

大豆皮替代产奶牛日粮精料中玉米与小麦麸对产奶性能和干物质与纤维消化特性的影响¹

EFFECT OF REPLACING CORN AND WHEAT BRAN WITH SOYHULLS IN DAIRY COW DIETS ON LACTATION PERFORMANCE AND DIGESTION CHARACTERISTICS OF DIETARY DRY MATTER AND FIBER

孟庆翔 鲁琳 闵晓梅，中国农业大学动物科技学院

P. J. McKinnon 熊易强，美国大豆协会北京办事处

摘要 用产奶牛饲喂试验（试验 1）和尼龙袋消化试验（试验 2）研究了大豆皮替代产奶牛日粮精料中玉米与小麦麸对产奶性能和干物质及纤维消化特性的影响。试验 1：选用 42 头 1—5 胎次（平均 3.4 胎）、2—5 泌乳月（平均 3.3 月）的产奶牛，按组间上一胎次或母亲产奶量、泌乳月和胎次均相近的配对设计原则将试验牛分为 3 组，每组 14 头。试验采用完全随机区组设计方案进行。试验处理为 3 种大豆皮替代水平，即：大豆皮分别替代精料中 0（对照）、25 和 50% 的玉米与小麦麸；区组（4 个）为产奶牛的不同胎次和泌乳月。3 种混合精料与粗饲料混合组成日粮喂给产奶牛，其中大豆皮分别占奶牛全日粮干物质的 0、6.8 和 13.6%。试验期 13 周，其中适应期 1 周，正式试验期 12 周。结果表明，用大豆皮替代奶牛精料中 0、25、50% 的玉米和小麦麸，干物质进食量分别为 18.4、18.6、18.5kg/d，日产奶量分别为 27.7、28.4、27.6kg，4% 乳脂率校正奶日产量分别为 26.4、27.6、27.3kg，校正奶饲料转化效率（kg FCM/kg DM）分别为 1.42、1.49、1.47，乳蛋白分别为 3.12、3.17、3.18%，乳糖分别为 4.69、4.76、4.68%，无脂固形物分别为 8.50、8.64、8.54%。以上指标均无明显变化。乳脂率随大豆皮替代水平呈直线上升趋势，分别为 3.63、3.85、3.90%（ $P=0.08$ ）。用大豆皮替代奶牛精料中的 0、25、50% 的玉米和小麦麸，全日粮的 NDF 含量分别为 37.3、40.0、43.5%，NDF 进食量直线上升，分别为 6.85、7.42、8.03kg/d（ $P=0.001$ ）。以大豆皮替代精料中 25 和 50% 玉米

¹ 本试验由美国大豆协会提供经费资助。本文首次发表于 1999 年 9 月。

与小麦麸饲料饲喂奶牛，每千克产奶的饲料成本平均分别减少 0.045 和 0.057 元。

试验 2：利用 2 头装有永久性瘤胃瘘管的本地黄牛测定了大豆皮及 5 种饲料大豆皮替代水平（分别替代精料中玉米和小麦麸的 0、25、50、75、和 100%）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： $Y=a+b(1-e^{-c(t-L)})$ 。试验观察值与模型的拟合度 R^2 分别为：豆皮 DM，0.999；豆皮 NDF，0.986；饲料 DM，0.915—0.968；饲料 NDF，0.986—0.998。大豆皮 DM 和 NDF 消化速度 c 分别为 0.072 与 0.063 /h，DM 和 NDF 中潜在可消化比例（ $a+b$ ）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 直线升高（ $P<0.023$ ），快速消化组分 a 趋于下降（ $P=0.140$ ），停滞期 L 趋于延长（ $P=0.127$ ）。提高大豆皮替代水平，对饲料 DM 中其它动态消化参数没有影响（ $P=0.360 - 0.903$ ）。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 呈线性（ $P=0.002$ ）和二次线性曲线（ $P=0.001$ ）上升；快速消化组分趋于线性上升（ $P=0.082$ ）；NDF 总体可消化组分（ $a+b$ ）呈线性上升（ $P=0.001$ ）。

大豆制油工艺经历了由机械压榨到浸出制油、由带皮浸出到去皮浸出的过程。美国在五十年代开始出现浸出制油工艺，最初是带皮浸出，然后转向去皮浸出制油工艺。目前机械压榨法加工大豆制油的数量估计不会超过总量的 1%（熊易强，1998）。中国吉林和江苏等省的一些大型大豆加工企业目前已采用了先去皮、后浸出的加工工艺生产去皮豆粕。由于这一加工方法生产的去皮豆粕蛋白质含量高，质量稳定，且扩大了工厂生产豆油的能力，所以采用去皮浸出法加工大豆的企业数量在中国正在扩大。

采用去皮浸出工艺加工大豆的一个副产品是大豆皮（soyhulls）。大豆皮约占大豆重量的 8%，占大豆体积的 10%。大豆皮的主要成分是细胞壁或植物纤维，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%，但其木质素含量不到 2%（NRC，1996），这使得大豆皮的活体外干物质消化率高达 90%（Quicke 等，1959）。据报道，大豆皮干物质 27 小时尼龙袋消失率达到 90.3%，36—48 小时可完全被消化（Hsu 等，1987；Belyea 等，1989）。大豆皮的 NDF 可消化程度为 95%（Klopfenstein 与 Owen，1987）；其 NDF 的尼龙袋消失速度为 6—7.5%/h（Anderson 等，1988；Ludden 等，1995）。当大豆皮与

干草一道饲喂时，其总消化养分值与柑橘渣或燕麦相当（Wagner 等，1965），所以，通常认为大豆皮是大体积的能量饲料，而非粗饲料（Hintz 等，1964）。

根据 NRC（1989）奶牛营养需要，大豆皮的产奶净能介于玉米与小麦麸之间。由于其能量来源是易消化纤维而不是淀粉，因此不存在玉米等淀粉类谷物抑制瘤胃纤维降解的负互作效应（negative associative effect）。用大豆皮替代奶牛日粮中部分精饲料，可以减少因饲喂高精料日粮导致的诸如酸中毒等代谢病，提高日粮中纤维的降解率。

在用大豆皮替代淀粉类精料饲喂奶牛方面，各国学者已进行过不少工作。Conrad 和 Hibbs（1961）证实，用大豆皮替代奶牛混合精料中 62.7% 的燕麦，对奶牛 4% 乳脂率校正奶产量没有影响。Macgregor 与 Owen（1976）用大豆皮替代 0、27 和 48% 玉米的混合精料与苜蓿青贮一道饲喂奶牛，发现日粮处理之间的产奶量没有显著差异。在另一些用大豆皮替代奶牛精料中玉米的试验（Coomer 等，1993；Nakamura 与 Owen，1989；Weiss，1995）中，随着大豆皮替代比例的提高，奶牛产奶量稍有下降，但乳脂率提高，这导致各处理间 4% 乳脂率校正奶的产量与饲料转化效率基本相同。

在中国，目前尚未见大豆皮饲喂奶牛对于产奶性能影响方面的报道。由于大豆皮在中国的市场价格（不包括运输费用为 0.6—0.8 元/kg）低于小麦麸和玉米的价格（均在 1.1 元/kg 以上），所以，用大豆皮替代奶牛日粮精料中的玉米与小麦麸，不仅在营养价值方面具有可行性，而且在经济方面具有明显竞争能力。目前我国奶牛生产条件下，大豆皮在产奶牛饲粮中替代玉米与小麦麸的适宜水平尚不清楚。为此，本项目进行两方面研究：（1）选择基本上能代表我国奶牛业较高生产水平的北京市北郊农场奶牛一队作为试验点，进行产奶牛饲养试验，其目的在于证实大豆皮在产奶牛饲粮中替代玉米与小麦麸的适宜水平，以及大豆皮在不同替代水平下奶牛单位产奶量的经济效益；（2）通过尼龙袋消化试验，研究大豆皮以不同水平替代玉米与小麦麸饲粮的养分消化规律。

材料与amp;方法

试验 1：产奶牛饲喂试验

1. 试验饲粮

根据北京地区奶牛场所用饲料种类情况与平均产奶水平，参照 NRC（1989）

奶牛营养需要（日产奶 25—30 kg）配制出 3 个大豆皮替代精料中玉米与小麦麸水平（0、25 和 50%）的混合精料。精料配方与营养成分见表 1，此精料中大豆皮含量分别为 0、12.5 和 25%。所用大豆皮购自江苏张家港东海粮油工业有限公司。粗饲料为青贮玉米秸（部分籽粒）、羊草、压块玉米秸和啤酒糟。

表 1 奶牛饲喂大豆皮精料补充料配方（试验 1）

	大豆皮替代水平，%		
	0	25	50
玉米	40	33	22.3
大豆粕	25	25	24
玉米酒精糟	6	6	6
小麦麸	10	4.7	4
棉仁粕	6	6	6
胡麻粕	6	6	6
大豆皮	0	12.5	25
矿-维预混料 ^a	1	1	1
食盐	1	1	1
骨粉	3.2	3.4	3.7
牡砺粉	1.8	1.4	1.0
营养成分含量：			
NE _L ^b ，Mcal/kg	1.76	1.76	1.74
CP，%DM	22.4	22.4	22.2
NDF，%DM	18.3	23.5	30.0
ADF，%DM	8.7	14.0	19.7
Ca，%DM	1.54	1.50	1.48
P，%DM	1.02	0.99	0.99

^a 微量元素 - 维生素预混料含有: Fe 10,000 mg/kg; Cu 2,400 mg/kg; Mn 8,400 mg/kg; Zn 13,000mg/kg; I 160mg/kg; Se 70mg/kg; Co 100mg/kg; VA960,000 IU/kg; VD₃ 200,000 IU/kg; VE 7,500 mg/kg。

^b 查表（NRC，1989）计算结果。

2. 试验场地和试验期

试验在北京市北郊农场奶牛一队进行。舍内为颈夹式喂食槽，室外设运动场和饮水槽。全场采用机械挤奶。试验共进行 13 周，其中预饲期 1 周，正试期 12 周。试验期间气温 24—38°C。

3. 试验牛及其分组

试验采用完全随机化区组设计进行。根据配对原理选择 3 组（每组 14 头）共 42 头健康黑白花产奶牛。组间试验牛胎次、泌乳月、上一胎次或母亲产奶量、体重等基本相同。试验牛平均体重 564.5 kg，胎次 1—5（平均 3.4 胎），泌乳月 2—5 月（平均 3.3 月）。每组试验牛随机接受 3 种饲粮处理中的一种，即 14 头试验牛采食一种饲粮。每一处理饲粮内的 14 头试验牛按胎次和泌乳月不同又分为 4 个区组。试验牛单槽饲养，舍外大群自由饮水。

4. 饲养和挤奶制度

采用不完全混合日粮的饲喂方法饲喂。试验牛每日分早（07:00-10:30）、下午（14:30-17:00）、晚（21:00—23:00）三次上槽。精料按最近一次产奶量记录每产奶 2.5—3.0 kg 给 1 kg 精料的原则喂给。压块玉米秸、羊草和啤酒糟定量并与精饲料混合后喂给，青贮玉米秸单独喂给，计量不限量，保证自由采食。与牛采食同时每天进行三次挤奶。

5. 记录指标

每日记录各种饲料采食量。每 2 周一次用奶量测定仪测定产奶量，并取代表性饲料样本分析其化学成分含量。每 4 周一次取一天 3 次挤奶奶样（10 ml）混合后用于测定乳脂率、乳蛋白、乳糖、无脂固形物（SNF）含量。

6. 化学分析

采用常规方法分析饲料样本的干物质（烘箱烘干法）、粗蛋白含量（凯氏法）、Ca（滴定法）、P（比色法）。根据 Goering 与 Van Soest（1970）的方法分析样本的 NDF 含量。乳成分分析在北京市奶牛中心乳品分析室采用乳成分自动分析仪进行。

7. 统计分析

所有试验数据均利用 GLM 方法进行方差分析，并进行大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸处理的 CONTRAST 直线（L）和二次曲线（Q）反应趋势分析（SAS，1996）。

试验 2：尼龙袋消化试验

1. 饲粮

根据 NRC (1989) 奶牛营养需要, 参照试验 1 饲粮配方, 分别配制出以大豆皮替代精料中玉米与小麦麸的 0、25、50、75 和 100% 等 5 种饲粮 (配方与营养成分见表 2)。大豆皮购自江苏省张家港东海粮油工业有限公司。所有饲料样本均经粉碎通过 1mm 筛。

2. 试验方法

用 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 2 kg , 干玉米秸自由采食。自由饮水。

在每一尼龙袋 (80mmX120mm ; 孔径 50 μ m) 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°C 下烘干, 称重。每个样本每个时间点有 3 个平行测定。

3. 化学分析

采用常规烘箱烘干法和凯氏法分析饲料原料和尼龙袋残渣样本的干物质与粗蛋白含量。根据 Goering 与 Van Soest (1970) 的方法分析样本的 DNF 含量。

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 (1981) 的动态消化模型利用 SAS (1996) 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:

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

式中: Y 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 (/h); t 为样本在瘤胃中的培养时间 (h); L 为消化延滞期 (h)。

用 GLM 方法对 DM 与 NDF 的动态消化参数进行方差分析, 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 (SAS, 1996)。

表 2 大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲粮配方与营养成分 (试验 2)

项 目	大豆皮替代水平, %				
	0	25	50	75	100
饲料组成, % 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	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 ^a	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
牡砺粉	0.9	0.7	0.5	0.1	0
小苏打	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
化学成分 :					
DM, %	92.3	92.4	92.1	92.4	92.1
NE _L ^b , Mcal/kg	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
CP, %DM	17.2	17.3	17.9	17.3	17.8
NDF, %DM	39.2	41.8	45.1	48.3	51.4
ADF, %DM	26.5	29.2	32.1	34.9	37.8
Ca, %DM	0.94	0.92	0.91	0.88	0.88
P, %DM	0.69	0.66	0.67	0.68	0.66

^a 微量元素 - 维生素预混料含有: Fe 10,000mg/kg; Cu 2,400mg/kg; Mn 8,400mg/kg; Zn 13,000mg/kg; I 160mg/kg; Se 70mg/kg; Co 100mg/kg; VA 960,000IU/kg ; VD₃ 200,000IU/kg; VE 7,500mg/kg。

^b 查表 (NRC , 1989) 计算结果。

结果与讨论

试验 1：产奶牛饲喂试验

1. 大豆皮化学成分及饲喂情况观察

经实验室测定,大豆皮的化学成分(% DM 基础)中粗蛋白为 12.15, NDF 62.26, ADF 48.08, Ca 0.53, P 0.18。尽管大豆皮的 NDF 含量高,但木质素含量低于 2% (NRC, 1996),这使得大豆皮具有较高的 DM 和纤维消化率(Quicke 等, 1959)。大豆皮的粗蛋白含量为 12.2%, 高于玉米(10%)而低于小麦麸(17.1%, NRC, 1989), 但产奶净能值(1.77Mcal/kg)高于小麦麸(1.6Mcal/kg)而低于玉米(1.96Mcal/kg, NRC, 1989), 这说明大豆皮以一定比例替代玉米与小麦麸在营养价值方面是可行的。在整个试验期间,产奶牛饲喂不同替代比例大豆皮饲粮没有发现任何不良反应。试验牛粪便干稀度、反刍等与对照组和大群产奶牛无差异,表明大豆皮可以作为产奶牛饲粮的成分。

2. 产奶牛日粮营养成分分析

采用混合精料与粗饲料分开的方法饲喂,试验牛三种日粮的实际组成与营养成分结果列于表 3。三种日粮间各种饲料组成比例及主要营养成分含量基本相同,唯一差异是由于混合精料中大豆皮含量不同所造成的纤维(NDF 和 ADF)含量变化。与已有用大豆皮替代精料中玉米的试验相比,在本试验两个含大豆皮日粮中大豆皮所占比例分别为 6.8 和 13.6%, 远低于 27 和 49%(Macgregor 与 Owen, 1976)及 25 和 48%(Nakamura 与 Owen, 1989)的水平。

3. 日粮干物质与养分进食量

表 4 为各处理干物质(DM)与其它营养成分进食量资料。随奶牛饲粮中大豆皮替代玉米与小麦麸水平的提高,日粮 DM 与 CP 进食量(kg/d)没有明显变化。提高饲粮中大豆皮替代玉米与小麦麸水平,导致饲粮 NDF 进食量直线上升(P=0.001)。这显然是由于豆皮中的 NDF 含量远高于其所替代的玉米/麦麸所致。尽管大豆皮的 NDF 含量高达 65%,但是,提高大豆皮替代水平并未降低奶牛日粮干物质进食量,这可能与大豆皮的纤维为易消化纤维(Quicke 等, 1959)以及

表3 试验牛实际日粮组成与营养成分

	大豆皮替代水平, %		
	0	25	50
饲粮组成, %DM:			
青贮玉米秸	17.7	17.6	17.5
啤酒糟	16.8	16.7	16.7
压块玉米秸	1.1	1.1	1.1
羊草	10.7	10.6	10.6
玉米	21.5	17.8	12.1
大豆粕	13.5	13.6	13.0
玉米酒精糟	3.2	3.2	3.2
小麦麸	5.4	2.5	2.2
棉仁粕	3.2	3.2	3.2
胡麻粕	3.2	3.2	3.2
大豆皮	0	6.8	13.6
矿-维预混料 ^a	0.5	0.5	0.5
食盐	0.5	0.5	0.5
骨粉	1.7	1.9	2.0
牡砺粉	1.0	0.8	0.6
营养成分:			
DM, %	66.1	66.2	66.1
NE _L ^b , Mcal/kg	1.59	1.59	1.58
CP, %DM	18.3	18.3	18.3
NDF, %DM	37.3	40.0	43.5
ADF, %DM	24.0	26.8	29.9
Ca, %DM	0.99	0.97	0.96
P, %DM	0.74	0.71	0.71

^a. 见表1注解。

^b. 查表(NRC, 1989)分析结果。

大豆皮颗粒较小在消化道流通速度快 (Nakamura 与 Owen , 1989) 有直接关系。Nakamura 与 Owen (1989) 、 Macgregor 与 Owen (1976) 也观察到 , 随着大豆皮替代饲料中玉米水平的提高 , 产奶牛日粮 DM 进食量没有差异。在另外一些试验中 , 用大豆皮替代日粮中玉米 (Bernard 与 McNeill , 1991 ; Firkins 与 Eastridge , 1992) 、 燕麦或柑橘渣 (Wagner 等 , 1965) 并未降低日粮 DM 进食量。

表 4 产奶牛对大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸日粮的干物质 (DM) 、粗蛋白 (CP) 、 中性洗涤纤维 (NDF) 进食量

项 目	大豆皮替代水平 , %			SEM	反应趋势 , P	
	0	25	50		L ^a	Q ^a
DM 进食量						
Kg/d	18.38	18.57	18.53	0.20	0.628	0.512
占体重%	3.15	3.42	3.35	0.09	0.136	0.088
CP 进食量						
Kg/d	3.36	3.40	3.39	0.04	0.615	0.522
占体重%	0.58	0.63	0.61	0.02	0.157	0.089
NDF 进食量						
Kg/d	6.85	7.42	8.03	0.09	0.001	0.726
占体重%	1.18	1.36	1.43	0.04	0.001	0.171

^a 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。

4. 产奶性能

当以大豆皮替代奶牛日粮精料中 25 和 50% 玉米与小麦麸时 , 奶牛日产奶量、4% 乳脂率校正奶产量、乳蛋白、乳糖、无脂固形物含量及产奶饲料转化效率与对照组相比均没有显著变化 (表 5) 。随着日粮中大豆皮替代玉米与小麦麸水平的提高 , 乳脂率趋于直线提高 (P=0.08) , 其中 25% 和 50% 大豆皮替代饲料的乳脂率较对照饲料分别提高 6.1% 和 7.4% 。 Nakamura 与 Owen (1989) 用大豆皮替代 0、50 和 95% 玉米的混合精料与苜蓿按 1 : 1 比例组成日粮饲喂奶牛时发现 , 随大豆皮

替代水平的提高，奶牛产奶量下降，但乳脂率提高，不同处理日粮的 3.5%乳脂率校正奶产量与产奶的饲料转化效率均相似。在另一些试验中，大豆皮替代玉米（Bernard 与 McNeill，1991；Macgregor 与 Owen，1976）、高水分玉米与整株（带果穗）玉米青贮（Cunningham 等，1993）或燕麦和柑橘渣（Wagner 等，1965）对产奶量及乳成分均没有明显影响。本试验也得到与之相一致的结果。

表 5 大豆皮替代产奶牛精料中玉米与小麦麸水平对产奶性能的影响

项 目	大豆皮替代水平，%			SEM	反应趋势,P	
	0	25	50		L ^a	Q ^a
奶牛头数	14	14	14	-	-	-
试验期，d	84	84	84	-	-	-
平均体重，kg	586.3	549.6	557.5	14.23	0.183	0.161
试验始末体重						
变化，kg/d	0.21	0.16	0.13	0.06	0.359	0.819
产奶量，kg/d	27.7	28.4	27.6	0.85	0.953	0.443
4% FCM ^b ，kg/d	26.2	27.6	27.3	1.11	0.558	0.463
产奶饲料转化效率 ^c	1.42	1.49	1.47	0.05	0.557	0.460
乳脂率，%	3.63	3.85	3.90	0.09	0.080	0.500
乳蛋白含量，%	3.12	3.17	3.18	0.06	0.620	0.760
乳糖含量，%	4.69	4.76	4.68	0.04	0.680	0.096
无脂固形物						
(SNF) 含量,%	8.50	8.64	8.54	0.09	0.852	0.286

^a 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。

^b 4% FCM：4%乳脂率校正奶。

^c 产奶饲料转化效率表示为进食 1 kg 日粮干物质所生产的 4% FCM kg 数。

5. 单位产奶量的饲料成本分析

表 6 列出了奶牛饲喂含不同水平大豆皮日粮产奶的饲料成本分析结果。计算过程使用的饲料原料价格（以干物质计，元/kg）为：青贮玉米秸 0.58；羊草 0.65；

压块玉米秸 0.42 ;啤酒糟 0.78 ;0%替代率精料 1.50;25%替代率精料 1.46; 50%替代率精料 1.41。在现行饲料价格体系下，每生产 1kg4%乳脂率校正奶的对照饲料成本为 0.782 元。当以大豆皮替代精料中玉米与小麦麸的 25 和 50%后，生产 1kg4%乳脂率校正奶的饲料成本分别降至 0.737 和 0.725 元。与对照组相比，生产 1 kg 4%乳脂率校正奶的饲料成本分别降低 0.045 元（5.8%）和 0.057 元（7.3%），生产每吨 4%乳脂率校正奶的饲料成本分别降低 45 和 57 元。在本试验条件下，以大豆皮替代精料中 25 和 50%玉米与小麦麸，每头产奶牛每天可分别节约饲料费用 1.242 和 1.556 元。

表 6 奶牛饲喂含不同水平大豆皮日粮产奶的饲料成本分析

项 目	大豆皮替代水平，%		
	0	25	50
日采食饲料 DM，kg/头：			
青贮玉米秸	3.25	3.27	3.26
羊草	1.97	1.96	1.97
压块玉米秸	0.20	0.20	0.20
啤酒糟	3.09	3.11	3.10
混合精料	9.88	10.05	10.01
日采食饲料 DM 成本,元/头：			
青贮玉米秸	1.885	1.897	1.891
羊草	1.281	1.274	1.281
压块玉米秸	0.084	0.084	0.084
啤酒糟	2.41	2.426	2.418
混合精料	14.820	14.673	14.114
总 计	20.480	20.354	19.788
日 4% FCM 产量,kg/头	26.2	27.6	27.3
饲料成本,元/kg 4% FCM	0.782	0.737	0.725
与对照比饲料成本降低,元	-	0.045	0.057

试验 2：尼龙袋消化试验

1.大豆皮的养分消化率与动态消化参数

据文献(Hsu 等, 1987 ; Anderson 等, 1988 ; Quicke 等, 1959)报道 , 大豆皮具有较高的消化率与消化速度。本试验测定了大豆皮 DM 和 NDF 的消化率和动态消化参数。本试验所采用的数学模型与试验所得到的 DM 和 NDF 消化率数据之间有很高的拟合度($R^2_{DMD} = 0.999$, $R^2_{NDFD} = 0.986$, 图 1)。大豆皮 DM 和 NDF 48 h 消化率分别达到 86 和 81%(图 1) , DM 和 NDF 消化速度分别达到 0.072 和 0.063/h(表 7)。大豆皮的 DM 和 NDF 中潜在可消化比例(a+b)分别达到 92 和 89% (表 7) , 不仅大大超过苜蓿中潜在可消化 NDF 组分的比例(41-45% , Pantoja 等 , 1994) , 而且高于燕麦的可消化 DM 比例 (79% , Herrera-Saldana 等 , 1990)。本试验所测定的大豆皮 DM 和 NDF 的消化速度及潜在可消化比例与文献报道结果(Pantoja 等 , 1994 ; Ludden 等 , 1995 ; Anderson 等 , 1988)是一致的。

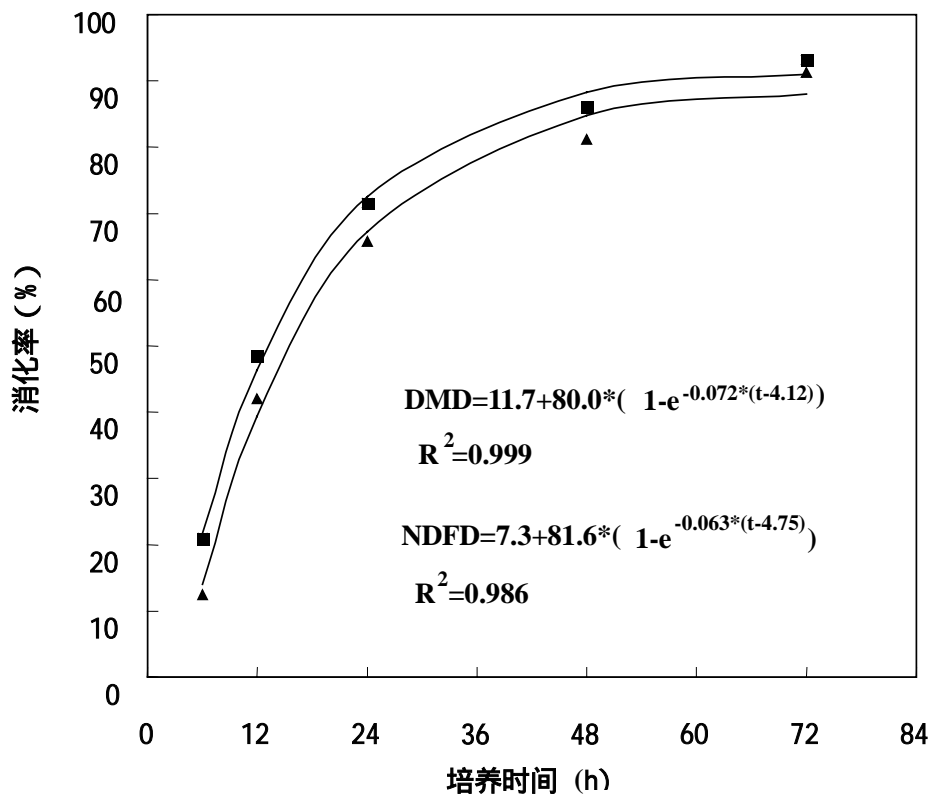


图 1. 大豆皮干物质(DM)和中性洗涤纤维(NDF)在瘤胃中的尼龙袋消化率 (DMD , NDFD)

表 7. 大豆皮的干物质与 NDF 动态消化参数

项 目	干物质(DM)	中性洗涤纤维(NDF)
a, %	11.67(±1.72, n=6) ^a	7.27(±0.31, n=4) ^a
b, %	79.96(±0.54, n=6) ^a	81.57(±0.42, n=4) ^a
a+b, %	91.63(±2.36, n=6) ^a	88.84(±0.63, n=4) ^a
c, /h	0.072(±0.005, n=6) ^a	0.063(±0.003, n=4) ^a
Lag, h	4.12(±0.25, n=6) ^a	4.75(±0.16, n=4) ^a

^a 括号内第一个数字为测定结果的标准差。

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

表 8 所列为各饲料在各时间点的 DM 于 NDF 尼龙袋消耗率的观察值(平均值, n=6)。表 9 为各饲料 DM 与 NDF 的动态消化参数。

提高大豆皮替代水平, 饲料 DM 中慢速消化组分 b 直线升高(P=0.023), 快速消化组分 a 趋于下降(P=0.140), 停滞期 L 趋于延长(P=0.127)。这可能是由于豆皮的主要成分是 NDF, 比之其所替代的玉米、麦麸中的淀粉, 豆皮的消化速度较慢, 停滞期也较长。提高大豆皮替代水平, 对饲料 DM 中其它动态消化参数没有影响(P = 0.360 - 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 呈线性(P=.002) 和二次线性曲线(P=.001)提高; 快速消化组分趋于线性上升(P=0.082); NDF 总体可消化组分(a+b)的线性上升趋势(P=0.001)较二次曲线上升趋势(P=0.002)更显著。慢速消化组分的消化速度(c)仅呈不显著的线性上升趋势 (P=0.194)。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的原因, 一方面是由于大豆皮中 NDF 木质化程度低, 因而与玉米和小麦麸相比其 NDF 消化率高且消化速度快, 另一方面可能是大豆皮能够刺激瘤胃中某些纤维分解菌群的快速生长。本试验 1 中提高大豆皮替代水平引起乳脂率提高的结果(表 5), 间接证明提高饲料大豆皮替代水平导

致瘤胃微生物区系改变的情况是存在的。需要进一步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 L 随着大豆皮替代玉米与小麦麸比例的提高，呈二次曲线关系(P=0.006)；对此尚难以解释。

表 8. 大豆皮替代不同水平玉米与小麦麸饲料的 DM 与 NDF 消化率

培养时间	大豆皮替代水平，%				
	0	25	50	75	100
DM 消化率，%					
6 h	25.2	23.9	23.0	22.5	19.5
12 h	38.6	36.3	34.3	31.7	33.7
24 h	53.6	54.0	53.2	51.9	49.5
48 h	69.0	71.1	71.0	68.2	68.8
72 h	75.1	76.6	75.2	74.9	74.0
NDF 消化率，%					
6 h	9.7	8.7	8.2	11.2	11.5
12 h	21.8	20.7	24.8	28.0	29.2
24 h	43.1	47.9	47.2	48.2	47.9
48 h	54.1	61.6	64.2	64.6	64.6
72 h	64.6	69.1	70.7	70.8	70.3

值得注意的是，本试验中 5 种混合饲料，特别是零替代水平饲料 DM 的观察值对动态消化模型的拟和度($R^2=0.915$)明显低于其 NDF 的拟和度($R^2=0.986-0.998$, 表 9)。这可能是因为饲料 DM 中的 b 组分至少包含淀粉(消化速度相对快)和 NDF(消化速度相对慢)两个组分。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(Xiong 等, 1990)。

表 9. 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^a

项目	大豆皮替代水平, %					SEM	反应趋势, P	
	0	25	50	75	100		L ^b	Q ^b
DM 消化								
a%	10.1	9.5	8.3	8.5	6.2	1.8	0.140	0.767
b%	68.6	71.3	72.0	71.4	72.2	0.9	0.023	0.167
(a+b),%	78.7	80.8	80.3	79.9	78.4	2.0	0.796	0.360
c/h	0.045	0.044	0.045	0.040	0.043	0.005	0.593	0.903
L,h	0.71	1.04	1.34	1.08	1.27	0.3	0.127	0.286
R ²	0.915	0.957	0.934	0.968	0.965	--	--	--
NDF 消化								
a%	2.0	2.5	3.7	2.9	5.4	1.0	0.082	0.646
b%	63.9	68.6	69.0	69.8	66.7	0.5	0.002	0.001
(a+b),%	65.9	71.1	72.7	72.7	72.1	1.1	0.001	0.005
c,h	0.045	0.051	0.051	0.050	0.053	0.004	0.194	0.688
L,h	3.2	4.6	4.7	3.1	4.0	0.2	0.746	0.006
R ²	0.995	0.993	0.994	0.998	0.986	--	--	--

^a 计算采用的数学模型为 $Y = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$. 式中: Y 为 t 时间点 DM 或 NDF 的消化率(%); a 为样本中快速消化组分的比例(%); b 为样本中慢速消化组分的比例(%); c 为 b 组分的消化速度(h); t 为样本在瘤胃中的培养时间(h); L 为消化延滞期(h)。

^b 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

以大豆皮替代产奶牛精料中的 25 和 50% 玉米与小麦麸, 奶牛日粮干物质、日产奶量、4% 乳脂率校正奶产量、乳蛋白、乳糖和无脂固形物含量及产奶的饲料转化效率与对照组相比没有明显差异。随着大豆皮替代水平的提高, 乳脂率趋于提高。用大豆皮替代产奶牛饲料中 25% 和 50% 玉米与小麦麸, 生产每千克标准校正奶的饲料成本降低 0.045 和 0.057 元。瘤胃内尼龙袋消化试验表明, 豆皮的可消化率高(DM 与 NDF 分别为 92 与 89%), 消化速度也相当快(DM 与 NDF 分别为 0.072 与 0.063%)。以大豆皮替代奶牛精料中 0、25、50、75 和 100% 的玉米与小麦麸, 对饲料 DM 总可消化组分 (a + b) 和消化速度(c) 均无明显影响。

致谢 :

在试验期间, 北京市北郊农场技术科李强、于永杰、奶牛一队刘继鑫、董振祥、郭永龙、金旭鹏、饲料加工厂王红卫、蒋谨、北京市奶牛中心程起方、张英来、中国农业大学动物科技学院范小飞、史敬飞、夏兆刚等同志提供多方面帮助, 一并致以谢意。

参考文献

- 熊易强. 1998. 去皮豆粕及其在饲料配方中的价值. *American Soybean Association*. MK2-98.
- Anderson, S. J., J. K. Merrill, M. L. McDonnell, and T. J. Klopfenstein. 1988. Digestibility and utilization of mechanically processed soybean hulls by lambs and steers. *J. Anim. Sci.* 66:2965-2976.
- Belyea, R. L., B. J. Stevens, R. J. Restrepo, and A. P. Clubb. 1989. Variation in composition of by-product feeds. *J. Dairy Sci.* 72:2339.
- Coomer, J. C., H. A. E. Amos, C. C. Williams, and J. G. Wheeler. 1993. Response of early lactation cows to fat supplementation in diets with different non-structural carbohydrate concentrations. *J. Dairy Sci.* 76:3747-3754.
- Bernard, J. K. and W. W. McNeill. 1991. Effect of high fiber energy supplements on nutrient digestibility and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:991-995.
- Corad, H. R., and J. W. Hibbs. 1961. Nitrogen metabolism in dairy cattle. II. Soybean flakes versus oats as principal sources of digestible carbohydrates for nitrogen utilization. *J. Dairy Sci.* 44:1903-1909.

- Cunningham ,K. D. ,M. J. Cecava ,and T. R. Johnson. 1993. Nutrient digestion ,nitrogen ,and amino acid flows in lactating cows fed soybean hulls in place of forage or concentrate. *J. Dairy Sci.* 76:3523-3535.
- Firkins , J. L. , and M. L. Eastidges. 1992. Replacement of forage or concentrate with combinations of soybean hulls , sodium bicarbonate , or fat for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2752-2761.
- Goering , H. K. , and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus , reagents , procedures , and some applications) . *Agric. Handbook* No. 379. ARS-USDA , Washington , DC.
- Herrera-Saldana , R. E. , J. T. Huber , and M. H. Poore. 1990. Dry matter , crude protein , and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393.
- Hintz , H. F. , M. M. Mathias , H. F. Ley , Jr. , and J. K. Loosli. 1964. The effects of processing and of feeding hay on the digestibility of soybean hulls. *J. Anim. Sci.* 23:43-46.
- Hsu , J. T. , D. B. Faulkner , K. A. Garleb , R. A. Barclay , G. C. Fahey , Jr. and L. L. Berger. 1987. Evaluation of corn fiber , cottonseed hulls , oat hulls , and soybean hulls as roughage sources for ruminants. *J. Anim. Sci.* 65:244-255.
- Klopfenstein , P. J. and F. G. Owen. 1987. Soyhulls. An energy supplement for ruminants. *Anim. Health Nutr.* 43 (4) :48.
- Ludden ,P. A. ,M. J. Cecava ,and K. S. Hendrix. 1995. The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat. *J. Anim. Sci.* 73:2726-2711.
- Macgregor , C. A. and F. N. Owen. 1976. Effect of increasing ration fiber with soybean mill run on digestibility and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 59:682-689.
- McDonald , I. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 96:251-252.
- Nakamuta ,T. ,and F. G. Owen. 1989. High amounts of soyhulls for pelleted concentrate diets. *J. Dairy Sci.* 72:988-994.
- NRC. 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle.* (6th Rev. Ed.) . National Academy Press , Washington , DC.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* (7th Rev. Ed.) . National Academy Press , Washington , DC.
- Pantoja , J. , J. L. Firkins , M. L. Eastridge , and B. L. Hull. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:2341-2356.

Quicke , G. V. , O. G. Bentley , H. W. Scott , R. R. Johnson , and A. L. Moxon. 1959. Digestibility of soybean hulls and flakes and the *in vitro* digestibility of the cellulose in various milling by-products. *J. Dairy Sci.* 42:185-186.

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

Wagner , D. G. , J. K. Loosli , H. F. Hintz , and R. G. Warner. 1965. Value of soybean flakes for milk production. *J. Dairy Sci.* 48:533-555.

Weiss , W. P. 1995. Full lactation response of cows fed diets with different sources and amounts of fiber and ruminal degradable protein. *J. Dairy Sci.* 78:1802-1814.

Xiong , Y. , S. J. Bartle , and R. L. Preston. 1990. Improved enzymatic method to measure processing effects and starch availability in sorghum grain. *J. Anim. Sci.* 68:3861-3870.