

大豆皮替代奶牛日粮中玉米与小麦麸对瘤胃 干物质与纤维消化的影响

闵晓梅 孟庆翔 鲁琳 范小飞

(中国农业大学动物科技学院)

P. J. M cKinnon 熊易强

(美国大豆协会北京办事处)

摘要 采用尼龙袋消化试验研究大豆皮替代产奶牛日粮中玉米与小麦麸对瘤胃干物质与纤维消化特性的影响。试验处理为大豆皮分别替代精料中 0(对照), 25%, 50%, 75% 和 100% 玉米与小麦麸的 5 个替代水平的产奶牛饲料。饲料的精料和粗料比为 50:50。利用 2 头装有永久性瘤胃瘘管的本地黄牛测定 5 种大豆皮替代水平饲料的干物质(DM)和中性洗涤纤维(NDF)的尼龙袋消化率与动态消化参数。所用数学模型为: $Y = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$ 。大豆皮 DM 与 NDF 的每小时消化速度分别为 0.072 和 0.063, DM 和 NDF 中潜在可消化组分比例($a + b$)分别为 92% 和 89%。提高大豆皮替代水平, 饲料 DM 中慢速消化组分 b 直线提高($P = 0.023$), 快速消化组分 a 趋于下降($P = 0.140$), 消化延滞期趋于延长($P = 0.127$)。提高大豆皮替代水平, 对饲料 DM 中其他动态消化参数没有影响($P = 0.360 \sim 0.903$)。随着大豆皮替代玉米与小麦麸水平的提高, 饲料 NDF 中慢速消化组分的比例 b , 潜在可消化组分($a + b$)呈二次曲线规律提高($P = 0.001 \sim 0.006$), 快速消化组分 a 的比例趋于线性提高($P = 0.082$), 而慢速消化组分的消化速度 c 不受大豆皮替代水平的影响($P = 0.688$)。从本试验得出结论: 以大豆皮替代奶牛饲料中 0, 25%, 50%, 75% 和 100% 的玉米与小麦麸, 对饲料干物质潜在可消化组分比例和消化速度无明显影响, 但对纤维消化具有促进作用。

关键词 大豆皮; 尼龙袋法; 动态消化; 奶牛

分类号 S816.15

Effect of Replacing Corn and Wheat Bran with Soyhulls in Dairy Cow Diets on Digestion Characteristics of Dry Matter and Fiber

Min Xiaomei Meng Qingxiang Lu Lin Fan Xiaofei

(College of Animal Sciences and Technology, CAU)

P. J. M cKinnon Xiong Yiqiang

(American Soybean Association Beijing Office)

Abstract An *in situ* digestion trial was conducted to determine effect of replacing corn and wheat bran with soyhulls (SH) in dairy cow diets on digestion characteristics of dietary dry matter and fiber. Five concentrate mixtures with 0, 25%, 50%, 75% and 100% SH replacements for corn and wheat bran were mixed with forages (50:50, DM) and were used as treatment diets. The digestion rates of SH DM and NDF were $0.072 \cdot h^{-1}$ and $0.063 \cdot h^{-1}$, and the percentages of potentially digestible DM and NDF for SH were 92% and 89%,

收稿日期: 2000-02-23

闵晓梅, 北京海淀区圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094

respectively. As SH replacements increased, the percentage of slowly digestible DM fraction linearly increased ($P = 0.023$), the percentage of the fast digestible DM fraction tended to decrease ($P = 0.140$), digestion lag time tended to be prolonged ($P = 0.127$), whereas other digestion kinetic parameters were unaffected ($P = 0.360 \sim 0.903$). Increasing SH replacements resulted in a quadratic ($P = 0.001 \sim 0.006$) increase in slowly digestible NDF fraction and percentages of potentially digestible NDF. With increasing SH replacements, fast digestible NDF fractions tended to increase (linear, $P = 0.082$), whereas the digestion rate of dietary NDF was unaffected ($P = 0.688$). It was concluded that when SH replaced for corn and wheat bran at a rate ranged from 25% to 100% in dairy cow diets, there was no difference in potential digestion fractions and digestion rate of dietary DM, whereas there was a positive effect on fiber digestion.

Key words soybean hulls; *in situ*; digestion kinetics; dairy cows

去皮浸出工艺加工大豆的副产品大豆皮(soyhulls)主要成分是细胞壁及植物纤维,不能很好地被猪、鸡等单胃动物消化吸收,但可以通过瘤胃微生物的作用被反刍动物所利用。尽管大豆皮的中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量高达67%和50%,但其木质素含量不足2%^[1],这使得大豆皮的活体外干物质消化率高达90%^[2]。据报道,大豆皮干物质27h尼龙袋消失率达到90.3%,36~48h可完全被消化^[3,4]。大豆皮的NDF可消化程度为95%^[5];其NDF的尼龙袋消失速度为每小时6%~7.5%^[6,7]。

大豆皮在反刍动物饲养中替代能量饲料的研究在国外已有许多报道,我国学者也进行了利用大豆皮饲喂产奶牛的试验研究^[8],但有关大豆皮替代不同水平精料成分对瘤胃干物质与纤维消化动态学方面的研究目前尚未见报道。本研究采用尼龙袋试验方法,研究大豆皮替代奶牛饲粮不同水平玉米与小麦麸对瘤胃干物质和纤维动态消化规律的影响,为大豆皮在反刍动物生产中的合理应用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 饲粮配方

根据NRC^[1]奶牛营养需要,配制出以大豆皮替代饲粮中0,25%,50%,75%和100%玉米与小麦麸的5种饲粮,饲粮配方与营养成分见表1。大豆皮购自江苏省张家港东海粮油工业有限公司。所有饲料样本粉碎过1mm筛,干燥备用。

1.2 试验方法

2头体重约为400kg,安装有永久性瘤胃瘘管的本地阉牛作为试验动物。试验牛按1.3倍维持水平饲养。每天分2次饲喂混合精料(组成为玉米69.6%,大豆粕24%,骨粉2.2%,石粉1.8%,食盐1.2%,微量元素-维生素预混料1.2%)2kg,羊草2kg,干玉米秸自由采食,自由饮水。

在每一尼龙袋(80mm×120mm;孔径50μm)中准确称入约5g饲粮或大豆皮样本。将尼龙袋固定于铁链上,放入试验牛瘤胃中培养。在培养6,12,24,48和72h后取出尼龙袋,用自来水缓慢冲洗干净,在100℃下烘干,称重。每个样本每个时间点有3个重复测定。

1.3 化学分析

采用常规烘箱烘干法分析饲料原料和尼龙袋残渣样本的干物质质量(DM), 根据 Goering 与 Van Soest^[9]的方法分析样本的NDF 含量。

1.4 结果计算与统计分析

计算各个培养时间点大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲粮与大豆皮样本的DM 及 NDF 消化率。根据 McDonald^[10]的动态消化模型利用 SAS^[11]统计软件中的NON-LINEAR 方法计算样本的动态消化参数。该模型为:

$$P = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$$

式中: P 为 t 时间点DM 或NDF 的消化率; a 为样本中与水溶物相关的快速消化组分的比例, 在公式中为指数曲线的截距; b 为样本中慢速消化组分的比例; c 为 b 组分的消化速度; t 为样本在瘤胃中的培养时间; L 为消化延滞期。

对各个时间点培养DM 与NDF 消化率与动态消化参数进行GLM 方法方差分析, 并进行大豆皮替代处理的CONTRAST 直线(L)和二次曲线(Q)反应趋势分析^[11]。

表 1 大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲粮配方及其营养成分

项 目	大豆皮替代水平 w /% (DM)				
	0	25	50	75	100
饲料组成 w /%, (DM)					
青贮玉米秸	20	20	20	20	20
羊草	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
啤酒糟	15	15	15	15	15
压块玉米秸	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
玉米籽粒	20	16.5	11.15	6.5	1.7
小麦麸	5	2.35	2	1	0
大豆皮	0	6.25	12.5	18.75	25
大豆粕	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
玉米酒精糟	3	3	3	3	3
棉仁粕	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
胡麻粕	3	3	3	3	3
预混料	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
食盐	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
骨粉	1.6	1.7	1.85	2.05	2.1
牡蛎粉	0.9	0.7	0.5	0.1	0
小苏打	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
饲料化学成分 w /% (DM)					
DM w /%	92.3	92.4	92.1	92.4	92.1
NE1, MJ·kg ⁻¹	6.48	6.48	6.48	6.48	6.48
CP	17.2	17.3	17.9	17.3	17.8
NDF	39.2	41.8	45.1	48.3	51.4
ADF	26.5	29.2	32.1	34.9	37.8
Ca	0.94	0.92	0.91	0.88	0.88
P	0.69	0.66	0.67	0.68	0.66

微量元素-维生素预混料每千克含有: Fe 10 g; Cu 2.4 g; Mn 8.4 g; Zn 13 g; I 160 mg; Se 70 mg; Co 100 mg; VA 960 IU; VD₃ 200 IU; VE 7.5 g。

查表^[12]计算结果。



2 结果与讨论

2.1 大豆皮的养分消化率与动态消化参数

表 2 列出了大豆皮 DM 和 NDF 在不同培养时间点的消化率和计算的动态消化参数。大豆皮 DM 和 NDF 48 h 消化率分别达到 86% 和 81%，且 DM 和 NDF 消化速度分别达到每小时 0.072 和 0.063。Hsu 等^[4]报道，大豆皮在瘤胃中 36~48 h 可以完全被消化。Ludden 等^[7]和 Anderson 等^[6]证实，大豆皮 NDF 在瘤胃的消失速度为每小时 0.06~0.075。本试验结果与此相一致。本试验所得到的 DM 和 NDF 消化率数据与采用的数学模型具有很好的拟合度 ($R^2_{DM} = 0.999$; $R^2_{NDF} = 0.986$, 图 1)。大豆皮的 DM 和 NDF 中潜在可消化组分比例 ($a+b$) 分别达到 92% 和 89%，不仅大大超过苜蓿中潜在可消化 NDF 组分的比例 (41%~45%^[12])，而且高于燕麦的可消化 DM 比例 (79%^[13])。

2.2 大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲料的养分消化率与动态消化参数

如表 3 所示，大豆皮替代精料中玉米与小麦麸对饲料 NDF 各时间点的消化率具有显著影响 ($P < 0.0001$)，但对饲料 DM 各时间点的消化率 (6 h 除外， $P < 0.003$) 没有明显影响 ($P > 0.11$)。随着大豆皮替代玉米与小麦麸水平的提高，6 和 12 h 培养的尼龙袋 DM 消化率直线下降 ($P < 0.02$)，但当培养进行至 24 h 以后，大豆皮不同替代水平的饲料间 DM 消化率没有显著差异 ($P > 0.11$)。提高大豆皮替代水平导致饲料 NDF 消化率提高，其中 6 和 12 h 培养的 NDF 消化率呈直线提高 ($P = 0.04$ 和 $P = 0.001$)，而 24~72 h 培养的 NDF 消化率呈二次曲线规律上升 ($P = 0.001 \sim 0.049$, 表 3)。在 6 和 12 h 培养阶段，提高大豆皮替代水平降低饲料 DM 消化率的原因主要与饲料中大豆皮 NDF 未能开始有效消化有关。大豆皮中 NDF 消化率低于玉米和小麦麸中淀粉的消化率，这点可以从表 3 中 6 和 12 h 两个时间点含大豆皮饲料较低的 DM 消化率得到验证。24 h 后含大豆皮饲料 (25%~100% 替代水平) 的 NDF 消化率均高于不含大豆皮饲料 (0 替代水平) 的 NDF 消化率，其原因可能与添加大豆皮具有一定的促进尼龙袋内饲料纤维消化的“正互作效应”有关。添加大豆皮导致日粮纤维消化率提高的“正互作效应”在活体内试验^[14, 15]中已有报道。

由表 4 可见，提高大豆皮替代水平，饲料 DM 中慢速消化组分 b 的比例直线提高 ($P = 0.023$)，快速消化组分 a 趋于下降 ($P = 0.140$)，消化延滞期 L 趋于延长 ($P = 0.127$)。这可能是由于大豆皮的主要成分是 NDF，比其所替代的玉米和小麦麸中的淀粉消化速度较慢，消化延滞期也较长。提高大豆皮替代水平，对饲料潜在可消化组分 ($a+b$) 和消化速度 c 没有影响 ($P = 0.360 \sim 0.903$)。随着大豆皮替代玉米与小麦麸比例的提高，饲料 NDF 中慢速消化组分的比例 b 、潜在可消化组分 ($a+b$) 和消化延滞期 L 呈二次曲线规律提高 ($P = 0.001 \sim 0.006$)，快速消化组分 a 的比例趋于线性提高 ($P = 0.082$)，而慢速消化组分的消化速度 c 不受大豆皮替代水平的影响 ($P = 0.688$)。从本次尼龙袋消化试验结果来看，似乎以大豆皮替代饲料精料中 25%~75% 玉

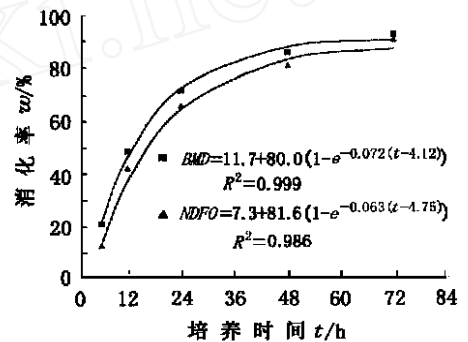


图 1 大豆皮 DM 与 NDF 在瘤胃中的尼龙袋消化率

米与小麦麸提高饲料NDF潜在可消化组分和慢速消化组分比例的效果为好。提高大豆皮替代精料中玉米与小麦麸的水平, 导致NDF中潜在可消化组分和慢速消化组分比例提高。其原因是大豆皮中NDF木质化程度低, 与玉米和小麦麸相比, 其NDF消化率高且消化速度快。进一步研究工作需要进行动物活体内消化试验和瘤胃微生物学试验加以证实。NDF消化延滞期随大豆皮替代水平的提高呈二次曲线规律变化, 对此尚难解释。

表 2 大豆皮各时间点的DM 与NDF 消化率和动态消化参数 n= 6

项 目	干物质量(DM) (±SD)	中性洗涤纤维(NDF) (±SD)
消化率 w /%		
培养时间 t /h 6	20.9 (±1.8)	12.5 (±2.4)
12	48.4 (±2.1)	42.1 (±2.5)
24	71.5 (±1.6)	65.9 (±1.9)
48	86.1 (±1.9)	81.1 (±1.7)
72	93.1 (±0.9)	91.2 (±1.2)
动态消化参数 a, w /%	11.7 (±1.7)	7.3 (±0.3)
b, w /%	80.0 (±0.5)	81.6 (±0.4)
$a + b, w$ /%	91.63 (±2.4)	88.8 (±0.6)
c, t /h	0.072 (±0.002)	0.063 (±0.003)
Lag, t /h	4.1 (±0.3)	4.8 (±0.2)

表 3 大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲料的DM 与NDF 的消化率 w /%

项 目	大豆皮替代水平 w /%					SEM 值	反应趋势, $P =$	
	0	25	50	75	100		L	Q
DM 消化率								
培养时间 t /h 6	25.2	23.9	23.0	22.5	19.5	0.9	0.001	0.408
12	38.6	36.3	34.3	31.7	33.7	1.8	0.020	0.263
24	53.6	54.0	53.2	51.9	49.5	2.0	0.113	0.413
48	69.0	71.1	71.0	68.2	68.8	1.1	0.302	0.151
72	75.1	76.6	75.2	74.9	74.0	0.4	0.003	0.010
NDF 消化率								
培养时间 t /h 6	9.7	8.7	8.2	11.2	11.5	1.0	0.040	0.187
12	21.8	20.7	24.8	28.0	29.2	1.2	0.001	0.393
24	43.1	47.9	47.2	48.2	47.9	1.1	0.010	0.049
48	54.1	61.6	64.2	64.6	64.6	0.6	0.001	0.001
72	64.6	69.1	70.7	70.8	70.3	0.4	0.001	0.001

L 为大豆皮替代水平的直线反应值; Q 为大豆皮替代水平的二次曲线反应值。下同。

表4 大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲料粮的瘤胃尼龙袋养分动态消化参数 DM

项目	大豆皮替代水平 $w/\%$					SEM 值	反应趋势, $P <$	
	0	25	50	75	100		L	Q
DM 消化参数								
$a, w/\%$	10.1	9.5	8.3	8.5	6.2	1.8	0.140	0.767
$b, w/\%$	68.6	71.3	72.0	71.4	72.2	0.9	0.023	0.167
$(a+b), w/\%$	78.7	80.8	80.3	79.9	78.4	2.0	0.796	0.360
$c, t/h$	0.045	0.044	0.045	0.040	0.043	0.005	0.593	0.903
Lag, t/h	0.71	1.04	1.34	1.08	1.27	0.3	0.127	0.286
NDF 消化参数								
$a, w/\%$	2.0	2.5	3.7	2.9	5.4	1.0	0.082	0.646
$b, w/\%$	63.9	68.6	69.0	69.8	66.7	0.5	0.002	0.001
$(a+b), w/\%$	65.9	71.1	72.7	72.7	72.1	1.1	0.001	0.005
$c, t/h$	0.045	0.051	0.051	0.050	0.053	0.004	0.194	0.688
Lag, t/h	3.2	4.6	4.7	3.1	4.0	0.2	0.746	0.006

值得注意的是,本试验中5种混合饲料,特别是0替代水平饲料的DM消化率观察值对动态消化模型的拟合度($R^2=0.915$)明显低于其NDF消化率的拟合度($R^2=0.986\sim 0.998$,表4)。这可能是因为饲料DM中的b组分至少包含淀粉(消化速度相对较快)和NDF(消化速度相对较慢)2个组分。在类似情况的试验中,Xiong等^[16]报道,用双组分模型描述生淀粉与全熟化淀粉的混合物的动态消化过程,其拟合度明显高于单组分模型。

3 结论

大豆皮消化率高,消化速度快,干物质和细胞壁潜在可消化组分比例分别达到92%和89%,消化速度分别达到每小时0.072和0.063。以大豆皮替代奶牛饲料中0,25%,50%,75%和100%的玉米与小麦麸,对饲料干物质潜在可消化组分比例和消化速度均无明显影响,但对纤维消化有促进作用。

参 考 文 献

- 1 NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th Rev. ed. Washington, DC: National Academy Press, 1989
- 2 Quicke G V, Bentley O G, Scott H W, et al. Digestibility of soybean hulls and flakes and the *in vitro* digestibility of the cellulose in various milling by-products. J Dairy Sci, 1959, 42: 185, 186
- 3 Belyea R L, Stevens B J, Restrepo R J, et al. Variation in composition of by-product feeds. J Dairy Sci, 1989, 72: 2339~ 2345
- 4 Hsu J T, Faulkner D B, Garleb K A, et al. Evaluation of corn fiber, cottonseed hulls, oat hulls, and soybean hulls as roughage sources for ruminants. J Anim Sci, 1987, 65: 244~ 255
- 5 Klopfenstein P J, Owen F G. Soyhulls: An energy supplement for ruminants. Anim Health Nutr, 1987,

- 43: 48~ 52
- 6 Anderson S J, Merrill J K, McDonnell M L, et al Digestibility and utilization of mechanically processed soybean hulls by lambs and steers *J Anim Sci*, 1988, 66: 2965~ 2976
 - 7 Ludden P A, Cecava M J, Hendrix K S. The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat *J Anim Sci*, 1995, 73: 2706~ 2711
 - 8 鲁琳, 孟庆翔, 史敬飞, 等 大豆皮替代产奶牛日粮精料中玉米与小麦麸对产奶性能的影响 *中国畜牧杂志*, 2000, 36: (待发表)
 - 9 Goering H K, Van Soest P J. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric Handbook No. 379 ARS-USA*, Washington, DC. 1970
 - 10 McDonald I A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen *J Agric Sci (Camb)*, 1981, 96: 251~ 252
 - 11 SAS SAS User's Guide: Statistics (Version 6.12 ed.). SAS Inst Inc, Cary, NC, 1996
 - 12 Pantoja J, Firkins J L, Eastridge M L, et al Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows *J Dairy Sci*, 1994, 77: 2341~ 2356
 - 13 Herrera-Saldana R E, Huber J T, Poore M H. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains *J Dairy Sci*, 1990, 73: 2386~ 2393
 - 14 Cunningham K D, Cecava M J, Johnson T R. Nutrient digestion, nitrogen, and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate *J Dairy Sci*, 1993, 76: 3523~ 3535
 - 15 Nakamura T, Owen F G. High amounts of soyhulls for pelleted concentrate diets *J Dairy Sci*, 1989, 72: 988~ 994
 - 16 Xiong Y Q, Bartle S J, Preston R L. Improved enzymatic method to measure processing effects and starch availability in sorghum grain *J Anim Sci*, 1990, 68: 3861~ 3870