在瘤胃发酵 1 ~ 8 h 期间,无论基于哪种碳源,包被尿素处理的 NH₃-N 值比普通尿素处理降低 11.1% ~ 17.1% ($P < 0.001$),也低于大豆分离蛋白处理;蒸汽压片玉米处理的氨氮释放速度比对照组降低 3.3% ~ 13.7% ($P < 0.001$);并在发酵前 4 h 中,有显著交互效应 ($P < 0.05$)。蒸汽压片玉米处理的产气速度显著高于对照 (0.1104 h^{-1} , 0.1226 h^{-1} , $P < 0.001$),大豆分离蛋白的 24 h 干物质消化率为 73.13%,显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。普通玉米(对照)组的总挥发酸产量(101.33 mmol/L, 96.69 mmol/L)和丁酸摩尔分数(13.58%, 12.69%)显著高于蒸汽压片玉米处理组 ($P < 0.05$),而处理组的丙酸摩尔分数(22.11%, 21.68%)显著高于对照组 ($P < 0.05$)。不同氮源与碳源的总挥发酸产量存在显著的交互效应 ($P < 0.05$)。试验结果表明:包被尿素与蒸汽压片玉米组合可以显著减缓瘤胃氨氮释放速度,而对 72 h 产气量及其他发酵参数没有明显影响。

关键词 包被尿素; 蒸汽压片玉米; 活体外瘤胃发酵; 氨氮释放; 发酵参数

中图分类号 S 816.5; S 823

文章编号 1007-4333(2007)03-0041-05

文献标识码 A

Effect of combination of coated urea and steam-flaked corn grains on ruminal ammonia release and fermentation traits in vitro

Xin Hangshu^{1,2}, Ren Liping^{1,2}, Sun Changmian^{1,2}, E. A. Dirk³, Liu Qingping⁴, Meng Qingxiang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Beijing 100094, China; 2. College of Animal Science and Technology, Beef Cattle Research Center, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 3. Granco Minerals Inc., Virginia 23842, U. S. A.; 4. International Ingredient Corp., Florida 33569, U. S. A.)

Abstract An in vitro study was conducted to investigate the effect of combination of coated urea and steamflaked corn grains on ruminal ammonia release and fermentation traits in a 2 × 3 factorial experiment. Regular urea (negative control), isolated soybean protein (ISP; positive control) and coated urea were used as nitrogen sources, and typical corn (control) and steamflaked corn grains were used as carbon sources. The results showed that NH₃-N concentrations of coated urea during 1 - 8 h of fermentation were much lower (by 11.1% - 17.1%) than those of regular urea ($P < 0.001$), irrespective of carbon source. Steamflaked corn grains also had lower (3.3% - 13.7%) concentrations of NH₃-N than typical corn grains ($P < 0.001$) and there was a significant ($P < 0.05$) interaction between nitrogen and carbon sources during the first 4 h of fermentation. The rate of gas production of steamflaked corn grains was faster (0.1104 h^{-1} , 0.1226 h^{-1} ; $P < 0.001$) than typical corn grains and ISP nitrogen source had the greatest DM digestibility (73.13%, $P < 0.05$). Typical corn grains had higher total VFA production (101.33 mmol/L, 96.69 mmol/L) and butyrate molar proportion (13.58%, 12.69%) and lower propionate molar proportion (22.11%, 21.68%; $P < 0.05$)

收稿日期: 2006-11-28

基金项目: 农业部 948 项目资助(2003-Z77)

作者简介: 辛杭书, 博士研究生, E-mail: xinhangshu@163.com; 孟庆翔, 教授, 博士生导师, 通讯作者, 主要从事反刍动物营养研究, E-mail: qxmeng@cau.edu.cn

than steam-flaked corn grains after 24 h ruminal fermentation. The interaction effect of nitrogen and carbon sources on total ruminal VFA production was significant ($P < 0.05$). It was concluded that the combination of coated urea and steam-flaked corn grains could slow ruminal ammonia release but would not affect 72 h gas production and other ruminal fermentation traits.

Key words coated urea; steam-flaked corn; in vitro rumen fermentation; $\text{NH}_3\text{-N}$ release

蛋白质饲料缺乏是全球畜牧业发展面临的重要挑战,因此蛋白质饲料资源及其替代品的开发具有重要意义。反刍动物具有独特的瘤胃微生物区系,可以利用非蛋白氮(NPN)合成微生物蛋白。尿素是生产中常用的NPN产品,但当直接将其饲喂给动物时,其释放速度快、利用率低,使用不当易引起中毒,因此限制了其广泛应用。多年来,众多学者寻找各种方法诸如尿素添加青贮饲料、氨化秸秆、糊化尿素等来减慢氨释放的速度,但都没有取得满意的效果。这些方法虽然在不同程度上减慢了尿素释放氨的速度,但依然存在适口性差、氨味重、易吸潮等缺点,所以仍没有提高氨的利用率。包被尿素运用特定技术,用特殊材料将尿素颗粒严密包裹,克服了以往NPN产品的不足,应用于肉牛和奶牛日粮中,取得了一定的效果^[1-3]。

大量研究表明,在体外发酵中,只有碳水化合物供应充足,尿素的利用率才会提高,即达到瘤胃内的“能氮”平衡。蒸汽压片玉米以其高能特性已经广泛应用于反刍动物饲料中^[4-5],它可以提高奶牛的产奶净能,从而提高产奶量^[6-7]。也有研究表明,蒸汽压片玉米可以影响动物机体的氮代谢,增加机体尿素再循环的次数,增强乳腺组织对 α -氨基酸氮的摄入^[8]。但是,蒸汽压片玉米与NPN产品的结合能否有利于碳氮的同步化供给以及对反刍动物瘤胃发酵有何影响尚未见报道。

尿素在我国反刍动物中的使用比较普遍,其供应充足,同时谷物蒸汽压片技术也渐趋成熟。为了更加合理地利用资源,本试验旨在探讨包被尿素与蒸汽压片玉米组合对瘤胃氨氮释放和发酵参数的影响,为包被尿素及蒸汽压片玉米在反刍动物饲养中的有效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源

普通玉米与蒸汽压片玉米均采自河北凯特饲料厂,二者均为当地玉米,用锤片式粉碎机粗粉碎(孔径约为2.0 mm)后再用旋风磨(1.0 mm)进一步细

粉碎,置于塑料封口袋中供下一步组分分析及配料使用。普通尿素为化学纯,包被尿素为美国 Granco 公司提供。

1.2 样品准备及试验设计

参考美国 NRC 肉牛营养需要^[9],根据由氮素自动分析仪(Rapid N, Elementar, Germany)测定的每种原料的蛋白质含量(表1)配制成蛋白质为12.5%(干物质基础)的半纯合等氮日粮,以普通玉米(对照)和蒸汽压片玉米作为碳源,普通尿素(负对照),包被尿素和大豆分离蛋白(正对照)作为氮源,采用2(碳源)×3(氮源)因子试验设计,每种日粮设3个平行,整个试验重复2次。

表1 日粮原料(干物质)粗蛋白含量

Table 1 Protein content of raw materials %

质量分数			粗蛋白当量	
普通玉米	蒸汽压片玉米	大豆分离蛋白	普通尿素	包被尿素
9.38	9.38	88.17	291.91	265.20

注:粗蛋白当量=氮的质量分数×6.25。

1.3 活体外发酵

1)活体外人工瘤胃产气量测定。采用 Menke 等^[10]的活体外产气法进行体外试验。将0.200 0 g处理的试验日粮放入100 mL人工瘤胃培养管(德国 H.berle 公司,有效体积100 mL,最小分度1 mL)中,39℃预热。于晨饲前通过瘤胃瘘管分别采集4头试验牛的瘤胃内容物,等体积混合后,以4层纱布过滤,并迅速加入装有经 CO_2 饱和并预热39℃的缓冲液中,配制成混合培养液(瘤胃液与缓冲液配比为1:2)。用自动加液器向各培养管加入30 mL混合培养液,迅速放入已预热(39℃)的活体外人工瘤胃培养箱中培养(为测定氨氮而取样时,在培养管里加入0.37 g日粮和50 mL瘤胃液,以降低取样过程中样品和瘤胃液的相对大量减少对发酵产生的影响),分别记录培养1、2、3、4、5、6、8、10、12、16、20、24、28、32、36、40、44、48、56、64和72 h各培养管活塞的刻度值(mL)。

2)主要检测指标及分析方法。分别在0、1、2、

4、6、8、12、18 和 24 h 取发酵液,离心后 -20 ℃ 下冷冻,供 NH₃-N 的测定,并测定 24 h 的挥发性脂肪酸(VFA)含量和干物质消化率。其中 NH₃-N 测定采用 Broderick 和 Kang^[11]的方法;VFA 含量采用 3420 气相色谱仪(北京分析仪器厂)进行分析。色谱条件:PEG-20M + H₃PO₄ 玻璃填充柱,2 m × 6 mm × 2 mm,柱温 145 ℃,载气为氮气,流速 30 mL/min, FID 检测器,温度 200 ℃。进样口温度 200 ℃,进样量 0.6 μL;干物质测定采用《饲料水分的测定方法》(GB/T 6435-86)。

1.4 统计处理

采用 SAS 统计软件进行两因子方差分析^[12],计算 0.200 0 g 日粮 DM 活体外净产气量(72 h),并根据数学模型 $GP = B \times (1 - \exp(-c \times t))$,利用 SAS(1996)统计软件中 NON-LINEAR 方法计算样本的动态产气参数,式中:GP 为 t 时间点 0.200 0 g 底物 DM 的产气量, mL; B 为 0.200 0 g 底物 DM 的理论最大产气量, mL; c 为样本产气速度, h⁻¹; t 为活体外培养时间, h。

2 结果与讨论

2.1 不同种类氮源和碳源组合对活体外瘤胃氨氮释放动态的影响

表 2 列出活体外发酵 0~24 h 氨氮质量浓度变化情况。可以看出,不同种类氮源对氨氮释放速度

的影响极显著 ($P < 0.001$),其中包被尿素组在各个时间点的氨氮质量浓度明显低于其他处理组。在 1~8 h 之间,其氨氮质量浓度比普通尿素组降低 11.1%~17.1%,也稍低于大豆分离蛋白组;在 8 h 时,普通尿素组的氨氮质量浓度开始升高,说明此时微生物开始发生自身裂解产生含氮物质,而大豆分离蛋白和包被尿素组氨氮质量浓度开始升高的时刻均在 12 h。瘤胃氨氮质量浓度的变化反映了微生物对氮的利用效率。就普通尿素而言,微生物对大豆分离蛋白和包被尿素的利用时间延长,利用效率有明显的提高;而作为碳源供给物的 2 种玉米,在微生物发酵的前 12 h 中,蒸汽压片玉米极显著地降低了瘤胃内氨氮的释放速度 ($P < 0.001$),说明蒸汽压片玉米与不同氮源的组合,其同步化程度高于普通玉米的各种组合。Crocker 等^[13]的研究发现,与干碾压玉米相比,蒸汽压片玉米降低了瘤胃氨氮质量浓度;Plascencia 等^[14]也有类似报道,蒸汽压片玉米提高了瘤胃氮的利用效率,促进了微生物蛋白的合成。这可能是由于蒸汽压片使玉米颗粒的蛋白质结构发生了破坏,而在糊化淀粉提供的高能量条件下,更加促进了微生物对营养物质的利用。在连续发酵的前 4 h 中,氮源与碳源间存在互作效应,且差异显著 ($P < 0.05$)。这进一步说明饲料中能量与氮素供应的同步化对瘤胃发酵具有很大影响,蒸汽压片玉米与包被尿素的组合具有最低的氨氮释放速度。

表 2 不同氮源与碳源组合日粮活体外发酵氨氮质量浓度的动态变化

Table 2 Changes in concentrations of NH₃-N in different combination diets *in vitro* after 24 h fermentation

培养时间/h	氮 源			SEM	碳 源			P		
	普通尿素	大豆蛋白	包被尿素		普通玉米	压片玉米	SEM	氮源 × 碳源		
								氮源	碳源	氮 × 碳
0	12.14 a	11.32 b	11.17 b	0.133 3	11.42	11.66	0.108 8	<0.001	0.144	0.021
1	12.87 a	12.26 b	10.97 c	0.118 1	12.58 a	11.48 b	0.096 4	<0.001	<0.001	<0.001
2	12.31 a	11.40 b	10.94 c	0.068 3	11.74 a	11.35 b	0.055 7	<0.001	<0.001	0.003
4	11.27 a	10.35 b	9.34 c	0.095 1	11.08 a	9.56 b	0.077 7	<0.001	<0.001	<0.001
6	10.35 a	9.68 b	9.18 c	0.151 2	10.21 a	9.27 b	0.123 4	0.001	<0.001	0.634
8	10.65 a	9.32 b	8.95 c	0.104 2	10.21 a	9.07 b	0.085 0	<0.001	<0.001	0.319
12	12.36 a	11.76 b	11.26 c	0.108 7	12.02 a	11.57 b	0.088 7	<0.001	0.004	0.400
18	13.67 a	13.63 a	13.48 b	0.037 4	13.56	13.63	0.030 5	0.009	0.150	0.367
24	13.80 a	13.79 a	13.76 b	0.007 0	13.79	13.78	0.005 7	0.012	0.709	0.318

注:同行平均数具有不同字母者差异显著 ($P < 0.05$),下同。

图 1 示出普通玉米及蒸汽压片玉米与不同氮源处理组氨氮质量浓度变化趋势。可以明显看出,每种饲料组合的氨氮质量浓度都先达到最低,然后逐渐上升,这主要是饲料中所剩氮源不足而使瘤胃微

生物自身发生裂解所致。

2.2 不同种类氮源和碳源组合对活体外发酵动态产气参数和干物质消化率的影响

将各个处理日粮组产气量数据拟合非线性回归

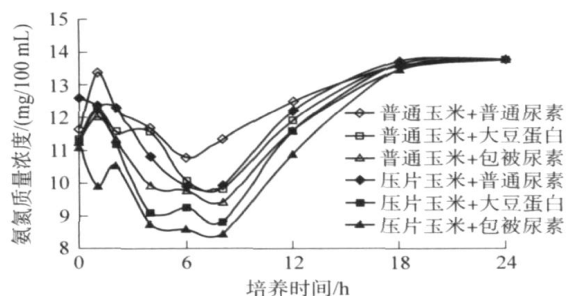


图1 基于普通玉米和蒸汽压片玉米日粮的不同氮源体外发酵氨氮质量浓度的动态变化

Fig. 1 Changes in concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ in a typical corn-based diet and steam-flaked corn during *in vitro* fermentation

方程,得出的72 h总产气量和各发酵参数见表3,可以看出各处理组间差异不显著($P > 0.05$)。3种氮源处理组的72 h总产气量均在80 mL左右,产气速

度也几乎没有差别;蒸汽压片玉米组的产气量虽然仅比普通玉米组高1.6 mL,但其产气速度显著高于普通玉米($P < 0.0001$)。将12 h产气量数据进行拟合,发现蒸汽压片玉米的产气量显著高于普通玉米(49.97 mL, 48.21 mL, $P = 0.04$)。有研究证实,提高瘤胃中碳水化合物的消化率可以显著影响氮的代谢^[15]。本试验发现,蒸汽压片玉米消化率的提高与其氨氮质量浓度的降低(表2)的趋势相一致,促进了瘤胃中碳氮的供给同步化。DePeter^[16]用产气量法比较整粒玉米和蒸汽压片玉米的体外发酵参数发现,虽然两者24和72 h的产气量没有差异,但是蒸汽压片玉米8 h时的产气量明显高于整粒玉米。这与本试验结果相吻合,说明蒸汽压片在很大程度上提高了玉米在动物机体内的消化速率,且理论估计的最大产气量也接近72 h实际产气量。

表3 不同氮源和碳源组合的日粮活体外产气动态参数及发酵参数

Table 3 Effect of different combination diets on the kinetics of *in vitro* gas production and fermentation traits

指标	氮源			SEM	碳源		SEM	P		
	普通尿素	大豆蛋白	包被尿素		普通玉米	压片玉米		氮源	碳源	氮×碳
72 h产气量/mL	80.0	79.6	79.8	1.099 9	79.0	80.6	0.898 1	0.963 4	0.235 2	0.573 4
最大产气量/mL	78.8	78.4	78.6	1.090 1	78.2	79.0	0.890 1	0.972 0	0.509 2	0.642 3
产气速度/ h^{-1}	0.117 4	0.116 2	0.115 9	0.001 6	0.110 4 b	0.122 6 a	0.001 3	0.788 6	<0.00 1	0.548 9
干物质消化率/%	71.10 b	73.13 a	71.15 b	0.384 8	71.78	71.80	0.314 2	0.003 9	0.956 4	0.677 9
pH	6.40	6.37	6.37	0.013 4	6.38	6.38	0.011 0	0.213 8	0.833 5	0.872 1
总挥发酸浓度/(mmol/L)	94.68 b	100.79 a	101.55 a	1.517 3	101.33 a	96.69 b	1.238 8	0.035 2	0.038 0	0.047 0
乙酸摩尔分数/%	59.35	59.36	59.23	0.162 5	59.11	59.52	0.132 7	0.813 3	0.070 4	0.955 3
丙酸摩尔分数/%	21.71	21.84	22.13	0.121 0	21.68 b	22.11 a	0.098 8	0.117 1	0.021 4	0.382 5
异丁酸摩尔分数/%	1.50	1.41	1.40	0.090 5	1.39	1.49	0.073 9	0.689 2	0.377 7	0.493 0
丁酸摩尔分数/%	13.33	12.99	13.08	0.085 5	13.58 a	12.69 b	0.069 8	0.070 1	0.000 1	0.811 3
异戊酸摩尔分数/%	2.66	2.96	2.80	0.115 3	2.80	2.82	0.094 2	0.259 6	0.886 1	0.557 9
戊酸摩尔分数/%	1.43	1.44	1.36	0.032 5	1.44	1.38	0.026 5	0.210 7	0.119 4	0.637 7
乙酸与丙酸摩尔比	2.73	2.72	2.68	0.017 9	2.73	2.69	0.014 6	0.143 3	0.143 6	0.430 0

与大豆分离蛋白组相比,普通尿素和包被尿素组的24 h干物质消化率降低($P = 0.004$),这可能是由于真蛋白的添加促进了碳水化合物的消化,有利于碳氮供给的同步化,从而提高了消化率。蒸汽压片玉米24 h的干物质消化率与普通玉米相近,所有碳源与氮源的组合均没有显著互作效应($P > 0.05$)。

2.3 不同种类氮源和碳源组合对活体外瘤胃pH和VFA的影响

表3同时示出普通尿素、大豆分离蛋白和包被尿素与不同加工方法玉米的组合对活体外瘤胃发酵参数的影响结果。可以看出,除了普通尿素组总挥

发酸含量低于其他2种氮源组外,不同氮源对其他发酵参数的影响并不显著($P > 0.05$),碳氮的组合不存在显著互作关系($P > 0.05$),这可能是由于瘤胃发酵主要受碳水化合物的影响,而受氮源的影响较小。不同碳源对瘤胃发酵的pH没有影响,这与Plascencia等^[14]、Joy等^[17]的结论相一致;而蒸汽压片玉米组的总挥发酸和丁酸的产量低于普通玉米($P < 0.05$),与Corona等^[18]报道的蒸汽压片玉米丁酸产量低于干碾压玉米和粉碎玉米的结果相一致。Lee的研究结果也表明^[19],蒸汽压片玉米的总挥发酸产量稍低于细粉碎的普通玉米。在不同氮源处理

中,普通尿素组的总挥发酸产量少于其他2组,反映出大豆蛋白和包被尿素能够促进瘤胃微生物对玉米的发酵,并且碳源和碳氮之间存在着互作关系($P < 0.05$)。蒸汽压片玉米组瘤胃丙酸摩尔比提高($P < 0.05$),这与Lee等^[19]通过体外法研究得出的蒸汽压片玉米具有最高的丙酸摩尔比的结论相一致, Joy^[17]和DePeter^[16]等也得出相同的结论。这是由于蒸汽压片技术提高了玉米淀粉的糊化度,使其在瘤胃内的降解速度加快,能量物质丙酸产量增加,从而提高了能量的利用率。其他挥发酸的摩尔比以及乙酸与丙酸摩尔比基本上不受碳氮来源的影响。

3 结论

将包被尿素作为氮源添加到日粮中,可以显著降低活体外瘤胃氨氮释放速度,其中在发酵的前8h内,其氨氮质量浓度比普通尿素处理降低11.1%~17.1%,也稍低于大豆分离蛋白处理。蒸汽压片玉米作为碳源对瘤胃氨氮的释放速度具有一定的缓解作用。包被尿素和蒸汽压片玉米组合可以在很大程度上提高瘤胃微生物对氨氮的利用率,有利于“能氮”供给的同步化。虽然本试验中大豆分离蛋白表现出较好的添加效果,但由于成本高,可能会限制其在实际生产中的应用。相比较而言,包被尿素具有较好的缓解氨氮释放的效果,具有广泛应用于实际生产的潜力。

参 考 文 献

- [1] 高巍中,王晶,王历宽,等. 育肥奶公牛日粮中添加包衣缓释尿素研究[J]. 中国饲料, 2000(6): 5-6
- [2] 张敏,常志强,臧延青,等. 玉米糖包被尿素在肉牛生产上的应用效果[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(6): 86-90
- [3] Galo E, Emanuele S M, Sniffen C J, et al. Effects of a polymer-coated urea product on nitrogen metabolism in lactating Holstein dairy cattle[J]. J Dairy Sci, 2003, 86: 2154-2162
- [4] Sindt J J, Drouillard J S, Montgomery S P, et al. Factors influencing characteristics of steam-flaked corn and utilization by finishing cattle[J]. J Anim Sci, 2006, 84: 154-161
- [5] 王松,王永康,金德华,等. 不同泌乳期高产奶牛对蒸汽压片玉米饲喂的反应[J]. 乳业科学与技术, 2007(1): 36-38
- [6] Dhiman T R, Zaman M S, MacQueen I S, et al. Influence of corn processing and frequency of feeding on cow performance[J]. J Dairy Sci, 2002, 85: 217-226
- [7] Yu P, Huber J T, Santos F A, et al. Effects of ground, steamflaked, and steamrolled corn grains on performance of lactating cows[J]. J Dairy Sci, 1998, 81: 777-783
- [8] Delgado-Elorduy A, Theurer C B, Huber J T, et al. Splanchnic and mammary nitrogen metabolism by dairy cows fed steamrolled or steamflaked corn[J]. J Dairy Sci, 2002, 85: 160-168
- [9] NRC. Nutrient requirements of beef cattle[M]. 7th ed. Washington D C: National Academy Press, 1996
- [10] 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]. J Agric Sci (Camb), 1979, 93: 217-222
- [11] Broderick G A, Kang J H. Automated simultaneous determination of ammonia and amino acids in ruminal fluids and in vitro media[J]. J Dairy Sci, 1980, 63(1): 64-75
- [12] SAS Institute. Use 's guide: statistics[M]. Version 6 editions. Inc, Cary, N. C: SAS Institute, 1996: 17
- [13] Crocker L M, Depeters E J, Fadel J G, et al. Influence of processed corn grain in diets of dairy cows on digestion of nutrient and milk composition [J]. J Dairy Sci, 1998, 81: 2394-2407
- [14] Plascencia A, Zinn R A. Influence of flake density on the feeding value of steamprocessed corn in diets for lactating cows[J]. J Anim Sci, 1996, 74: 310-316
- [15] Leng R A, Nolan J V. Nitrogen metabolism in the rumen[J]. J Dairy Sci, 1984, 67: 1072-1089
- [16] DePeters E J, Getachew G, Fadel J G, et al. *In vitro* gas production as a method to compare fermentation characteristics of steamflaked corn[J]. Anim Feed Sci Tech, 2003, 105: 109-122
- [17] Joy M T, Depeters E J, Fadel J G, et al. Effect of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows[J]. J Dairy Sci, 1997, 80: 2087-2097
- [18] Corona L S, Rodriguez R A, Ware R A, et al. Comparative effects of whole, ground, dry-rolled, and steamflaked corn on digestion and growth performance in feedlot cattle[J]. The Prof Anim Scientist, 2005, 21: 200-206
- [19] Lee S Y, Kim W Y, Ko J Y, et al. Effects of corn processing on *in vitro* and *in situ* digestion of corn grain in Holstein steers[J]. Asian-Aust J Anim Sci, 2002, 15(6): 851-858