

康乃尔净碳水化合物蛋白质系统评价常用饲料 碳水化合物和蛋白质瘤胃降解

薛红枫^{1,2} 任丽萍^{1,2} 周振明^{1,2} 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 动物科技学院/肉牛研究中心, 北京 100094)

摘要 为探讨采用康乃尔净碳水化合物蛋白质系统评价中国肉牛饲料碳水化合物和蛋白质瘤胃降解的可行性, 以装有永久性瘤胃瘘管的西门塔尔 × 本地黄牛杂交阉牛为试验动物, 采用尼龙袋法对 8 种常用肉牛饲料, 包括粗饲料(苜蓿干草、玉米青贮、羊草和小麦秸)、能量饲料(玉米、大麦和麸皮)和蛋白质饲料(豆粕)的瘤胃降解率进行了实际测定, 并用康乃尔净碳水化合物蛋白质系统进行评价。结果表明: 能量饲料和粗饲料总碳水化合物含量平均值都高于蛋白质饲料; 能量饲料和蛋白质饲料的总可消化养分含量、干物质和碳水化合物组分 B1 的潜在降解率和有效降解率都高于粗饲料; 8 种饲料干物质有效降解率与碳水化合物组分 B1 的有效降解率呈高的正相关 ($r = 0.9574$), 粗蛋白的有效降解率与中性洗涤不溶蛋白质的有效降解率及其含量都呈高的负相关, r 分别为 0.8836 和 0.8515。康乃尔净碳水化合物蛋白质系统评价中国肉牛饲料碳水化合物和蛋白质瘤胃降解具有一定的可行性。

关键词 康乃尔净碳水化合物蛋白质系统; 碳水化合物; 蛋白质; 瘤胃; 饲料; 降解

中图分类号 S 816.2

文章编号 1007-4333(2007)01-0045-06

文献标识码 A

A evaluation for rumen degradability of carbohydrate and protein in common feedstuffs by CNCPS

Xue Hongfeng^{1,2}, Ren Liping^{1,2}, Zhou Zhenming^{1,2}, 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)

Abstract To discuss the feasibility of evaluation of rumen degradability of carbohydrate and protein in Chinese feedstuffs by Cornell Net Carbohydrate and Protein system (CNCPS), three Simmental × Native yellow cattle fitted with rumen cannulas were used for the study on rumen degradability of chemical compositions in 8 common feedstuffs, including rough feedstuffs (alfalfa hay, corn silage, Chinese ryegrass hay and wheat straw), energy feedstuffs (maize, barley and wheat bran) and protein feedstuff (soybean meal) by in sacco. Results of the evaluation showed that mean CHO contents of the rough and energy feedstuffs were higher than those of the protein feedstuffs. For TDN contents, potential degradabilities (a + b) and effective degradabilities (ED) of DM and CB1, values for energy and protein feedstuffs were higher than those for rough feedstuffs. There was a highly significant positive correlation ($r = 0.9574$) between ED of CB1 and that of DM, but negative correlations were noted between ED of CP and that of NDICP ($r = 0.8836$) and between ED of CP and NDICP content ($r = 0.8515$). These results suggested that CNCPS may be used to evaluate rumen degradability of carbohydrate and protein in Chinese feedstuffs to some extent.

Key words Cornell Net Carbohydrate and Protein System; carbohydrate; protein; rumen

饲料碳水化合物和蛋白质是反刍动物能量和氮的来源,二者一直是研究的重点。目前旧的能量和

收稿日期: 2006-06-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30270944); 国家杰出青年基金资助项目 (30125033)

作者简介: 薛红枫, 博士研究生, E-mail: xuehongfeng2@sina.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

蛋白体系正逐渐被完善,新的体系正向模型化方向发展,康乃尔净碳水化合物蛋白质系统(Cornell net carbohydrate and protein system, CNCPS)是模型体系的代表。这个系统自1991年问世以来已发展到第6版,它的应用范围很广,主要对饲料组成生物学价值瘤胃亚模型进行描述与评价^[1-3]。它根据瘤胃微生物对能量和蛋白质的利用将微生物分为分解结构性碳水化合物和非结构性碳水化合物2类,分解结构性碳水化合物的微生物以氨为氮源,而利用非结构性碳水化合物的微生物可以氨、氨基酸和肽为氮源。这种划分方法使瘤胃微生物分类简单化。同时根据饲料中2种碳水化合物各组分在瘤胃中的降解情况将它分为快速降解部分、中速降解部分、慢速降解部分和不可利用的纤维类4部分;蛋白质被划分为非蛋白氮、真蛋白和不可利用氮^[4]。CNCPS模型已在美国和加拿大得到广泛应用,我国对能量和蛋白体系模型化研究刚刚开始,饲料成分表信息有限,对于评定我国饲料中各成分在瘤胃中的生物学价值还很困难。

本试验根据建立中国反刍动物小肠可利用碳水化合物蛋白质体系饲料数据库的需要,利用CNCPS理论,以期发现碳水化合物和蛋白质各组分化学成分含量与瘤胃降解率的关系,为建立我国肉牛常用饲料碳水化合物和蛋白质瘤胃降解数据库提供部分依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与饲料样品

从中国农大肉牛研究中心挑选3头健康,体重400 kg,装有永久性瘤胃瘘管的西门塔尔×本地黄牛杂交阉牛为试验动物。选择8种肉牛常用饲料:苜蓿干草、玉米青贮、羊草、小麦秸、玉米、大麦、麸皮、豆粕做试验材料。

1.2 试验日粮与饲养管理

试验牛的日粮配制参照NRC^[5]肉牛营养需要,试验牛按1.3倍维持营养水平饲养。日饲喂量为混合精料(组成质量分数为玉米52%,麸皮14.5%,大豆粕17.5%,棉粕10%,骨粉2.0%,石粉1.8%,食盐1.2%,1%微量元素-维生素混合物)3 kg,干玉米秸自由采食,每天饲喂2次(8:00和16:00),自由饮水,试验牛单槽饲养。预饲期10 d,正式期4 d。

1.3 试验设计

试验于2004-08-09在中国农业大学肉牛研究

中心反刍动物代谢室进行。试验牛固定在各自栏位,以减少相互间的干扰。分批将8种饲料按每个时间点每头牛3个重复数的铁链投入瘤胃内。

1.4 试验方案

从烘箱中取出72 烘干的尼龙袋(80 mm × 120 mm;孔径50 μm),放入干燥器中冷却后恒重。每一尼龙袋中称入粉碎的粗料约3.0 g,精料约5.0 g。将每个时间点的3个尼龙袋固定在1条铁链上,于试验期的晨饲前投入试验牛瘤胃腹囊中。尼龙袋在瘤胃内停留时间分别为0、2、4、6、8、16、24、48和72 h,每个时间点取出3个平行袋的铁链,与0时间点的尼龙袋一起用洗衣机洗涤5次,每次1 min左右,直至洗出的水无色为止,72 下烘干48 h。

1.5 试验测定方法

饲料样品及瘤胃动态降解残渣化学分析依据以下方法进行。干物质(DM)和粗蛋白(CP)的测定按杨胜方法^[6]进行;中、酸性洗涤纤维(NDF、ADF)的测定按Van Soest等的方法^[7]进行;碳水化合物组分B1(CB1)的测定采用熊易强的方法^[9];采用Tcitra等^[10]的方法测定中、酸性洗涤不溶蛋白质(NDICP、ADICP)。总可消化养分(TDN)的估算采用Weiss等的方法^[11];饲料中碳水化合物组成的划分和计算采用Russell等的方法^[4]。

1.6 结果计算与统计分析

测定和计算各个培养时间点8种饲料DM、CP、CB1、NDF和NDICP的降解率。根据McDonald的动态降解模型^[12],利用SAS统计软件中的NON-LINEAR方法计算样本的动态降解参数。该模型为

$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$

式中: P 为 t 时间点DM、CP、CB1、NDF和NDICP的降解率; a 为样本中快速降解组分的比例,在公式中为指数曲线的截距; b 为样本中慢速降解组分的比例; c 为 b 组分的降解速率常数; t 为样本在瘤胃中的培养时间。饲料的有效降解率(effective degradability, ED)按照下式计算

$$ED = a + [b \times c \times 0.01 / (c + K_p) \times 0.01]$$

式中: K_p 为瘤胃食糜的流通速率常数,作物残渣瘤胃食糜的流通速率常数采用Tamminga等的理论值^[13];粗饲料的 K_p 为4.5%/h,能量饲料和蛋白质饲料属精饲料, K_p 为6%/h。

2 结果与讨论

2.1 饲料实测成分

表 1 列出了 8 种肉牛常用饲料实测化学分析值,由此可以看出,能量饲料和粗饲料总碳水化合物(CHO)含量平均值都高于蛋白质饲料;能量饲料和蛋白质饲料的 TDN 含量都高于粗饲料,符合能量饲料能值高的特点。另外,本研究发现 4 种粗饲料的 NDF 和 NDICP 含量平均值要高于能量饲料,

NDF 中可利用部分在瘤胃中是属于慢速降解的碳水化合物组分,因此 CNCPS 中将饲料中 NDF 称为碳水化合物慢速降解组分^[173],这部分组分含量的高低与 DM 的降解速度直接相关。NDICP 在瘤胃中是属于慢速降解的蛋白质组分 B3 的主要组成部分^[174],它的含量也与 DM 和 CP 的降解速度有关系。从表 1 还可以看出,NDF 和 NDICP 含量都与 TDN 含量成反比,即能量和蛋白质饲料的 TDN 含量高,NDF 和 NDICP 含量低,粗料与之相反。

表 1 肉牛常用饲料化学组分

Table 1 Chemical composition of common feedstuffs for beef cattle

饲料	干物质	粗蛋白	中性洗涤纤维	酸性洗涤纤维	总碳水化合物	碳水化合物 B1	酸性洗涤不溶蛋白质	中性洗涤不溶蛋白质	总可消化养分
粗饲料									
苜蓿干草	92.08	15.61	56.37	46.56	74.55	5.73	16.14	19.09	56.56
小麦秸	90.73	4.65	82.22	50.57	86.75	4.37	23.44	58.49	43.62
玉米青贮	90.11	9.28	56.26	42.42	80.12	6.17	13.79	24.46	59.08
羊草	93.40	8.40	65.91	46.69	81.83	5.49	27.02	31.79	57.66
平均	91.58	9.48	65.19	46.56	80.81	5.44	20.09	33.46	54.23
能量饲料									
玉米	86.5	9.72	10.00	6.32	84.36	69.90	2.37	8.74	87.98
大麦	90.00	13.12	15.25	9.52	82.07	55.48	8.00	11.43	80.93
麸皮	92.63	14.56	42.5	15.50	75.51	11.06	1.51	2.88	71.56
平均	89.71	12.47	22.58	10.45	80.65	45.48	3.96	7.68	80.16
蛋白质饲料									
豆粕	88.42	51.46	29.51	22.53	41.57	2.42	16.4	19.18	78.79
平均	88.42	51.46	29.51	22.53	41.57	2.42	16.4	19.18	78.79

注:各数据均为实测值; 为占干物质的质量分数; 为占粗蛋白的质量分数; 为 1 倍维持营养水平值。

2.2 饲料化学成分的瘤胃降解

8 种肉牛饲料部分化学成分瘤胃动态降解参数见表 2。能量和蛋白质饲料的 DM、CP 和 CB1 的潜在降解率($a + b$)和有效降解率(ED)均高于粗饲料,这与能量和蛋白质饲料本身含较高的易降解成分(淀粉和蛋白质)有关,如玉米、大麦和麸皮的淀粉含量较高,豆粕的蛋白质含量高;但能量和蛋白质饲料 NDF 和 NDICP 的潜在降解率($a + b$)和 ED 与粗饲料相比并没有呈现规律性的趋势。Nocek 等^[14]和 Herrera-saldana 等^[15]采用尼龙袋法测定奶牛常

用饲料淀粉的瘤胃降解率,前者的结果为玉米 58.30%、大麦 90.25%、小麦 93.10% 和高粱 60.50%;后者的结果为玉米 70.36%、燕麦 98.40%、小麦 90.20%和高粱 48.90%。任莹等^[16]采用瘤胃尼龙袋测定的内蒙古半细毛羯羊常用饲料淀粉瘤胃降解率分别为玉米 50.47%、豆粕 80.19%、苜蓿干草 53.15%、羊草 64.23%和麸皮 61.70%。本试验 8 种饲料淀粉有效降解率为:玉米 69.94%,与 Herrera-saldana 等^[15]报道接近;大麦 79.88%,低于 Nocek 等^[14]结果;苜蓿干草 56.91%

表2 常用饲料DM、CP、CBI、NDF和NDICP的动态降解参数和有效降解率分析

Table 2 Analyses of dynamic parameters and effective degradability of DM, CP, CBI, NDF and NDICP of common feedstuffs

项目	粗饲料				能量饲料			蛋白质饲料
	苜蓿干草	小麦秸	玉米青贮	羊草	玉米	大麦	麸皮	豆粕
干物质(DM)								
a/ %	32.3 ±0.2	13.4 ±0.1	24.8 ±0.6	23.7 ±0.4	34.2 ±1.0	61.2 ±0.8	36.5 ±0.6	27.0 ±0.5
b/ %	36.41 ±0.4	44.9 ±0.3	56.1 ±0.4	53.2 ±0.1	63.2 ±0.8	26.5 ±0.6	50.7 ±0.5	72.0 ±2.0
c/ (%/h)	7.9 ±0.5	4.8 ±0.4	3.8 ±0.2	3.2 ±0.2	8.5 ±0.1	16.1 ±0.1	12.0 ±0.3	8.6 ±0.5
(a + b)/ %	68.7 ±0.8	58.3 ±0.1	80.9 ±0.8	76.9 ±0.9	97.4 ±0.2	87.7 ±1.2	87.3 ±0.4	99.0 ±2.3
ED/ %	55.50 ±0.3	36.57 ±0.6	50.48 ±0.8	45.81 ±0.7	71.25 ±0.9	80.51 ±1.1	70.30 ±1.4	69.41 ±2.5
粗蛋白(CP)								
a/ %	41.8 ±0.4	24.8 ±0.2	24.3 ±1.3	35.8 ±0.4	31.6 ±0.7	33.1 ±1.8	36.3 ±0.4	25.5 ±0.7
b/ %	46.7 ±1.0	38.9 ±0.6	59.6 ±1.0	42.7 ±0.3	62.1 ±2.6	63.0 ±0.7	50.8 ±0.8	74.3 ±2.6
c/ (%/h)	9.7 ±0.5	12.6 ±0.5	4.7 ±0.2	4.2 ±0.2	8.8 ±0.2	6.3 ±0.5	12.1 ±0.7	6.6 ±0.1
(a + b)/ %	88.5 ±1.5	63.7 ±0.3	83.9 ±1.4	78.6 ±1.6	93.7 ±1.5	96.1 ±2.3	87.0 ±2.3	99.8 ±2.4
ED/ %	75.25 ±2.0	57.17 ±1.4	72.01 ±1.8	59.98 ±2.0	68.52 ±1.8	65.37 ±2.0	70.26 ±1.9	64.42 ±2.5
淀粉(CBI)								
a/ %	19.02 ±0.8	14.69 ±0.1	15.85 ±0.6	21.5 ±0.7	21.30 ±0.4	30.32 ±1.2	22.32 ±0.3	37.6 ±0.6
b/ %	72 ±0.7	74.82 ±0.9	69.63 ±1.2	71.8 ±1.5	77.82 ±1.2	69.25 ±0.2	75.93 ±0.9	60.4 ±1.7
c/ (%/h)	5.0 ±0.1	2.5 ±0.1	6.2 ±0.3	5.6 ±0.2	10.0 ±0.4	15.1 ±0.2	10.2 ±0.2	6.1 ±0.1
(a + b)/ %	91.02 ±2.9	89.51 ±1.5	85.48 ±1.4	93.3 ±1.2	99.12 ±1.6	99.57 ±1.8	98.25 ±1.9	98.0 ±2.0
ED/ %	56.91 ±2.6	41.41 ±1.9	56.20 ±1.6	56.16 ±2.7	69.94 ±2.8	79.88 ±3.0	70.13 ±1.8	68.05 ±2.4
中性洗涤纤维(NDF)								
a/ %	3.9 ±0.1	6.9 ±0.2	19.1 ±0.5	11.6 ±0.3	8.6 ±0.4	3.3 ±0.2	1.0 ±0.2	33.7 ±0.6
b/ %	33.9 ±0.8	46.7 ±1.5	61.1 ±3.0	62.2 ±1.9	35.7 ±1.3	43.1 ±2.1	49.7 ±2.2	52.1 ±2.6
c/ (%/h)	11.3 ±0.5	3.8 ±0.1	3.6 ±0.2	3.7 ±0.2	28.1 ±0.2	18.1 ±0.2	2.3 ±0.3	4.7 ±0.5
(a + b)/ %	37.9 ±0.9	53.7 ±0.8	80.2 ±1.3	73.8 ±1.4	44.4 ±0.6	46.4 ±1.5	50.7 ±1.2	85.7 ±1.3
ED/ %	28.14 ±0.8	28.28 ±0.5	46.26 ±1.3	39.67 ±1.4	38.02 ±1.2	35.67 ±0.3	14.77 ±0.6	56.59 ±0.9
中性洗涤不溶蛋白质(NDICP)								
a/ %	1.6 ±0.02	3.7 ±0.01	4.5 ±0.06	3.0 ±0.01	5.1 ±0.02	1.4 ±0.03	6.4 ±0.04	3.5 ±0.02
b/ %	12.9 ±0.2	30.4 ±0.6	7.6 ±0.02	18.6 ±0.3	12.1 ±0.2	7.4 ±0.02	15.7 ±0.07	13.2 ±0.3
c/ (%/h)	14.7 ±0.3	14.9 ±0.2	8.8 ±0.01	9.4 ±0.2	11.1 ±0.1	22.7 ±0.1	27.8 ±0.3	29.7 ±0.2
(a + b)/ %	14.6 ±0.1	34.2 ±0.3	12.1 ±0.2	21.6 ±0.2	17.2 ±0.3	8.9 ±0.02	22.1 ±0.8	16.7 ±0.4
ED/ %	11.48 ±0.2	27.05 ±0.4	9.53 ±0.4	15.58 ±0.3	12.95 ±0.1	7.25 ±0.02	19.31 ±0.9	14.48 ±0.5

注:表中数据为平均值 ±标准差,a为样本中各指标快速降解组分参数,b为样本中各指标慢速降解组分参数,c为b组分的降解速率常数,ED为饲料各指标的有效降解率。

与任莹等^[16]报道相接近;豆粕和羊草分别为68.05%、56.16%,低于任莹等^[16]结果;麸皮

70.13%,高于任莹等^[16]结果。与前人研究结果出现差异的原因可能是试验动物和试验材料品种不同

造成的。本试验中小麦秸和玉米青贮中淀粉瘤胃有效降解率分别为 41.41% 和 56.20%，这 2 种饲料淀粉瘤胃有效降解率目前还未见报道。关于饲料中 CP、NDICP 和 ADICP 3 种蛋白质在瘤胃中的动态降解情况，目前仅有 González 等关于豆类饲料的报道^[17]。

8 种饲料的 DM 有效降解率与 CB1 的有效降解率、NDICP 有效降解率、NDICP 质量分数与 CP 有效降解率之间的关系见图 1 和 2。试验发现 DM 有效降解率与 CB1 的有效降解率二者呈高的正相关关系。日粮淀粉在瘤胃中的降解对整个日粮的消化有重要的影响，其瘤胃降解速率的研究在肉牛饲养中尤为重要。测定不同降解时间点残渣中淀粉含量比较烦琐，本试验通过 DM 有效降解率和 CB1 有效降解率之间的回归，初步认为可用前者来预测后者；但 DM 有效降解率与 CP 有效降解率之间的回归结果却不理想 ($r = 0.5188$, $n = 8$)，这与 González 等报道^[17]的 14 种豆粕和全脂大豆的尼龙袋试验的 CP 有效降解率与 DM 有效降解率之间强的正相关 ($r = 0.9197$, $n = 14$) 有差异，分析原因可能是

González 等^[17]采用的原料全部是蛋白含量相近的豆类蛋白质饲料，而本试验饲料样本种类不统一，是粗饲料、能量饲料和蛋白质饲料的综合，而且它们之间的蛋白质含量差异也较大(表 1)。另外，从表 1 和表 2 可以看出，饲料的 NDF 含量越高，尼龙袋 DM 的降解速度 c 越小；而饲料的淀粉含量越高，尼龙袋 DM 的降解速度越大。进一步说明饲料中 NDF 是 CNCPS 系统中慢速降解的碳水化合物组分，淀粉是快速或中速的碳水化合物组分。从图 1 和图 2 还可以看出，CP 有效降解率与 NDICP 有效降解率呈负相关关系，CP 有效降解率与 NDICP 含量也呈负相关关系。这与 González 等^[17]报道的大豆产品 CP 的有效降解率与样品的中性洗涤不溶性氮(NDIN)含量呈负相关相似 ($r = 0.8775$, $n = 14$)。NDICP 是与细胞壁相连的蛋白质，这部分蛋白质不溶于中性洗涤剂，在瘤胃中被微生物缓慢降解，并在小肠中利用。因其测定方法较复杂^[7]，目前其在瘤胃中降解还未引起足够的重视，但这部分蛋白质在瘤胃中缓慢降解，释放的氨态氮较少，对反刍动物微生物蛋白合成有利。

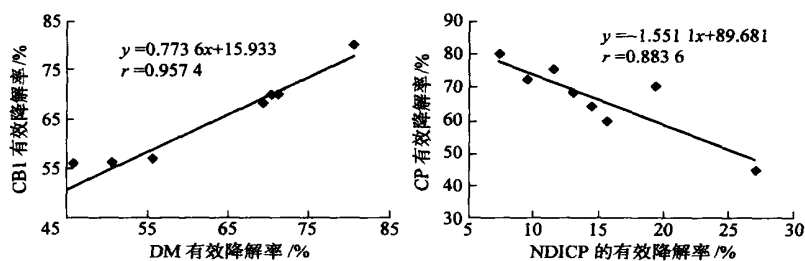


图 1 DM 和 CB1、NDICP 和 CP 有效降解率(ED)间的关系

Fig. 1 Relationships between the ED of DM and CB1 and ED of NDICP and CP

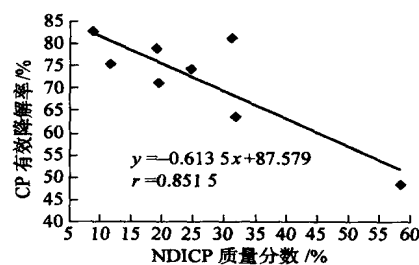


图 2 NDICP 质量分数与 CP 有效降解率的关系

Fig. 2 Relationship between NDICP content and ED of CP

3 结 论

本试验测定 8 种肉牛常用饲料的化学成分及其瘤胃降解，结果表明：能量饲料和粗饲料的总碳水化合物(CHO)平均含量都高于蛋白质饲料；能量饲料和蛋白质饲料的 TDN 平均含量、DM 和 CB1 的潜在降解率 ($a + b$) 和有效降解率(ED)都高于粗饲料。8 种饲料 DM 有效降解率与 CB1 的有效降解率呈高的正相关，粗蛋白的有效降解率与中性洗涤不

溶蛋白质的有效降解率及其含量都呈高的负相关关系。提示 CNCPS 理论评价中国肉牛饲料碳水化合物和蛋白质组分瘤胃降解具有一定的可行性，但利用瘤胃尼龙袋法 (*in sacco*) 分析降解残渣各成分工作量较大，所以本试验只完成了部分组分的评价。今后应考虑采用体外产气法 (*in vitro*) 和近红外光谱扫描分析(NIRS)相结合批量测定反刍动物饲料碳水化合物和蛋白质各组分的含量及瘤胃降解数据。

参 考 文 献

- [1] Ainslie S J, Fox D G, Perry T C, et al. Predicting metabolizable protein and amino acid adequacy of diets fed to light-weight Holstein steers [J]. *Journal Animal Science*, 1993, 71: 1312-1319
- [2] Fox D G, Sniffen C J, O'Connor J D, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: . Cattle requirements and diet adequacy [J]. *Journal Animal Science*, 1992, 70: 3578-3596
- [3] O'Connor J D, Sniffen C J, Fox D G, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: . Predicting amino acid adequacy [J]. *Journal Animal Science*, 1993, 71: 1298-1311
- [4] Russell J B, O'Connor J D, Fox D G, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: . Ruminal fermentation [J]. *Journal Animal Science*, 1992, 70: 3551-3561
- [5] National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle* [M]. 7th Rev. ed. Washington DC: National Academy Press, 1996: 133-170
- [6] 杨胜主编. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1993: 10-40
- [7] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *Journal Dairy Science*, 1991, 74: 3583-3597
- [8] Goering H K, Van Soest P J. *Forage fiber analysis* [M]. Washington DC: Agriculture Handbook No 379, ARS, USDA, 1970: 1-12
- [9] 熊易强. 饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定 [C]. 饲料技术讲座文集 (1998—1999). 北京: 美国大豆协会, 1999: 239-241
- [10] Tcitra G, Hernandez T M, Van Soest P J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds [J]. *Animal Feed Science Technology*, 1996, 57: 347-358
- [11] Weiss W P, Conrad H R, Pierre N R St. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates [J]. *Animal Feed Science Technology*, 1992, 39: 95-110
- [12] McDonald I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen [J]. *Journal Agricultural Science*, 1981, 96: 251-252
- [13] Tamminga S, Van Straalen W M, Subnel A P J, et al. The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system [J]. *Livestock Production Science*, 1994, 40: 139-155
- [14] Nocek J E, Tamminga S. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition [J]. *Journal Dairy Science*, 1991, 74: 3598-3629
- [15] Herrera-saldana R E, Huber J T, Poore M H. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains [J]. *Journal Dairy Science*, 1990, 73: 2386-2393
- [16] 任莹, 赵胜军, 卢德勋, 等. 瘤胃尼龙袋法测定常用饲料过瘤胃淀粉量及淀粉瘤胃降解率 [J]. *动物营养学报*, 2004, 16(1): 42-46
- [17] González J, Andrés S, Rodríguez C A, et al. In situ evaluation of the protein value of soybean meal and processed full fat soybeans for ruminants [J]. *Animal Research*, 2002, 51: 455-464