

大豆皮替代粗饲料饲喂肉幼兔的生长性能和体外纤维饲料动态发酵¹

EFFECTS OF REPLACING ROUGHAGE WITH SOYHULLS ON PERFORMANCE AND FIBER DIGESTION KINETICS IN GROWING RABBITS

孟庆翔 李经纬 杜玉川

中国农业大学 动物科技学院

熊易强 美国大豆协会北京办事处

摘 要

通过肉幼兔生长试验和盲肠微生物活体外发酵试验，评定大豆皮替代不同水平粗饲料大豆秸的饲喂价值。利用 45 只肉幼兔进行 30 天生长试验，饲料处理为大豆皮分别替代 0%、25%和 50%大豆秸。随大豆皮替代粗饲料水平的提高，试兔日增重和饲料转化效率呈二次曲线规律提高($P < 0.04$)，其中在 25%替代水平下最高，但对饲料进食量没有显著影响($P > 0.10$)。提高大豆皮替代水平导致盲肠内容物 pH 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度直线降低($P < 0.001$)，而总挥发酸浓度直线提高($P < 0.03$)。随饲粮中大豆皮替代粗饲料比例的提高，苜蓿、大豆皮和小麦秸等纤维饲料的活体外 48 h 净产气量、产气速度均直线提高($P < 0.001$)，而产气延滞期直线降低($P < 0.01$)。

家兔属盲肠发酵动物，粗饲料是其纤维的重要来源。纤维饲料不仅作为家兔盲肠微生物发酵的底物产生短链脂肪酸提供能量，而且还可以作为物理因子刺激胃肠蠕动和提高食糜外流速度，从而防止消化功能障碍。大豆秸是我国北方地区广泛用于家兔饲养的粗饲料。虽然大豆秸可以有效刺激胃肠蠕动，但由于其木质化程度高，因而消化率低。大豆皮属易消化纤维，兔盲肠微生物对其干物质消化率达 62%(Garcia et al., 1999)。因此，在兔日粮中用大豆皮部分替代大豆秸可能具有既不产生消化障碍，又能维持较高消化率和生产性能的作用。本研究目的之一是通

¹美国大豆协会资助项目

单行本编号 FE4(2)-02

过生长试验研究大豆皮替代大豆秸的适宜水平。营养物质的消化是其消化速度和流通速度的函数(Van Soest, 1994)。Garcia et al. (1999)已经证实,用大豆皮饲喂家兔能够延长食糜在消化道内的停留时间,因而降低食糜的流通速度。但是,用大豆皮替代木质化纤维饲料大豆秸是否影响纤维动态消化参数还不清楚。所以,本研究的目的之一是通过活体外产气量试验,研究用大豆皮替代不同大豆秸水平饲料饲喂家兔对其盲肠微生物的纤维饲料动态消化作用。

材料与方法

饲料处理

处理为三个大豆皮替代粗饲料水平(分别为 0%、25%和 50%替代水平)的饲料,三种饲料配方(表 1)分别满足断奶幼兔营养需要(NRC, 1977)。大豆皮购自江苏东海粮油工业有限公司,营养成分含量为水分 12%、粗蛋白 11.6%、中性洗涤纤维 66.6%。三种饲料分别制成颗粒。

试验动物与饲养管理

试验动物为 45 只 42-50 日龄健康德国大白兔幼兔(公兔 30 只,母兔 15 只),体重 790 ± 102 g。将试验兔按体重、性别和窝别不同分为 15 组,每组 3 只(公兔 2 只、母兔 1 只),饲养在一个金属丝笼具内。按完全随机化设计原则,将 3 个饲料分别分配给 5 组试验兔。

试验在中国农业大学实验种兔场进行。试验期 40 天,其中预饲 10 天,正式试验期 30 天。兔舍为半封闭式,试验期间环境温度 20-27°C。试验兔通过笼具上安装的乳头式饮水器自由饮水。饲料准确称量供给,每日 3-4 次,保证自由采食。动物在试验始末两天晨饲前空腹称重。

盲肠内容物制备

于生长试验结束当天,从每处理组中随机取出试验公兔 5 只,通过颈椎错位法屠宰后,在厌氧条件下取出盲肠内容物,称重,同处理组的内容物混合在一起。将盲肠内容物分为两份:一份在 $20,000 \times g$ 下离心 10 min,取部分上清液立即测定 pH,少部分按 1:5 比例与 25%偏磷酸溶液混合后,置 -80°C 下保存用于 VFA 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量测定;另一份与厌氧缓冲液(Menke 等, 1979)按 1:2 比例混合,均质 2 min 后通过 2 层医用纱布过滤,在厌氧和保温(39°C)条件下将此滤液与厌氧人工唾液(Menke 等, 1979)按 1:2 比例混合,用于活体外产气量试验。

表 1 家兔饲料配方和营养成分

项目	大豆皮替代水平 (%)		
	0	25	50
成分(%)			
玉米粉	25.6	25.4	25.7
小麦	17.0	17.4	17.5
大豆粕	20.5	20.2	19.7
大豆皮	0	8.5	17.0
大豆秸	34	25.5	17.0
石粉	0.2	0.1	0
骨粉	1.2	1.4	1.6
混合预混料*	1.0	1.0	1.0
食盐	0.5	0.5	0.5
化学成分			
消化能 DE (MJ/kg DM)**	11.6	12.1	12.4
粗蛋白 CP (% DM)	16.0	16.1	16.1
中性洗涤纤维 NDF (% DM)	33.0	32.2	31.3
赖氨酸 Lysin (% DM)	0.72	0.72	0.72
蛋 + 胱 Met+cys (% DM)	0.51	0.52	0.53
钙 Ca (% DM)	0.64	0.64	0.65
磷 P (% DM)	0.45	0.45	0.45

* 混合预混料含有：Fe 5,200 mg/kg; Cu 500 mg/kg; Mn 8,600 mg/kg; Zn 5,200 mg/kg; I 42 mg/kg; Se 10 mg/kg; Co 100 mg/kg; VA 960,000 IU/kg; VD₃ 120,000 IU/kg; VE 5,000 mg/kg; 硫胺素 200mg/kg; 核黄素 600mg/kg; VB₆ 300mg/kg; VB₁₂ 1mg/kg; VB₅ 50,000 mg/kg; 泛酸 20,000 mg/kg; 叶酸 100 mg/kg; 生物素 20mg/kg; 金霉素 7.5 mg/kg;

** 根据饲料成分表(NRC, 1977)计算值。

活体外纤维饲料产气量试验

用于本试验的纤维饲料为脱水苜蓿、大豆皮和小麦秸。将粉碎并过 1 mm 筛的饲料样本(500.0 mg DM)分别称入 100 ml 注射器(德国制造)中,加入预热(39°C)的兔盲肠内容物培养液 50 ml,在 39±0.2°C 下培养。在培养后的 0、3、6、12、18、24、36 和 48 h 分别读取产气量,通过空白培养结果,计算每一时间点 500 mg 样本干物质的净产气量(ml)。根据不同时间点的产气量结果,采用改进的 McDonald(1981)动态消化模型计算产气动态参数。该模型如下:

$$P = b (1 - e^{-c(t-lag)})$$

式中:P 为 t 时间点饲料样本的产气量(ml);b 为饲料样本的最大产气量(ml),本试验为样本培养 48 h 的产气量;c 为饲料样本可发酵组分的产气速度(h⁻¹);t 为样本在瘤胃中的培养时间(h);lag 为产气延滞期(h)。

化学分析和统计分析

常规分析:饲料样品的 DM、CP 和灰分含量采用常规法测定,NDF 测定采用 Van Soest 等(1991)的方法。

盲肠内容物 pH 和 NH₃-N、VFA 含量分析:盲肠内容物 pH 值采用精密 pH 计(Orion, Model 230, Boston, USA)测定。NH₃-N 含量分析采用比色法(Broderick 与 Kang, 1980)进行。VFA 含量采用气相色谱法(北京分析仪器厂,204 型)进行。氢焰离子化检测器,色谱柱为长 2000 mm、内径 3 mm 的填充柱,担体为 PEG-20000 酸性 Chromsorb W。

统计分析:所有试验数据均利用 SAS 统计软件的 GLM 方法进行方差分析,并进行大豆皮替代水平的正交直线(L)和二次曲线(Q)反应趋势分析(SAS, 1996)。

结果与讨论

肉幼兔生长试验

1. 大豆皮替代粗饲料水平对家兔日增重、进食量、饲料转化效率和腹泻发病率的影响

表 2 列出了大豆皮替代粗饲料水平影响家兔日增重、饲料进食量和饲料转化效率的结果。用大豆皮替代日粮中的粗饲料大豆秸,导致试兔日增重和饲料转化效率呈二次曲线规律提高(P<0.04),在 25%大豆皮替代粗饲料水平下日增重和饲料转化

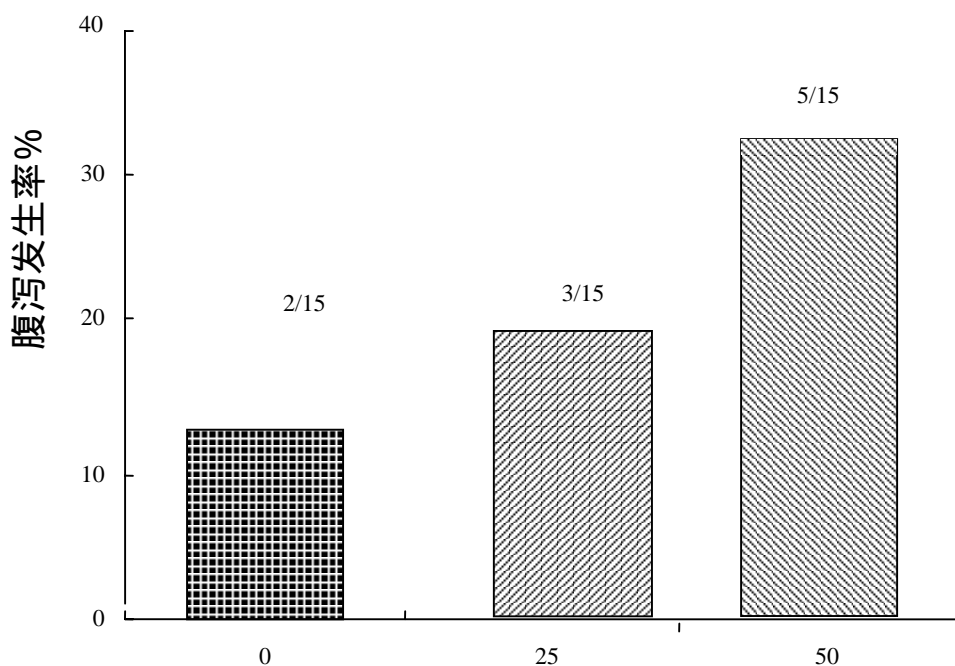
效率最高,但对饲料干物质进食量没有显著影响($P>0.1$)。由于大豆皮的消化能含量高于大豆秸,因此,随着大豆皮替代水平的提高,饲粮有效能含量提高。但是,这一提高的能量浓度并未引起动物日增重和饲料转化效率提高的直线反应,而是引起高大豆皮替代粗饲料水平(50%)下肉幼兔日增重和饲料转化效率的下降,其原因可能与大豆皮为易消化纤维和其颗粒度较小有关。一些研究者(Candau et al., 1979; Garcia et al., 1993; Carobano et al., 1997)证明,用富含易消化纤维的饲料如甜菜渣饲喂生长兔会增加盲肠酸度,进而引起消化障碍如腹泻,降低动物的日增重和饲料转化效率。大豆皮与甜菜渣同属易消化纤维,两者对肉幼兔可能具有相似的营养作用。最近,Garcia等(2000)还发现,较细的饲料颗粒度延长食糜在消化道的停留时间和降低纤维消化率的作用远比饲料化学成分本身的作用要大。对于大豆皮来说,其较小的颗粒度和较高的消化率,无疑会通过改变盲肠微生物发酵而影响动物的生产性能。

表2 家兔日增重、饲料进食量和饲料转化效率结果

项 目	SH 替代粗饲料水平, %				反应趋势 $P<$	
	0	25	50	SEM	*L	*Q
试验兔数量	15	15	15	-	-	-
起始体重 (g)	1045.0	1069.7	1023.3	-	-	-
结束体重(g)	2293.0	2494.8	2319.2	-	-	-
日增重 (g)	41.6	47.5	43.2	1.8	0.537	0.037
干物质进食量 DM (g/d)	143.5	141.6	136.5	3.2	0.152	0.691
饲料转化效率(F/G)	3.47	2.99	3.16	0.10	0.065	0.024

* L = 大豆皮替代水平的直线反应; Q = 大豆皮替代水平的二次曲线反应。

本试验饲喂大豆皮 30 天，虽然生长兔的死亡率为零，但腹泻发病率在饲喂大豆皮替代粗饲料比例高的饲料时明显提高(图 1)。其原因可能与大豆皮为易发酵纤维，



不能有效刺激肠道蠕动，从而造成食糜在肠道内存留时间延长有关。

图 1 大豆皮替代粗饲料水平对断奶兔腹泻发病率的影响

2. 大豆皮替代粗饲料对家兔盲肠内容物主要发酵参数的影响

随大豆皮替代低质粗饲料水平的提高，家兔盲肠内容物 pH 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度直线下降 ($P < 0.001$)，而总 VFA 浓度直线提高 ($P < 0.03$)。提高大豆皮替代粗饲料水平导致总 VFA 中丙酸摩尔比例直线提高 ($P < 0.02$)，但乙酸和丁酸摩尔比例直线下降 ($P < 0.027 - 0.048$) (表 3)。盲肠是家兔饲料纤维消化的主要部位。微生物发酵参数表明，随饲料大豆皮替代粗饲料水平的提高，盲肠微生物发酵作用增强，包括 VFA 在内的有机酸产生量增加，盲肠内容物 pH 降低，降解氮利用量增加。Garcia 等 (2000) 报道，以大豆皮作为饲料纤维来源的家兔盲肠内容物总 VFA 浓度，明显高于以小麦秸或葵花籽皮作为纤维饲料的情况。本试验结果与此相一致。随饲料大豆皮替代粗饲料水平提高丙酸摩尔比例提高和乙酸、丁酸摩尔比例下降的结果，说明盲肠微生物区系

大豆皮替代粗饲料水平%

发生了向可溶性碳水化合物发酵方面的转移。据报道，丁酸对于维持肠道上皮的健康生长和更新具有重要作用 (Roediger, 1980)。提高大豆皮替代粗饲料水平降低家

兔盲肠丁酸浓度是否与降低肠道蠕动有关，目前尚不清楚。

在 50%大豆皮替代粗饲料水平下，盲肠内容物 pH 降低，总挥发酸浓度升高。过高的盲肠微生物发酵会抑制正常微生物的生长，而刺激病原微生物的生长(Pond et al., 1995)。这可能是本试验在高大豆皮替代粗饲料水平下兔腹泻发病率升高的原因之一。

表 3 大豆皮替代大豆秸对盲肠内容物发酵参数的影响

项 目	SH 替代粗饲料水平(%)				反应趋势(P<)	
	0	25	50	SEM	*L	*Q
pH	6.88	6.66	6.45	0.04	0.00	0.72
NH ₃ -N(mg/100ml)	8.49	7.09	6.30	0.14	0.00	0.13
总挥发酸(mmol /L)	40.0	41.4	45.3	1.4	0.03	0.49
挥发酸摩尔比例(%)						
乙酸	77.9	75.2	73.4	1.1	0.027	0.731
丙酸	6.9	9.8	14.0	0.7	0.001	0.467
丁酸	15.2	15.0	12.6	0.8	0.048	0.248

* L = 大豆皮替代水平的直线反应；Q = 大豆皮替代水平的二次曲线

大豆皮替代粗饲料水平对纤维饲料活体外产气量的影响

苜蓿、大豆皮和小麦秸等 3 种纤维饲料与盲肠微生物培养的产气量数据符合一级动力学反应($R^2 > 0.98$; $P < 0.01$)。图 2 所示为苜蓿饲料与兔盲肠微生物培养 48 小时的动态产气量结果。在各个培养时间点苜蓿饲料的产气量均随家兔饲粮大豆皮替代粗饲料水平的提高而提高。

表 4 列出了苜蓿、大豆皮和小麦秸等三种纤维饲料与家兔盲肠内容物培养的动力学

态产气量结果。随饲料中大豆皮替代粗饲料比例的提高，三种纤维饲料的 48 h 净产气量、产气速度均呈直线趋势提高($P<0.001$)，而产气延滞期直线降低($P<0.01$)。在反刍动物瘤胃发酵方面，产气量与瘤胃微生物对饲料的消化率和饲料的能量浓度呈正相关(Menke 等，1979)。尽管在家兔盲肠微生物产气量方面国内外尚未见报道，但家兔盲肠微生物与瘤胃微生物两者的发酵规律应当是一致的。纤维饲料发酵产气量的动态参数变化结果说明，提高大豆皮替代粗饲料水平，有助于提高家兔盲肠微生物发酵能力，特别是纤维消化速度，同时能够缩短饲料开始消化的时间。

易消化纤维饲料和木质化纤维饲料对家兔具有不同的功能。虽然含易消化纤维大豆皮水平较高的饲料具有较高的消化率和较快的消化速度，以及较短的消化延滞期，这表明易消化纤维的添加会提高盲肠微生物木质化纤维降解活力，有助于纤维饲料的消化，但在另一方面，易消化纤维的添加也可能会导致活体内动物肠道产酸增加，蠕动速度减缓，食糜在肠道的存留时间延长，从而造成消化功能紊乱，如腹泻发病率增加等(参见图 1)。结合本试验盲肠微生物发酵结果(表 3)，用 25%大豆皮替换木质化纤维饲料，不仅对对盲肠微生物发酵没有不利影响，而且纤维饲料消化率均较高(见表 4)。

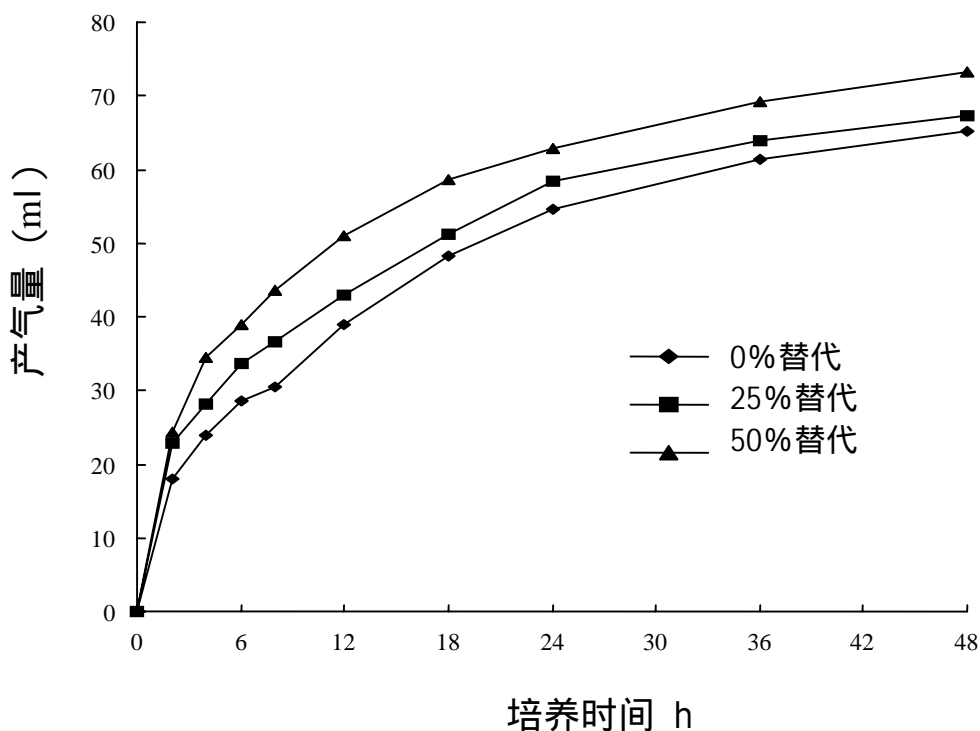


图 2 盲肠微生物发酵苜蓿饲料的活体外产气量随培养时间的变化

表 4 苜蓿、大豆皮和小麦秸等三种纤维饲料
与家兔盲肠内容物培养的动态产气量结果

项 目	SH 替代粗饲料水平 (%)				反应趋势(P<)	
	0	25	50	SEM	*L	*Q
48 小时产气量(ml /0.5 g DM)						
苜蓿	65.1	67.2	73.2	1.0	0.00	0.12
大豆皮	73.9	80.7	99.3	1.1	0.00	0.01
小麦秸	13.4	18.5	21.2	0.3	0.00	0.01
产气速度 (h ⁻¹)						
苜蓿	0.043	0.056	0.073	0.002	0.00	0.26
大豆皮	0.026	0.028	0.045	0.001	0.00	0.01
小麦秸	0.005	0.008	0.008	0.001	0.00	0.02
产气延滞期(h)						
苜蓿	5.5	1.3	1.4	0.3	0.00	0.01
大豆皮	9.1	5.9	6.4	0.4	0.00	0.01
小麦秸	27.7	21.3	17.4	2.3	0.01	0.67

*L = 大豆皮替代水平的直线反应；Q = 大豆皮替代水平的二次曲线反应。

结 论

提高大豆皮替代粗饲料水平导致肉幼兔日增重和饲料转化效率呈二次曲线规律提高，其中 25%替代水平下日增重和饲料转化效率最高。

随大豆皮替代粗饲料水平的提高，肉幼兔盲肠内容物 pH 和 NH₃-N 浓度降低，而

总挥发性脂肪酸浓度升高。高大豆皮替代粗饲料水平下盲肠微生物的过度发酵，可能是生长幼兔较高腹泻发病率的主要原因。

提高大豆皮替代粗饲料水平能够导致纤维饲料产气量增加，产气速度加快，产气延滞期缩短，说明大豆皮的添加会有效地促进木质化纤维饲料的消化。

参考文献

Broderick, G. A. and J. H. Kang. 1980. Automated simultaneous determination of ammonia and amino acids in ruminal fluids and in vitro media. *J. Dairy Sci.* 33:64-75.

Candau, M., G. Delpon and J. Fioramonti. 1979. Influence of the nature of cell wall carbohydrates on the anatomical functional development of the digestive tract in the rabbit. *Ann. Zootech. (Paris)*. 28:127.

Carobano, R., W. Motta-Ferreira, J. C. de Blas and M. J. Fraga. 1997. Substitution of sugarbeet pulp for alfalfa hay in diets for growing rabbits. *Anim. Feed Sci. Technol.* 65:249-256.

Garcia, J., J. F. Galvez and J. C. de Blas. 1993. Effect of substitution of sugarbeet pulp for barley in diets for finishing rabbits on growth performance and on energy and nitrogen efficiency. *J. Anim. Sci.* 71:1823-1830.

Garcia, J., R. Carabano and J. C. de Blas. 1999. Effect of fiber source on cell wall digestibility and rate of passage in rabbits. *J. Anim. Sci.* 77:898-905.

Garcia, J. R. Carabano, L. Perez-Alba and J. C. de Blas. 2000. Effect of fiber source on cecal fermentation and nitrogen recycled through cecotrophy in rabbits. *J. Anim. Sci.* 78:638-646.

McDonald, I. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 96:251-252.

Menke, K. H., L. Rabb, A. Salewski, H. Steingass, D. Fritz and W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 93:217-222.

NRC. 1977. Nutrient Requirements of Rabbits (2nd Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.

Pond, W. G., D. C. Church and K. R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. 4th Ed. John Wiley & Sons. New York.

Roediger, W. E. W. 1980. Role of anaerobic bacteria in the metabolic welfare of the colonic mucosa in man. *Gut*. 21:793-798.

SAS. 1996. SAS User's Guide: Statistics (Version 6.12 Ed.). SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Van Soest. 1994. Nutrient Ecology of the Ruminant. 2nd Ed. Cornell University Press. Ithaca.

Van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.