

# 基于 CNCPS 模型的 14 种饲料瘤胃非降解蛋白组分小肠消化率研究

张英学, 林雪彦, 苏鹏程, 王 云, 王中华\*

(山东农业大学动物科技学院, 泰安 271018)

**摘要:** CNCPS 体系的氨基酸子模型是估计反刍动物十二指肠氨基酸流量的 3 种主要模型之一, 该模型认为过瘤胃 C 蛋白组分在小肠中不能消化, 但有研究表明一些非饲草类饲料的过瘤胃 C 蛋白组分具有较高的小肠消化率。本研究测定了 14 种饲料各蛋白组分的含量、各蛋白组分的瘤胃动态降解率和过瘤胃蛋白组分的 CP 小肠消化率, 用这些数据按照推导的方程对各蛋白组分的小肠消化率进行了最小二乘估计。在以过瘤胃 B1 蛋白组分的小肠消化率 100% 为约束条件时得到了可信的估计结果, 结果表明 CNCPS 模型设定过瘤胃 B1、B2、B3 蛋白组分小肠消化率分别为 100%、100% 和 80% 是可行的, 但有 8 种饲料具有较高的过瘤胃 C 蛋白组分小肠消化率估计值, 其中包括 4 种饲草类饲料, 说明需要对 CNCPS 模型的过瘤胃 C 蛋白组分小肠消化率参数的合理性做进一步研究。

**关键词:** CNCPS; C 蛋白组分; 小肠消化率; 十二指肠; 氨基酸

中图分类号: S852.21; S816.11

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2010)11-1421-07

## A Study on Digestibility in Small Intestine of the Ruminal Undegraded Protein Fractions According to CNCPS Model of 14 Feedstuffs

ZHANG Ying-xue, LIN Xue-yan, SU Peng-cheng, WANG Yun, WANG Zhong-hua\*

(College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

**Abstract:** The amino acid sub-model of Cornell net carbohydrate and protein system is one of the three published major model to predict ruminant duodenal amino acid flux at present. Previous studies indicated that the ruminal undegraded C protein fractions defined by CNCPS model of non-forage feedstuffs may be digestible in small intestine, which questioned the reliability of setting the digestibility of C protein fraction in small intestine to zero by the CNCPS model. Contents, dynamic degrading parameters in the rumen of each protein fractions, and CP digestibility of ruminal degrading residue at different sampling time point of 14 feedstuffs were measured in the present study. These data were used to estimate small intestine digestibility of each ruminal undegraded protein fraction by least square data fitting according a deduced equation. Reliable estimates were acquired when taking small intestine digestibility of ruminal undegraded C protein fraction was 100% as the restrictive condition. Results of the present study indicated that it was reasonable to set the small intestine digestibility of ruminal undegraded B1, B2, and B3 protein fractions as 100%, 100%, and 80% by the CNCPS model. Small intestine digestibility of ruminal undegraded C protein fraction of 8 feedstuffs, 4 of which were roughage, were high enough and can not be neglected, therefore it was reasonable to further investigate the reliability of setting the digestibility of C protein fraction to zero by the CNCPS model.

**Key words:** CNCPS; C protein fraction; small intestine digestibility; duodenum; amino acid

收稿日期: 2010-05-24

基金项目: 国家现代农业(奶业)产业技术体系建设专项资金

作者简介: 张英学(1979-), 男, 山东青州人, 硕士生, 现在青岛彩虹饲料有限公司工作, E-mail: Yxzhang-2004@163.com

\* 通讯作者: 王中华, Tel: 0538-8249961, E-mail: zhwang@sdau.edu.cn

康奈尔净碳水化合物和蛋白质体系(CNCPS)中的氨基酸子模型<sup>[1]</sup>是已发表的评定反刍动物十二指肠氨基酸流量的3种主要模型之一。CNCPS模型属析因模型,该模型根据在硼酸-磷酸盐缓冲液、中性洗和酸性洗涤剂中的溶解特性将饲料粗蛋白(CP)分为A、B、C3个组分。其中A组分为非蛋白氮(NPN),在瘤胃中完全降解;B组分为饲料真蛋白,可进一步细分为B1、B2、B33个组分;C为酸性洗涤不可溶蛋白(ADIP),为不可利用或结合状态的蛋白<sup>[2]</sup>,主要成分为与木质素、单宁等结合的蛋白和米拉德反应的产物<sup>[3-4]</sup>。过瘤胃B1、B2、B3、C蛋白组分和进入十二指肠菌体蛋白(MCP)乘以各自小肠消化率参数和饲料原料必需氨基酸(EAA)构成,得到饲料提供的过瘤胃EAA数量。CNCPS模型采用的B1、B2、B3、C组分和MCP小肠消化率参数分别为100%、100%、80%、0和100%。

CNCPS模型认为C蛋白组分在小肠中不能消化是基于对饲草的研究结果,有研究表明,饲草酸不溶性氮与N消化率间存在显著的负相关<sup>[5-7]</sup>,并且基本上呈一对一的升降关系。然而,这一结果可能不适用于饲草之外的其他饲料,如Nakamura等<sup>[8]</sup>报导,白酒糟ADIN的小肠消化率约为78%;Britton等<sup>[9]</sup>的研究表明,几种非粗饲料蛋白的热损害与ADIN含量之间的相关关系很弱,并且粪便中ADIN的回收率很低。其他研究人员<sup>[10-12]</sup>也报道了类似的结果。鉴于此,本文用体外法测定了14种饲料不同时刻点瘤胃降解残渣的蛋白质小肠消化率,并通过数据拟合估计了过瘤胃残渣各蛋白组分的小肠消化率,以评估不同类型饲料C蛋白组分在小肠中的可消化性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 饲料样品

从奶牛场采集到14种饲料样品,其中粗饲料7种(玉米秸、玉米秸青贮、全株玉米青贮、花生秧、甘薯秧、苜蓿、羊草),精饲料6种(玉米、麸皮、豆粕、豆饼、花生饼、DDGS),糟渣类1种(啤酒糟)。

### 1.2 饲料蛋白组分瘤胃动态降解率评定

按CNCPS体系(Fox,2003)推荐的方法测定饲料样品干物质(DM)、粗蛋白(CP)和5种蛋白组分含量。

瘤胃尼龙袋法测定饲料CP瘤胃动态降解率,每个尼龙袋粗饲料(包括啤酒糟)装样量约2g,精饲

料约4g。每个粗饲料样品共装21个尼龙袋,同时置于瘤胃腹囊处,在置于瘤胃后2、6、12、24、36、48、72h各取出3个尼龙袋测定做为平行样测定各时刻点CP降解率;每个精饲料样品共装18个尼龙袋,分别在置于瘤胃后2、6、12、24、36、48h各取3个尼龙袋作为平行样测定各时刻点CP降解率。Graphpad Prism 4.03软件,最小二乘数据拟合方法估算各蛋白组分瘤胃动态降解率。其中A组分为饲料NPN,属快速降解蛋白,设定为方程的纵坐标截距;C组分为饲料ADIP,瘤胃降解率设定为0:

$$dP_t = A + B1 \times (1 - e^{-kd1 \times t}) + B2 \times (1 - e^{-kd2 \times t}) + B3 \times (1 - e^{-kd3 \times t}) \quad (1)$$

其中: $dP_t$  = 在瘤胃滞留t h后,饲料CP的瘤胃降解率,%;

A = 饲料CP中A蛋白组分的含量,%;

B1 = 饲料CP中B1蛋白组分的含量,%;

B2 = 饲料CP中B2蛋白组分的含量,%;

B3 = 饲料CP中B3蛋白组分的含量,%;

$kd1$  = B1组分瘤胃降解速度常数,%·h<sup>-1</sup>;

$kd2$  = B2组分瘤胃降解速度常数,%·h<sup>-1</sup>;

$kd3$  = B3组分瘤胃降解速度常数,%·h<sup>-1</sup>。

式中 $B1 \times (1 - e^{-kd1 \times t})$ 、 $B2 \times (1 - e^{-kd2 \times t})$ 和 $B3 \times (1 - e^{-kd3 \times t})$ 分别为蛋白组分B1、B2、B3的瘤胃动态降解率,不同时刻点瘤胃降解残渣中未降解的饲料蛋白含量为:

$$dRUP_t = 1 - dP_t + C = B1 \times e^{-kd1 \times t} + B2 \times e^{-kd2 \times t} + B3 \times e^{-kd3 \times t} + C \quad (2)$$

其中: $dRUP_t$  = 在瘤胃降解t h后,残渣中CP的含量,%;其他参数定义同方程(1)。

用于瘤胃降解率测定的试验动物为3头体质量(483±21)kg、泌乳日龄(175±6)d的健康且装有永久性瘤胃瘘管的荷斯坦奶牛。日喂2次(07:30和19:30),自由饮水。日挤奶2次(06:00和18:00)。日粮由玉米、豆粕、小麦麸、玉米秸青贮、苜蓿干草及羊草等原料构成。

### 1.3 瘤胃降解残渣CP小肠消化率测定

体外法测定不同时刻点瘤胃降解残渣的CP小肠消化率,方法参照Calsamiglia(1995)。

### 1.4 瘤胃降解残渣各蛋白组分小肠消化率评定

由体外法测定的不同时刻点瘤胃降解残渣CP小肠消化率,Graphpad Prism 4.03软件,按下式最小二乘数据拟和估计各蛋白组分的小肠消化率:

$$P_{ts} = (B1 \times e^{-kd1 \times t} \times Pb1 + B2 \times e^{-kd2 \times t} \times Pb2 + B3 \times e^{-kd3 \times t} \times Pb3 + C \times Pc) / dRUP_t \quad (3)$$

其中: $P_{ts}$  = 在瘤胃降解 t h 残渣的 CP 体外法小肠消化率, %;

$Pb1$  = B1 蛋白组分小肠消化率, %;

$Pb2$  = B2 蛋白组分小肠消化率, %;

$Pb3$  = B3 蛋白组分小肠消化率, %;

$Pc$  = C 蛋白组分小肠消化率, %;

其他参数定义同方程(1)。

## 2 结 果

### 2.1 饲料 CP 及各蛋白组分含量

所测 14 种饲料的 CP 含量和 A、B1、B2、B3、C 蛋白

组分在 CP 中的含量见表 1。14 种饲料 CP 中 A、B1、B2、B3、C 组分含量的分布范围分别为 4%~37%、1%~33%、3%~56%、5%~69% 和 2%~36%。CP 中 A 组分含量以 2 种青贮饲料最高,均在 36%以上,玉米秸的含量也超过了 22%;豆粕、豆饼、花生秧、花生饼、麸皮的含量在 15%以上;DDGS、苜蓿、羊草、啤酒糟、玉米、甘薯秧的含量在 12%以下;以甘薯秧最低,为 4.19%。CP 中 C 组分含量以玉米秸最高,为 35.10%,其次是玉米秸青贮,含量为 23.36%,是全株玉米青贮(10.48%)的 2 倍以上;除豆粕的含量为 11.93%、DDGS 的含量为 12.88%外,其他精饲料的含量均在 10%以下;苜蓿中 C 组分含量较低,为 6.16%,其他粗饲料均在 10%以上。

表 1 测定 14 种饲料 CP 及各蛋白组分含量

Table 1 CP (DM basis) and protein fraction (CP basis) contents in the 14 measured feedstuffs

饲料 Feedstuff	CP, %DM	饲料 CP 中各蛋白组分含量/% Contents of the five protein fractions in feedstuff				
		A	B1	B2	B3	C
玉米秸青贮 Corn stalk silage	7.04±0.09	36.78±0.27	11.95±0.14	15.20±0.08	22.71±0.13	23.36±0.05
玉米秸 Corn stalk	5.83±0.11	22.57±0.31	10.75±0.09	26.39±0.24	5.19±0.19	35.10±0.16
玉米 Corn	8.31±0.22	4.29±0.05	9.12±0.12	53.11±0.27	16.92±0.05	6.56±0.18
羊草 Leymus chinense	6.97±0.34	9.63±0.15	23.67±0.28	25.38±0.05	19.36±0.12	12.23±0.15
麸皮 Wheat bran	15.72±0.05	15.56±0.12	14.93±0.25	51.66±0.69	8.64±0.14	9.22±0.11
全株玉米青贮 Corn silage	9.73±0.05	36.91±0.02	10.47±0.15	7.77±0.08	34.36±0.20	10.48±0.07
啤酒糟 Brewer's grain	19.51±0.35	8.34±0.16	1.14±0.01	3.73±0.06	68.18±0.99	18.60±0.25
苜蓿 Alfalfa hay	18.61±0.35	10.00±0.22	18.18±0.19	33.28±0.65	7.38±0.25	6.16±0.09
花生秧 Peanut stalk	11.17±0.09	17.60±0.12	32.68±0.15	13.67±0.05	24.10±0.04	11.96±0.10
花生饼 Peanut cake	52.51±1.26	16.27±0.45	23.19±0.12	43.92±0.09	14.32±0.25	2.30±0.05
甘薯秧 Sweet potato vein	7.91±0.25	4.19±0.32	16.83±0.20	29.06±0.11	34.55±0.09	15.38±0.07
豆粕 Soybean meal	46.35±0.59	19.76±0.22	26.78±0.15	41.23±0.98	20.30±0.14	11.93±0.08
豆饼 Soybean cake	41.89±0.32	18.14±0.21	11.12±0.05	55.79±0.66	10.81±0.03	4.13±0.43
DDGS	24.31±0.27	11.90±0.15	21.27±0.42	31.87±0.29	21.09±0.11	12.88±0.09

### 2.2 饲料各蛋白组分瘤胃降解速度常数

按 CNCPS 体系对饲料蛋白组分分类, A 组分在瘤胃中迅速降解, C 组分不能被瘤胃微生物降解, 最小二乘数据拟合估计了 14 种饲料 B1、B2、B3 蛋白组分的瘤胃降解速度常数, 结果见表 2。

### 2.3 饲料过瘤胃各蛋白组分小肠消化率估计结果

#### 2.3.1 $Pc$ 为 0 时, B 组分小肠消化率估计结果

CNCPS 模型认为 C 组分在小肠中不能消化, 在过瘤胃 C 组分小肠消化率( $Pc$ )设为 0 条件下按公式(3)对 3 种过瘤胃 B 组分小肠消化率进行估计, 未能得到可信的结果。除羊草、苜蓿、甘薯秧、豆粕、

豆饼估计结果的  $R^2$  值超过 0.5 之外, 其他饲料的  $R^2$  值均很低, 甚至是负值; 11 种饲料的 B1 组分消化率为 0, 不符合 B1 组分的生物学性质(表 3)。

2.3.2  $Pb1$  为 100%、 $Pc$  为 0 时, B 组分小肠消化率估计结果 B1 组分的瘤胃降解速度很快, 瘤胃降解 2 h 后的残渣中几乎没有 B1 组分, 这可能是造成估计效果较差的原因, 因而在设定 B1 组分小肠消化率( $Pb1$ )为 100%、 $Pc$  为 0 的条件下重新进行了参数估计, 结果见表 4。虽然本条件下的估计效果优于  $Pc=0$  时的估计效果(表 4), 但估计结果仍不可信, 有 7 种饲料估计结果的  $R^2$  值很低, 其中 4 种饲料的  $R^2$  值为负。

表 2 14 种饲料 CNCPS 体系 3 种 B 蛋白组分瘤胃降解速度常数

Table 2 Ruminal degradability rate constants of three B protein fractions in the 14 feedstuffs measured according to CNCPS system

饲料 Feedstuff	3 种 B 蛋白组分瘤胃降解速度常数/(%·h <sup>-1</sup> ) Ruminal degrading rate constants of three B protein fractions			
	B1(kd1)	B2(kd2)	B3(kd3)	R <sup>2</sup>
玉米秸青贮 Corn stalk silage	118.00	7.35	7.22	0.861 7
玉米秸 Corn stalk	113.00	0.34	0.33	0.612 0
玉米 Corn	132.00	6.24	5.00	0.664 4
羊草 Leymus chinense	98.00	3.51	1.24	0.967 9
麸皮 Wheat bran	126.00	9.40	4.02	0.993 6
全株玉米青贮 Corn silage	125.00	5.40	2.82	0.956 9
啤酒糟 Brewer's grain	151.40	18.22	1.50	0.957 2
苜蓿 Alfalfa hay	126.50	11.93	0.66	0.981 5
花生秧 Peanut stalk	128.00	7.80	0.76	0.970 2
花生饼 Peanut cake	121.00	3.10	3.09	0.925 6
甘薯秧 Sweet potato vein	135.00	4.13	1.50	0.977 3
豆粕 Soybean meal	94.58	13.14	5.00	0.849 2
豆饼 Soybean cake	157.00	9.98	5.00	0.904 4
DDGS	118.00	7.17	1.01	0.969 7

表 3 Pc 为 0 时,3 种 B 蛋白组分小肠消化率估计结果

Table 3 Estimated digestibility in small intestine of the three B protein fractions when Pc is 0

饲料 Feedstuff	3 种 B 蛋白组分小肠消化率估计结果/% Estimated digestibility of three B protein fractions				
	B1(Pb1)	B2(Pb2)	B3(Pb3)	C (Pc)	R <sup>2</sup>
玉米秸青贮 Corn stalk silage	0.00	100.00	100.00	0.00	-0.108 3
玉米秸 Corn stalk	0.00	68.27	41.57	0.00	0.322 7
玉米 Corn	0.00	88.57	36.39	0.00	0.269 3
羊草 Leymus chinense	0.00	76.30	32.56	0.00	0.635 8
麸皮 Wheat bran	0.00	100.00	100.00	0.00	-0.561 8
全株玉米青贮 Corn silage	0.00	100.00	100.00	0.00	0.204 8
啤酒糟 Brewer's grain	0.00	87.95	74.22	0.00	-0.148 2
苜蓿 Alfalfa hay	0.00	100.00	62.19	0.00	0.565 7
花生秧 Peanut stalk	0.00	99.16	80.03	0.00	0.444 7
花生饼 Peanut cake	100.00	100.00	100.00	0.00	-0.401 3
甘薯秧 Sweet potato vein	16.22	100.00	84.13	0.00	0.626 9
豆粕 Soybean meal	0.00	100.00	14.30	0.00	0.815 6
豆饼 Soybean cake	0.00	92.65	100.00	0.00	0.676 3
DDGS	34.04	100.00	77.22	0.00	0.457 0

2.3.3 无约束条件下,3 种 B 蛋白组分和 C 蛋白组分小肠消化率估计结果 为了检验将 Pc=0 做为约束条件是否是估计效果较差的原因,在无约束条件下对 B1、B2、B3 和 C 蛋白组分小肠消化率进行了最小二乘估计,结果见表 5。14 种饲料估计参数的

R<sup>2</sup> 值较高,表明由估计参数代入方程(3)计算的 P<sub>ts</sub> 值与 P<sub>ts</sub> 实测值之间拟合良好,但估计的 B1 组分小肠消化率多数为 0,与 B1 蛋白组分的性质不符,说明在估计时加入 B1 组分小肠消化率为 100% 的约束条件是必要的。

表 4 Pb1 为 100%、Pc 为 0%时,3 种 B 蛋白组分小肠消化率估计结果

Table 4 Estimated digestibility in small intestine of the three B protein fractions when Pb1 is 100% and Pc is 0

饲料 Feedstuff	3 种 B 蛋白组分小肠消化率估计结果/% Estimated digestibility of three B protein fractions				
	B1(Pb1)	B2(Pb2)	B3(Pb3)	C (Pc)	R <sup>2</sup>
玉米秸青贮 Corn stalk silage	100.00	100.00	99.25	0.00	-0.091 2
玉米秸 Corn stalk	100.00	94.27	22.35	0.00	-0.122 1
玉米 Corn	100.00	92.35	36.39	0.00	0.269 3
羊草 Leymus Chinese	100.00	51.03	62.25	0.00	0.422 7
麸皮 Wheat bran	100.00	83.61	87.25	0.00	-0.473 5
全株玉米青贮 Corn silage	100.00	45.38	95.44	0.00	0.113 7
啤酒糟 Brewer's grain	100.00	95.34	63.37	0.00	-0.219 4
苜蓿 Alfalfa hay	100.00	100.00	62.97	0.00	0.722 3
花生秧 Peanut stalk	100.00	100.00	87.97	0.00	0.727 7
花生饼 Peanut cake	100.00	94.11	90.79	0.00	0.879 2
甘薯秧 Sweet potato vein	100.00	100.00	83.18	0.00	0.806 6
豆粕 Soybean meal	100.00	100.00	12.25	0.00	0.723 5
豆饼 Soybean cake	100.00	69.36	100.00	0.00	0.617 7
DDGS	100.00	100.00	73.72	0.00	0.750 7

表 5 无约束条件下,3 种 B 蛋白组分和 C 蛋白组分小肠消化率估计结果

Table 5 Estimated digestibility in small intestine of the three B and C protein fractions when no restrictive conditions were imposed

饲料 Feedstuff	3 种 B 和 C 蛋白组分小肠消化率估计结果/% Estimated digestibility of three B and C protein fractions				
	B1(Pb1)	B2(Pb2)	B3(Pb3)	C (Pc)	R <sup>2</sup>
玉米秸青贮 Corn stalk silage	0.00	100.00	100.00	45.00	0.531 4
玉米秸 Corn stalk	0.00	68.00	83.00	25.00	0.401 7
玉米 Corn	0.00	68.00	100.00	3.00	0.861 0
羊草 Leymus Chinese	0.00	48.00	100.00	2.00	0.705 0
麸皮 Wheat bran	0.00	100.00	100.00	59.00	0.907 8
全株玉米青贮 Corn silage	0.00	100.00	100.00	28.00	0.685 6
啤酒糟 Brewer's grain	0.00	91.00	74.00	0.00	0.619 9
苜蓿 Alfalfa hay	0.00	100.00	62.00	0.00	0.565 7
花生秧 Peanut stalk	0.00	80.00	88.00	0.00	0.629 0
花生饼 Peanut cake	100.00	95.00	92.00	0.00	0.604 3
甘薯秧 Sweet potato vein	66.00	100.00	84.00	0.00	0.626 8
豆粕 Soybean meal	43.00	100.00	100.00	66.00	0.834 4
豆饼 Soybean cake	0.00	86.00	100.00	14.00	0.877 9
DDGS	23.00	100.00	74.00	0.00	0.774 3

2.3.4 Pb1 为 100%时,B 蛋白组分和 C 蛋白组分  
小肠消化率估计结果 以 Pb1 为 100%做为约束

条件,按方程(3)最小二乘数据拟和估计出 B2、B3  
和 C 蛋白组分的小肠消化率,估计结果见表 6。

表 6 Pb1 为 100% 时, B 蛋白组分和 C 蛋白组分小肠消化率估计结果

Table 6 Estimated digestibility in small intestine of B and C protein fractions when Pb1 is 100%

饲料 Feedstuff	B 和 C 蛋白组分小肠消化率估计结果/% Estimated digestibility of B and C protein fractions				
	B1(Pb1)	B2(Pb2)	B3(Pb3)	C (Pc)	R <sup>2</sup>
玉米秸青贮 Corn stalk silage	100.00	100.00	100.00	45.43	0.531 4
玉米秸 Corn stalk	100.00	100.00	83.11	22.26	0.722 7
玉米 Corn	100.00	100.00	72.24	4.60	0.965 3
羊草 Leymus Chinese	100.00	78.28	63.74	11.93	0.712 7
麸皮 Wheat bran	100.00	100.00	100.00	59.02	0.907 8
全株玉米青贮 Corn silage	100.00	100.00	100.00	28.88	0.730 2
啤酒糟 Brewer's grain	100.00	100.00	74.22	32.28	0.662 7
苜蓿 Alfalfa hay	100.00	100.00	62.97	0.00	0.722 3
花生秧 Peanut stalk	100.00	100.00	87.97	0.00	0.727 7
花生饼 Peanut cake	100.00	100.00	90.79	0.00	0.879 2
甘薯秧 Sweet potato vein	100.00	100.00	83.18	0.00	0.806 6
豆粕 Soybean meal	100.00	100.00	100.00	15.77	0.815 6
豆饼 Soybean cake	100.00	100.00	92.54	12.25	0.879 1
DDGS	100.00	100.00	73.72	0.00	0.750 7

### 3 讨论

B1 组分在瘤胃中的降解速度很快,所测定的 14 种饲料除羊草和豆粕接近  $100\% \cdot h^{-1}$  外,其他饲料 B1 组分瘤胃降解速度常数(kd1)均在  $100\% \cdot h^{-1}$  以上。14 种饲料 B2 组分瘤胃降解速度常数(kd2)差异较大,分布范围为  $(0.34 \sim 18.22)\% \cdot h^{-1}$ , B3 组分(kd3)的分布范围为  $(0.33 \sim 7.22)\% \cdot h^{-1}$ 。CNCPS (Fox, 2003) 数据表中各种饲料 kd1、kd2、kd3 的分布范围分别在  $100 \sim 500$ 、 $1 \sim 20$  和  $(0.3 \sim 10)\% \cdot h^{-1}$  之间,本研究测定 14 种饲料 kd2 与 kd3 的分布范围与 CNCPS 数据表中的分布范围符合良好, kd1 的分布范围虽然在 CNCPS 数据表范围之内,但均在  $200\% \cdot h^{-1}$  以下,测定结果可能偏低。本研究测定各蛋白组分瘤胃降解率的第一个采样点为 2 h, 此时大部分饲料降解残渣中残留 B1 组分已很少,这是 kd1 测定值偏低的原因。由于 kd1 较其他蛋白组分的 kd 值高 1~2 个数量级,在方程(3)中  $B1 \times e^{-kd1 \times t} \times Pb1$  项的数值很小,低估 kd1 对各蛋白组分小肠消化率的估计结果影响不大。

由于很难收集到足够数量的瘤胃降解残渣,且 B2、B3 组分实际上是不能分离的,直接测定不同时刻点瘤胃降解残渣各蛋白组分的小肠消化率非常困难。本研究采用数据拟和方法,由测定得到的不同时刻点饲料瘤胃降解残渣 CP 小肠消化率、饲料原

料各蛋白组分含量和各蛋白组分瘤胃降解速度常数,对过瘤胃残渣各蛋白组分的小肠消化率进行了估计。

Pb1 为 100% 时得到了可信的估计结果,14 种饲料按方程(3)数据拟和的  $R^2$  在  $0.53 \sim 0.97$  的范围内,表明  $P_{is}$  的计算值与实测值之间符合良好。估计的 B2 组分小肠消化率(Pb2)除羊草为 78.28% 外,其他 13 种饲料均为 100%;估计的 14 种饲料 B3 组分小肠消化率(Pb3)为  $63.74\% \sim 100\%$ , 其中有 4 种饲料为 100%, 2 种饲料在 70% 以下,与 CNCPS 模型将 B2、B3 组分小肠消化率参数分别设为 100% 和 80% 基本吻合。苜蓿、花生饼、花生秧、甘薯秧、DDGS 5 种饲料 C 蛋白组分小肠消化率估计值为 0, 玉米 C 蛋白组分小肠消化率估计值为 4.60%, 接近于 0, 其他 8 种饲料 C 组分小肠消化率估计值均在 11% 以上,其中玉米秸青贮、麸皮的估计值在 45% 以上。总体上看,以  $Pb1=100\%$  为约束条件得到了可信的估计结果,从估计结果看,CNCPS 模型将 B1、B2 蛋白组分小肠消化率设为 100%, B3 组分设为 80% 是合理的,但将 C 组分小肠消化率设为 0 值得商榷,不仅部分精饲料还包括部分粗饲料的 C 组分在小肠中可能具有较高的消化率。

采用 4 种不同的约束条件进行了参数估计,在  $Pb1=100\%$  的约束条件下得到了较好的估计结果。从估计结果看,CNCPS 模型将过瘤胃 B1、B2、B3 蛋

白组分小肠消化率分别设为 100%、100% 和 80% 是可行的, 但将 C 组分的小肠消化率设为 0 可能影响小肠可消化 EAA 流量预测的准确性。本研究的估计结果中, 麸皮、啤酒糟、豆粕、豆饼的过瘤胃 C 组分的小肠消化率分别为 59.02%、32.28%、15.77% 和 12.25%, 与其他一些研究得到的非饲草类饲料过瘤胃 C 组分在小肠中可以消化的结果一致<sup>[8-12]</sup>。值得注意的是, 本研究估计的玉米秸青贮、玉米秸、羊草、全株玉米青贮过瘤胃 C 组分的小肠消化率也较高, 其中玉米秸青贮高达 45.53%, 说明一些类型粗饲料的过瘤胃 C 组分在小肠中也可能具有较高的消化率。

本研究结果表明, 有必要对 CNCPS 模型饲料过瘤胃 C 组分小肠消化率参数的可靠性做进一步的研究, 进一步的工作包括对多种饲料的 C 组分进行分离, 直接测定其小肠消化率, 并通过分析不同饲料 C 组分的构成研究影响不同饲料 C 组分小肠消化率的原因。

**致谢:** 本研究饲料蛋白组分瘤胃降解率测定和不同时刻点降解残渣收集工作在中国农业大学国家动物营养重点实验室完成, 李胜利教授、张晓明教授为本工作的完成提供了支持。

#### 参考文献:

- [1] FOX D G, TYLUTKI T P, TEDESCHI L O, et al. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion [M]. New York: CNCPS version 5.0, Animal Science Mimeo 213, 2003: 14801-14853.
- [2] PICHARD D G, VAN SOEST P J. Protein solubility of ruminant feeds [C]. Ithaca, NY : Proc Cornell Nutr Conf, 1977:91.
- [3] KRISHNAMOORTHY U C, MUSCATO T V, SNIFFEN C J, et al. Nitrogen fractions in selected feedstuffs [J]. *J Dairy Sci*, 1982, 65:217-223.
- [4] KRISHNAMOORTHY U C, SNIFFEN C J, STEM

- M D, et al. Evaluation of a mathematical model of digesta and *in-vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen undegraded nitrogen content of feedstuffs [J]. *Br J Nutr*, 1983, 50:555-559.
- [5] VAN SOEST P J. Use of detergents in analysis of fibrous feeds, III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages [J]. *J AOAC*, 1965, 48:785-790.
- [6] GOERING H K, GORDON C H, HEMKEN R W, et al. 1972. Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages [J]. *J Dairy Sci*, 1972,55:1275-1280.
- [7] YU Y. Relationship between measurements of heating and acid-detergent insoluble nitrogen in heat damaged fresh alfalfa, haylage and hay [J]. *J Dairy Sci*, 1976, 59:1845-1851.
- [8] NAKAMURA T, KLOPFENSTEIN T J, BRITTON R A. Evaluation of acid detergent insoluble nitrogen as an indicator of protein quality in nonforage proteins [J]. *J Anim Sci*, 1994, 72:1043-1048.
- [9] BRITTON R A, KLOPFENSTEIN T J, CLEALE R M, et al. Methods of estimating heat damage in protein sources [C]. Proc Distillers Feed Conf, 1986, 41:67-73.
- [10] ROGERS J A, CONRAD H R, DEHORITY B A, et al. Microbial numbers, rumen fermentation, and nitrogen utilization of steers fed wet or dried brewer's grains [J]. *J Dairy Sci*, 1986, 69:745-752.
- [11] CLEALE R M, KLOPFENSTEIN T J, BRITTON R A, et al. Induced non-enzymatic browning of soybean meal. III. Digestibility and efficiency of protein utilization by ruminants of soybean meal treated with xylose or glucose [J]. *J Anim Sci*, 1987, 65:1327-1333.
- [12] WEISS W P, ERICKSON D O, ERICKSON G M, et al. Barley distillers grains as a protein supplement for dairy cows [J]. *J Dairy Sci*, 1989, 72:980-986.

(编辑 朱绯)