

用净碳水化合物-蛋白质体系评定反刍动物饲料营养价值

赵广永^①

(中国农业大学动物科技学院)

D. A. Christensen J. J. McKinnon

(加拿大萨斯卡彻温大学畜禽系)

摘要 分别从西安、上海、杭州、海拉尔和鄂温克等地采集反刍动物常用饲料样品 32 种,应用康奈尔净碳水化合物和蛋白质体系(CNCPS)提出的碳水化合物和蛋白质分类方法,分别测定了饲料的粗蛋白质、非蛋白氮(NPN)、可溶性粗蛋白(SCP)、酸性洗涤剂不溶粗蛋白(ADIP)和中性洗涤剂不溶粗蛋白(NDIP)及酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、木质素和淀粉。并根据 CNCPS 提出的计算方法计算了饲料粗蛋白质中的非蛋白氮(PA)、快速降解蛋白质(PB1)、结合蛋白质(PC)、中度降解蛋白质(PB2)、慢速降解蛋白质(PB3)和碳水化合物中的不可利用纤维(CC)、可利用纤维(CB2)、淀粉、果胶(CB1)和糖类(CA)。比较了 CNCPS 饲料评定技术与尼龙袋技术的优缺点,建议 CNCPS 体系可用于反刍动物饲料营养价值的评定。

关键词 CNCPS; 反刍动物; 饲料营养价值

分类号 S816.15

The Use of Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) for the Evaluation of Some Chinese Feeds of Ruminants

Zhao Guangyong

(College of Animal Science & Technology, CAU)

D A Christensen J J McKinnon

(Dept. of Animal and Poultry Sciences, University of Saskatchewan, Canada)

Abstract Thirty-two different feeds of ruminants were collected from Xian, Shanghai, Hangzhou, Hailar and Erwenk, respectively. The classification methods of CNCPS for feed protein and carbohydrate were used for the analysis of NPN, SCP, ADIP, NDIP, NDF, ADF, lignin and starch. PA, PB1, PC, PB2 and PB3 in CP and CC, CB2, CB1 in carbohydrate were calculated, respectively. The paper compared feed evaluation methods of CNCPS, the nylon bag technique and the Weende system. It is suggested that the methods of CNCPS can be used in the evaluation of feeds of ruminants in the future.

Key words CNCPS; ruminants; feed nutritive value

Weende 体系^[1]根据化学分析将饲料成分分为粗蛋白质、脂肪、粗灰分、粗纤维、无氮浸出物和水分 6 大营养成分,以评定比较饲料的营养价值。尽管本体系是饲料营养价值评定的基础,但仅根据化学分析并不能说明反刍动物对饲料的消化利用情况,因而不能较好地反映饲料的营养价值。应用尼龙袋技术^[2]可以测定饲料在反刍动物瘤胃中的降解率,仅可粗略地将饲料的营养成分分为快速降解部分、慢速降解部分和不可降解部分,来比较饲料的可利用性。美国康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系(CNCPS)^[3]将饲料的碳水化合物分为 4 部分:CA 为糖类,在瘤胃中可快速降解;CB1 为淀粉,为中度降解部分;CB2 是可利用的细胞壁,为缓慢降解部分;CC 部分是不可利用的细胞壁。碳水化合物的不可消化纤维为木质素 $\times 2.4$ ^[4]。将蛋白质分

收稿日期: 1999-04-02

①赵广永,北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区),100094

为3部分:非蛋白氮(NPN)、真蛋白质和不能利用蛋白质^[5]。这3部分分别被描述为PA(NPN)、PB(真蛋白)和PC(结合蛋白质)^[6]。真蛋白质又被进一步分为PB1、PB2、PB3三部分。PA和PB1在缓冲液中可溶解^[7],PB1在瘤胃中可快速降解^[5],PC含有与木质素结合的蛋白质、丹宁蛋白质复合物和其他高度抵抗微生物和哺乳类酶类的成分^[8,9],在酸性洗涤剂中不能被溶解(ADIP)^[6],在瘤胃中不能被瘤胃细菌降解,在瘤胃后消化道也不能被消化^[8]。PB3在中性洗涤剂中不溶解(NDIP),但可在酸性洗涤剂中溶解,由于PB3与细胞壁结合在一起,因而在瘤胃中可缓慢降解,其中大部分可逃脱瘤胃降解。缓冲液不溶蛋白质减去中性洗涤剂不溶蛋白,剩余部分为PB2。部分PB2在瘤胃中可被发酵,部分流入后肠道中。

CNCPS体系的特点是,把饲料的化学分析与植物的细胞成分及反刍动物的消化利用结合起来,使分析结果更有参考价值,便于应用计算机为反刍动物编制饲料配方,对于生产更有指导价值。我国现有的饲料分析均以Weende体系为基础,尚未应用CNCPS体系评定饲料的营养价值。本研究应用CNCPS体系的原理和方法对中国的反刍动物饲料成分进行分析,探讨了用以评定饲料营养价值的可能性。

1 材料与方法

1.1 饲料样品与分析方法

分别从西安、上海、杭州、海拉尔和鄂温克采集肉牛和奶牛常用饲料32种。风干、粉碎过1mm网筛,用于分析。干物质、粗蛋白质、粗灰分和粗脂肪按照AOAC法^[10]进行;NDF和木质素、中性洗涤不溶氮和酸性洗涤不溶氮的分析按照Van Soest的方法^[5]进行;可溶性蛋白质的分析按照Krishnamoorthy等的方法^[9]进行;淀粉的分析按照AACC法^[11]进行。

1.2 计算方法

根据Sniffen等的方法^[3]进行。

$$PA(\%CP) = NPN(\%SOLP) \cdot 0.01 \cdot SOLP(\%CP)$$

$$PB1(\%CP) = SOLP(\%CP) - PA(\%CP)$$

$$PC(\%CP) = ADIP(\%CP)$$

$$PB3(\%CP) = NDIP(\%CP) - ADIP(\%CP)$$

$$PB2(\%CP) = 100 - PA(\%CP) - PB1(\%CP) - PB3(\%CP) - PC(\%CP)$$

其中:CP(%DM)为粗蛋白质占干物质的百分比;NPN(%CP)为非蛋白氮占饲料粗蛋白质的百分比;SOLP(%CP)为可溶性蛋白占粗蛋白质的百分比;NDIP(%CP)为中性洗涤剂不溶蛋白占粗蛋白质的百分比;ADIP(%CP)为酸性洗涤剂不溶蛋白占粗蛋白质的百分比;PA(%CP)为非蛋白氮占粗蛋白质的百分比;PB1(%CP)为快速降解蛋白占粗蛋白质的百分比;PB2(%CP)为中度降解蛋白质占粗蛋白质的百分比;PB3(%CP)为慢速降解蛋白质占粗蛋白质的百分比;PC(%CP)为结合蛋白质占粗蛋白质的百分比。因式中百分号仅作为单位,并不参与乘法运算,故2数值相乘后需乘以0.01,使得出的单位为百分数,以下同。

$$CHO(\%DM) = 100 - CP(\%DM) - FAT(\%DM) - ASH(\%DM)$$

$$CC(\%CHO) = 100 \cdot (NDF(\%DM) \cdot 0.01 \cdot LIGNIN(\%NDF) \cdot 2.4) / CHO(\%DM)$$

$$CB2(\%CHO) = 100 \cdot ((NDF(\%DM) - NDIP(\%CP) \cdot 0.01 \cdot CP(\%DM) - NDF(\%DM) \cdot 0.01 \cdot LIGNIN(\%NDF) \cdot 2.4) / CHO(\%DM))$$

$$CNSC(\%CHO) = 100 - CB2(\%CHO) - CC(\%CHO)$$

$$CB1(\%CHO) = STRACH(\%NSC) \cdot (100 - CB2(\%CHO) - CC(\%CHO)) / 100$$

$$CA(\%CHO) = (100 - STARCH(\%NSC)) \cdot (100 - CB2(\%CHO) - CC(\%CHO)) / 100$$

其中 CP(%DM) 为粗蛋白占饲料干物质的百分比; CHO(%DM) 为碳水化合物占饲料干物质的百分比; FAT(%DM) 为脂肪占饲料干物质的百分比; ASH(%DM) 为灰分占饲料干物质的百分比; NDF(%DM) 为中性洗涤纤维占饲料干物质的百分比; NDIP(%DM) 为中性洗涤剂不溶蛋白质占饲料干物质的百分比; LIGNIN(%NDF) 为木质素占 NDF 的百分比; STRACH(%NSC) 为淀粉占非结构碳水化合物的百分比; CA(%CHO) 为糖类占碳水化合物的百分比; CB1(%CHO) 为淀粉和果胶占碳水化合物的百分比; CB2(%CHO) 为可利用纤维占碳水化合物的百分比; CC(%CHO) 为不可利用纤维占碳水化合物的百分比; 饲料中不可消化纤维的数量为木质素的 2.4 倍。

2 结果与讨论

2.1 反刍动物常用饲料的营养成分特点(表 1)

青贮饲料的可溶性粗蛋白占粗蛋白(SCP%CP)的 46.26%~76.11%。非蛋白氮在可溶性粗蛋白中(NPN%SCP)高达 82.47%~100%。说明青贮饲料中的可溶性粗蛋白主要是非蛋白氮,可溶性真蛋白的含量很少,不同的青贮方法和原料对于这 2 个指标有影响。饼粕类饲料和蛋白质补充料中,豆饼的可溶性粗蛋白为粗蛋白的 6.15%,而玉米蛋白粉(西安)和鱼粉(西安)的分别为 50.77%和 43.21%。豆饼的 NPN(%SCP)为 29.91%,而其他饼粕类和蛋白质补充料的为 72.53%~97.83%。干羊草及农副产物的 NPN(%SCP)含量较低,而其他饲料的较高。以上结果表明,3 种类型饲料的可溶性粗蛋白的主要成分是非蛋白氮,可溶性真蛋白的含量较少。

从碳水化合物的成分来看,木质素在瘤胃中不能被消化。青贮饲料中的木质素(%NDF)在 4.82%~9.21%之间,因收割阶段和制作方式而有差异。青干草和其它农副产物之间也较相似。棉籽和棉籽饼的木质素(%NDF)含量较高,为 24.35%~25.90%,而豆饼的为 11.96%,这说明豆饼的可消化性比棉籽饼要好。蛋白质和碳水化合物是饲料的 2 大主要营养成分。从以上结果可以看出,CNCPS 分析方法测定的指标较多,全面地反映了饲料的营养成分。

2.2 反刍动物常用饲料蛋白质和碳水化合物的成分特点(表 2)

以棉籽饼和大豆饼为例,棉籽和棉籽饼的 PA 含量较高,为 11.88%~25.88%,大豆饼为 1.84%,说明大豆饼的含氮化合物中 NPN 含量很少,而主要为真蛋白质。棉籽和棉籽饼不可利用的 PC 含量为 6.78%~14.67%,豆饼的不可利用 PC 为 2.32%。从碳水化合物的成分来看,棉籽和棉籽饼不可利用的 CC(%CHO)为 46.81%~60.34%,而豆饼的 CC 为 13.84%。通过上述比较可知,从真蛋白质的含量和可利用性方面以及碳水化合物的可利用性方面测定的指标较多,豆饼的质量均比棉籽和棉籽饼要好的多。

2.3 Weende 体系、尼龙袋技术与净碳水化合物-蛋白质体系的比较

Weende 体系、尼龙袋技术与净碳水化合物-蛋白质体系均为评定饲料营养价值的方法。Weende 体系^[2]根据化学分析将饲料营养成分分为粗蛋白质、脂肪、粗灰分、粗纤维、无氮浸出物和水分 6 大部分,以评定各种饲料的营养价值。但是化学成分并不能说明反刍动物对饲料的消化利用情况,因而不能较好地反映饲料的营养价值。对饲料营养价值的评定还必须结合消化代谢试验或饲养试验进行。Orskov 和 McDonald^[2]利用指数曲线 $P = a + b(1 - e^{-c})$ 描述了

表 1 反刍动物常用饲料的营养成分^①

饲料种类	水分	粗蛋白质	粗灰分	粗脂肪	NPN (%SCP)	SCP (%CP)	ADIP (%CP)	NDIP (%CP)	ADF	NDF	木质素 (%NDF)	淀粉	NSC	淀粉 (%NSC)
青贮饲料														
窖贮玉米(西安)	8.59	10.20	9.48	3.74	99.02	59.98	23.60	26.92	49.14	67.17	5.66	0.72	9.41	7.67
窖贮玉米(XPF ^②)	3.84	6.13	1.09	10.31	91.98	46.26	18.89	30.52	44.02	72.11	3.98	0.23	10.37	2.21
窖贮玉米(XPF)	6.20	8.57	7.93	3.21	97.21	76.11	9.02	9.41	32.06	53.56	3.07	16.00	26.73	59.87
窖贮玉米(曹坦3 ^③)	5.85	8.31	7.14	2.94	98.36	66.42	12.36	13.99	39.68	62.84	4.18	9.20	18.78	48.98
窖贮玉米(曹坦4)	4.34	8.39	11.97	2.31	97.20	60.40	16.40	17.44	45.89	69.96	4.44	1.45	7.37	19.71
青贮玉米 (带籽,SBD1 ^④)	4.39	9.59	8.06	2.45	100.00	47.45	7.76	14.94	30.78	54.02	2.56	10.81	25.88	41.79
青贮玉米 (带籽,SBD2)	4.76	9.84	8.33	2.61	100.00	47.96	7.51	14.46	30.75	54.77	2.59	10.79	24.46	44.14
青贮玉米 (无籽,SBD1)	3.93	7.74	8.95	1.70	92.68	51.63	12.03	21.55	43.30	69.61	4.59	0.23	12.00	1.91
青贮玉米 (无籽,SBD2)	4.08	7.69	9.64	1.65	93.78	54.53	11.30	20.06	42.85	68.36	4.47	0.48	12.66	3.79
青贮羊草(鄂温克)	8.64	8.23	6.17	3.83	95.60	55.95	17.97	27.53	43.13	67.54	6.00	0.30	16.50	1.79
青贮玉米(杭州)	5.48	8.95	6.61	4.42	87.06	59.29	16.89	21.21	69.19	69.19	3.67	4.96	16.62	29.85
青贮玉米(上海)	6.49	10.18	7.60	3.39	95.04	55.05	17.51	28.07	54.58	54.58	4.00	16.91	18.60	90.88
青贮玉米(西安)	8.41	7.83	7.34	3.54	82.47	62.09	12.80	12.22	38.15	62.67	4.30	9.00	18.64	48.26
甜玉米青贮(临潼)	10.63	12.07	11.60	5.07	94.76	59.32	12.13	11.90	36.58	57.93	2.50	0.60	13.34	4.53
饼粕类及蛋白质补充料														
小麦麸(西安)	11.78	17.10	8.59	4.67	88.18	28.62	3.91	29.60	16.52	47.28	4.57	17.20	22.36	76.92
玉米蛋白粉(曹坦)	12.34	17.23	4.53	4.26	92.59	50.77	3.07	21.75	18.02	58.72	1.86	11.66	15.28	76.31
玉米蛋白粉(曹坦)	7.52	10.96	7.50	6.20	93.80	16.75	14.17	40.11	31.82	59.08	7.31	13.38	11.61	16.29
棉籽饼(西安)	7.02	22.48	5.09	15.01	84.11	30.77	14.67	16.36	42.35	55.74	13.42	25.90	0.77	1.68
棉籽饼(曹坦)	10.85	33.48	5.57	3.96	97.83	12.14	9.05	28.50	38.89	54.04	11.73	24.35	0.53	2.94
大豆饼(曹坦)	7.08	33.98	6.65	5.21	72.53	16.77	6.78	11.11	32.89	41.62	9.81	25.38	0.50	12.55
鱼粉(西安)	13.24	46.23	7.91	0.93	29.91	6.15	2.33	6.55	13.99	21.66	2.25	11.96	23.27	3.22
青干草及副产物														
混合干草(西安)	7.34	10.79	13.41	2.00	96.48	21.48	13.80	66.80	44.02	76.22	4.83	0.50	6.85	21.73
鲜羊草(西安)	8.79	12.70	17.06	3.04	96.59	27.74	17.33	56.75	34.39	51.67	6.05	3.38	15.54	3.42
干羊草(西安)	7.62	9.88	5.35	3.55	51.00	24.37	16.16	53.61	41.91	77.04	5.27	6.84	9.49	8.71
牧草(海拉尔)	6.57	8.50	6.88	0.96	89.81	21.16	17.79	62.01	41.43	75.43	5.67	8.05	0.72	8.24
牧草(海拉尔)	6.42	9.32	5.04	0.88	93.10	17.77	14.95	71.93	40.16	72.80	3.81	5.60	0.92	11.96
鲜羊草(海拉尔)	6.15	15.23	5.90	3.04	84.71	41.46	3.95	20.95	31.25	59.39	3.75	6.73	2.91	16.44
干羊草(海拉尔)	5.99	10.61	4.90	3.62	93.98	40.76	5.44	24.43	35.13	66.21	4.18	6.72	1.13	14.67
豌豆荚(西安)	9.91	14.53	5.09	2.46	96.73	54.52	11.09	28.05	40.13	61.52	5.49	1.54	16.40	9.41
甜菜渣(西安)	9.59	11.03	5.53	1.18	48.68	8.43	20.24	74.15	30.52	57.33	3.34	0.22	24.94	0.89
稻草(上海)	7.36	4.80	12.18	4.24	46.40	18.91	33.04	57.11	61.63	75.58	5.30	0.96	5.94	16.18

①除注明外,所有指标均为干物质的百分比。

②XPF表示西安奶牛推广项目试验牛场;曹坦3表示西安曹坦牛场3号青贮窖;SBD1表示西安银桥奶牛场1号青贮窖。余类推,表2同。

表 2 反刍动物常用饲料的蛋白质和碳水化合物组成^①

饲料种类	PA	PB1	PC	PB3	PB2	CHO	CC	CB2	CBI	CA
青贮饲料										
青贮玉米(西安)	59.39	0.59	23.60	3.32	13.10	76.58	19.39	64.74	1.22	14.66
塔贮玉米(西安)	42.55	3.71	18.89	11.63	23.22	82.47	12.05	73.12	0.33	14.50
窖贮玉米(曹坦3)	73.99	2.12	9.02	0.39	14.48	80.29	9.78	55.92	20.53	13.76
窖贮玉米(曹坦4)	65.33	1.09	12.36	1.63	19.59	81.61	13.07	62.51	11.96	12.46
青贮玉米	58.71	1.69	16.40	1.04	22.16	77.33	14.42	74.16	2.25	9.17
青贮玉米(带籽,SBD1)	47.45	0.00	7.76	7.18	37.61	79.90	8.05	57.77	14.29	19.90
青贮玉米(带籽,SBD2)	47.96	0.00	7.51	6.95	37.58	79.22	8.25	59.09	14.42	18.24
青贮玉米(无籽,SBD1)	47.85	3.78	12.03	9.52	26.82	81.61	14.04	69.21	0.32	16.43
青贮玉米(无籽,SBD2)	51.14	3.39	11.30	8.76	25.41	81.02	13.81	68.66	0.66	16.87
青贮羊草(鄂温克)	53.49	2.46	17.97	9.56	16.52	81.77	17.60	62.22	0.36	19.81
青贮玉米(杭州)	51.62	7.67	16.89	4.32	19.50	80.02	11.00	73.10	4.75	11.16
青贮玉米(上海)	52.32	2.73	17.51	10.56	16.88	78.83	13.03	52.58	31.25	3.14
青贮玉米(西安)	51.21	10.88	12.80	0	25.69	81.29	13.86	62.06	11.62	12.46
甜玉米青贮(榆潼)	56.21	3.11	12.13	0	28.78	71.26	9.40	69.87	0.94	19.78
饼粕类及蛋白质补充料										
小麦麸(西安)	25.24	3.38	3.91	25.69	41.78	69.64	17.84	42.78	30.29	9.09
玉米蛋白粉(西安)	47.01	3.76	3.07	18.68	27.48	73.98	6.88	67.43	19.61	6.09
玉米蛋白粉(曹坦)	15.71	1.04	14.17	25.94	43.14	75.34	25.18	47.40	19.55	7.87
棉籽饼(西安)	25.88	4.89	14.67	1.69	52.87	57.42	60.34	30.33	4.30	5.03
棉籽饼(西安)	11.88	0.26	9.05	19.45	59.36	56.99	55.41	22.67	3.93	17.99
大豆饼(西安)	12.16	4.61	6.78	4.33	72.12	54.16	46.81	23.07	1.19	28.93
鱼粉(西安)	1.84	4.31	2.33	4.22	87.30	44.93	13.84	27.63	1.88	56.65
鱼粉(西安)	41.78	1.43	11.92	23.14	21.73	5.36				
青干草及副产物										
混合干草(西安)	20.72	0.76	13.80	53.00	11.72	73.80	16.98	76.53		
鲜羊草(西安)	26.79	0.95	17.33	39.42	15.51	67.20	23.69	42.47	7.35	26.48
干羊草(西安)	12.43	11.94	16.16	37.45	22.02	81.22	15.57	72.76	0.40	11.27
牧草(海拉尔)	19.00	2.16	17.79	44.22	16.83	83.66	17.42	66.44	1.41	14.73
牧草(海拉尔)	16.54	1.23	14.95	56.98	10.30	84.76	11.54	66.44	1.69	20.33
鲜羊草(海拉尔)	35.12	6.34	3.95	17.00	37.59	75.83	12.65	61.46	4.58	21.31
干羊草(海拉尔)	38.31	2.45	5.44	18.99	34.81	80.87	13.20	65.46	1.64	19.69
豌豆(西安)	52.74	1.78	11.09	16.96	17.43	77.92	18.78	54.94	2.47	23.81
甜苜蓿(西安)	4.10	4.33	20.24	53.91	17.42	82.26	10.77	48.98	0.36	39.89
稻草(上海)	8.77	10.14	33.04	24.07	23.98	78.78	16.07	76.39	1.22	6.32

①PA, PB1, PC, PB3, PB2为粗蛋白质中的百分比;CHO为干物质中的百分比;CC, CB2, CBI, CA为碳水化合物中的百分比。

饲料干物质或粗蛋白质等成分在瘤胃中的降解规律。其中 P 表示饲料成分的瞬间降解率, a 为快速降解部分, b 为缓慢降解部分, $100 - (a + b)$ 为不可降解部分。本模型的特点是较好地反映了饲料成分在瘤胃中的降解, 并根据降解的程度粗略地评定饲料的可被利用的情况。CNCPS 体系^[3]将饲料的粗蛋白质分为快速降解部分 PA + PB1、缓慢降解部分 PB2 + PB3 和不可降解部分 PC。将碳水化合物分为快速降解部分 CA、缓慢降解部分 CB2 + CB1 和不能降解部分 CC。对饲料的评定效果与尼龙袋技术相似。但利用尼龙袋技术测定饲料成分的降解比较复杂。首先需要装有瘤胃瘘管的反刍动物; 其次, 影响测定结果的因素较多, 例如, 饲料颗粒的大小、尼龙袋的规格以及瘤胃内容物的稀释率等, 不便于标准化; 再次, 尼龙袋技术无法区分 NPN 和可溶性真蛋白质, 无法区分淀粉和可溶性糖等营养成分。应用 CNCPS 法评定饲料的粗蛋白质或碳水化合物的营养价值速度快, 影响因素少, 便于标准化, 不需要瘘管动物。分析结果还区分了非蛋白氮、真蛋白质、淀粉和糖类, 因而比尼龙袋技术的测定结果更精确。使饲料营养价值的相互比较更为可靠, 便于应用于反刍动物的日粮配合。

3 结 论

在大量研究反刍动物瘤胃发酵规律和饲料分析方法的基础上, CNCPS 把饲料成分的化学分析与反刍动物瘤胃的消化利用结合起来。因而化学分析测定的指标反映了动物对饲料利用的情况, 对饲料营养价值的评定比 Weende 体系的分析方法和尼龙袋技术更为精确, 更好地反映了饲料的特性。因此, CNCPS 今后可作为评定反刍动物饲料营养价值的方法。

参 考 文 献

- 1 Morrison F B. Feeds and Feeding. 22nd ed. Clinton, IA: Morrison Publishing Co., 1956
- 2 Orskov E R, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. J Agric Sci, Cambridge, 1979, 92: 499~503
- 3 Sniffen C J, O'Connor J D, Van Soest P J, et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Carbohydrate and protein availability. J Anim Sci, 1992, 70: 3562~3577
- 4 Smith L W, Goering H K, Gordon C H. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. J Dairy Sci, 1972, 55: 1140
- 5 Van Soest P J, Sniffen C J, Mertens D R, et al. A net protein system for cattle: The rumen submodel for nitrogen. In: Owens F N ed. Protein Requirements for Cattle: Proceedings of an International Symposium. Stillwater: Div of Agric, Oklahoma State Univ, MP-109, 1981, 265
- 6 Pichard D G, Van Soest P J. Protein solubility of ruminant feeds. Ithaca, NY: Proc Cornell Nutr Conf, 1977, 91
- 7 Roe M B, Sniffen C J, Chase L E. Techniques for measuring protein fractions in feedstuffs. Ithaca, NY: Proc Cornell Nutr Conf, 1990, 81
- 8 Krishnamoorthy, U C, Muscato T V, Sniffen C J, et al. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. J Dairy Sci, 1982, 65: 217
- 9 Krishnamoorthy U C, Sniffen, C J, Stern, M D, et al. Evaluation of mathematical model of digesta and *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen undegraded nitrogen content of feedstuffs. Br J Nutr, 1983, 50: 555
- 10 AOAC. Official Methods of Analysis. 13th ed. Washington, D C: Association of Official Analytical Chemists, 1980
- 11 American Association of Cereal Chemists: "Approved Methods of the AACC". Method 76~11, approved October 1976