

# 应用化学成分建立天府肉鸭豆粕 净能预测模型的研究

李杰 贾刚\* 赵华 陈小玲 刘光芒 李华 王康宁

(四川农业大学动物营养研究所,农业部动物抗病营养与饲料重点实验室,雅安 625014)

**摘要:** 本试验旨在用析因法评定不同豆粕的天府肉鸭的净能(NE),并用表观代谢能(AME)结合化学成分建立其预测方程。豆粕 NE 的评定分为维持净能(NEm)与沉积净能(NEp)。试验共用天府肉鸭 740 只,先选 100 只随机分到自由采食及限饲 20%、32%、44%、56% 共 5 个组,采用回归法测定 NEm;再选 620 只随机分到 30 个豆粕组和 1 个基础饲粮组,采用套算法评定豆粕的 NEp;剩余 20 只鸭作为零对照组测定肉鸭初始能值。测定 30 种豆粕的常规化学成分,并根据测定的 NE、AME 和化学成分进行相关、回归分析。结果表明:天府肉鸭 NEm 为 598.251 kJ/kg BW<sup>0.75</sup>,经套算法得到 30 种豆粕 NE 为 (6.69±0.53) MJ/kg。用化学成分建立的最佳豆粕 NE 预测方程为  $NE = 0.412AME - 0.126ADF + 4.164$  ( $R^2$  为 0.931, RSD 为 0.168 MJ/kg);用 AME 结合化学成分建立的最佳预测方程为  $NE = 0.230AME - 0.132ADF - 1.69CF + 7.320$  ( $R^2$  为 0.942, RSD 为 0.156 MJ/kg)。由此可见,1)天府肉鸭的豆粕 NE 为 (6.69±0.53) MJ/kg,不同豆粕存在较大差异;2)用豆粕化学成分和 AME 来预测天府肉鸭豆粕 NE 是可行的,且用 AME 结合化学成分建立的 NE 预测方程较好。

**关键词:** 天府肉鸭;豆粕;净能;化学成分;预测模型

**中图分类号:** S835

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2015)10-3110-08

目前,家禽饲粮的配制常采用代谢能(ME)体系,但是 ME 没有考虑饲料养分在利用过程中的热增耗(HI),不能真正代表饲料能量的沉积效率;而净能(NE)反映了饲料被动物利用的真正效率,且比 ME 更准确,使用杂粕、农副产物等粗饲料配制饲粮时,NE 的优势更为明显<sup>[1]</sup>。由于实测 NE 费时、费力、费工,在实际生产过程中也难以实现,因此,一些动物营养学者开始用预测公式来间接估算饲料的 NE。单一饲料原料的 NE 可以通过饲料化学成分和表观代谢能(AME)与 ME 值的回归方程,根据待测饲料中的养分含量估测其 NE 值<sup>[2]</sup>。近年来,在实测 NE 值的基础上建立饲料的 NE 预测模型已经成为 NE 系统研究的一个重要方

向。Huan 等<sup>[3]</sup>实测了黄羽肉鸡玉米和豆粕的 NE 值,并在此基础上建立了化学成分结合 ME 以及单独用 ME 和化学成分预测 NE 的回归方程。Liu 等<sup>[4]</sup>在生长猪上测定了 7 种不同原料和 16 种饲粮的 NE 值,并与其化学成分进行逐步回归分析,得出原料和饲粮的 NE 预测方程。张正帆等<sup>[5]</sup>用比较屠宰法测定了黄羽肉鸡豆粕 NE 值,并利用化学成分、AME 建立了较理想的 NE 预测模型。目前,有关天府肉鸭豆粕 NE 以及用化学成分和 AME 结合化学成分建立的 NE 预测模型还未见相关报道。因此本试验拟在实测 30 种豆粕 NE 的基础上,建立天府肉鸭豆粕 NE 的预测模型。

收稿日期:2015-04-30

基金项目:四川省科技支撑计划(2013NZ0054,科创饲料产业技术研究院);四川农业大学双支计划

作者简介:李杰(1988—),男,四川隆昌人,硕士研究生,从事饲料资源开发与高效利用研究。E-mail: 1040957563@qq.com

\* 通信作者:贾刚,教授,博士生导师, E-mail: jiagang700510@163.com

苏、辽宁等省和自治区。这些豆粕样品均符合我国饲料用大豆粕国家标准(GB/T 19541—2004),并且基本涵盖了不同品质的豆粕。30 种豆粕概略养分含量见表 1。

1 材料与amp;方法

1.1 豆粕 NE 的测定

1.1.1 豆粕采集

30 种豆粕分别来自四川、重庆、河南、山东、江

表 1 豆粕的概略养分含量(风干基础)

Table 1 Proximate composition of soybean meals (air-dry basis) %

样品 Samples	来源地 Origin	干物质 DM	酸性洗涤纤维 ADF	中性洗涤纤维 NDF	粗灰分 Ash	粗脂肪 EE	粗蛋白质 CP	粗纤维 CF
1	徐州	89.04	8.81	10.04	6.13	0.40	48.78	4.12
2	彭山	91.55	11.63	15.07	5.92	1.35	46.06	6.08
3	内江	87.13	9.94	12.32	5.88	1.36	45.74	5.19
4	防城港	89.64	10.93	15.74	5.89	1.61	44.36	7.11
5	许昌	90.82	10.31	13.91	6.05	2.57	44.91	6.09
6	信阳	89.35	10.72	12.76	5.93	2.11	45.48	5.48
7	宜宾	89.37	8.36	11.88	6.05	1.54	45.93	4.45
8	龙口 45	90.35	10.01	12.47	5.95	1.36	45.67	5.55
9	龙口 43	87.67	8.46	11.71	5.91	1.10	43.69	4.82
10	德阳	88.19	7.77	12.10	6.12	0.45	46.57	4.40
11	大连	87.61	9.15	14.12	5.96	1.60	44.86	5.09
12	烟台	87.28	8.25	13.00	6.11	1.17	45.91	5.62
13	重庆	86.93	14.14	18.73	5.81	1.43	40.66	6.96
14	青岛	89.59	6.85	11.80	6.19	1.24	49.68	3.32
15	南阳	88.12	7.24	13.01	6.02	1.49	44.09	4.92
16	南宁	87.01	6.98	12.92	5.93	1.92	48.02	3.83
17	泸州	88.03	8.92	14.77	5.80	1.35	44.42	5.30
18	自贡	87.84	7.29	12.64	5.72	1.96	44.93	4.82
19	雅安	88.42	9.26	15.15	5.76	1.91	43.49	6.79
20	眉山	87.89	10.34	15.35	5.83	1.90	42.68	6.63
21	成都 45	88.27	6.41	11.72	5.94	1.49	45.88	4.39
22	营口	88.03	8.56	14.60	5.62	2.06	44.04	5.36
23	成都 43	87.82	9.76	16.00	5.91	1.43	43.58	7.24
24	铁岭	88.01	9.37	16.09	5.90	1.21	43.62	5.91
25	南通	87.63	10.56	14.40	6.02	1.17	43.53	5.75
26	上海	87.38	8.19	10.65	6.19	1.84	48.31	3.59
27	广州	87.52	7.98	11.20	6.17	2.63	47.91	4.45
28	广汉	88.91	12.80	15.70	14.35	1.37	40.9	6.12
29	北京	85.90	11.72	16.40	6.35	1.43	40.89	6.20
30	昭通	89.25	9.80	14.36	5.96	1.06	45.08	4.49

1.1.2 试验饲料

本试验采用玉米-豆粕型饲料,均为颗粒料。基础饲料参照中国《肉鸭饲养标准》(NY/T 2122—2012)配制。基础饲料 1 用于维持净能(NEm)试验。基础饲料 2 用于沉积净能(NEp)试验。基础饲料 2 是在基础饲料 1 的基础上粗蛋白质(CP)下调 6%,使豆粕替代基础饲料的 20%后,CP 水平刚好满足需要。各试验饲料的豆粕替代比例均为 20%。

表 2  饲料组成及营养水平 (风干基础)

Table 2  Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)

%

项目 Items	基础饲料 1 Basal diet 1	基础饲料 2 Basal diet 2
原料 Ingredients		
玉米 Corn	61.80	77.60
豆粕 Soybean meal	33.80	17.50
豆油 Soybean oil	0.20	0.00
碳酸钙 CaCO <sub>3</sub>	1.10	1.30
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1.70	2.20
食盐 NaCl	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20
预混料 Premix	0.50	0.50
L-赖氨酸盐酸盐 L-lysine · HCl	0.10	0.20
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.20	0.20
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.16	12.19
粗蛋白质 CP	20.06	14.09
钙 Ca	0.91	1.05
有效磷 AP	0.42	0.49
真可消化赖氨酸 TDLys	1.20	0.80
真可消化含硫氨酸 TDSAA	0.80	0.65
真可消化色氨酸 TDThr	0.23	0.15
真可消化苏氨酸 TDTrip	0.76	0.52

预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets:VA 4 000 IU,VD<sub>3</sub> 2 000 IU,VE 20 IU,VK<sub>3</sub> 2.0 mg,VB<sub>1</sub> 2 mg,VB<sub>2</sub> 12 mg,VB<sub>6</sub> 3 mg,VB<sub>12</sub> 0.02 mg,烟酸 nicotinic acid 50 mg,泛酸 pantothenate acid 10 mg,叶酸 folic acid 1 mg,CuSO<sub>4</sub> 8 mg,FeSO<sub>4</sub> 60 mg,MnSO<sub>4</sub> 100 mg,ZnSO<sub>4</sub> 60 mg,KI 0.4 mg,Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.3 mg,生物素 0.15 mg。

1.1.1.3  试验设计

选取 7 日龄末空腹体重为 (120.14±3.21) g 的天府肉鸭 740 只,试验开始时屠宰 20 只肉鸭作为零对照组测定初始能值。试验期为 8~15 日龄,共 7 d。第 13.5 日龄时所有试鸭禁食 36 h 后,以重复为单位称重,然后颈椎错位致死,迅速将胴体用液氮冷冻,并放置在-20 ℃冰箱中保存。

NE<sub>m</sub> 测定采用比较屠宰法结合回归法,从中选取肉鸭 100 只,随机分配到自由采食及限饲 20%、32%、44%、56% 共 5 个组,每个组 5 个重复,每个重复 4 只鸭。试验期间所有组均饲喂基础饲料 1。其中自由采食组饲喂量根据前 1 天试验鸭的采食量进行调整,确保料桶内有 10% 左右的剩料,并根据自由采食组的饲喂量来确定限饲组的饲喂量。

豆粕 NE<sub>p</sub> 的测定采用比较屠宰法结合套算法,选取 620 只雏鸭用于豆粕 NE<sub>p</sub> 测定。共设 31 个组,为基础饲料 2 和 30 个豆粕替代基础饲料组,

每个组 5 个重复,每个重复 4 只鸭。

1.1.1.4  饲养管理

本试验于四川农业大学动物营养研究所试验场进行。试验开始前先将鸭舍,代谢笼清洗和熏蒸。雏鸭以重复为单位笼养,用红外灯加热,保持笼内温度控制在 28~32 ℃,相对湿度控制在 60%~65%。试验期间自由采食和饮水,禁食期间断料不断水。

1.1.1.5  测定指标

在试验开始和结束 (第 8、15 日龄) 时试验鸭以重复为单位称重,统计试验全期采食量。以重复为单位计算平均日增重 (ADG)、平均日采食量 (ADFI) 和料重比 (F/G)。

排泄物收集采用全收粪。在代谢笼下设收粪盘,并在盘上铺干净的塑料布,及时清理脱落的皮屑、羽毛和饲料等杂物,每天收粪 3 次 (08:00、15:00、20:00)。收集后按每 100 g 加入 10 mL 10% 的盐酸和 3~5 滴甲苯,并放置在-20 ℃冰箱

中保存。试验结束后将试验全期采集的排泄物按重复为单位混匀,用于干物质和能量测定。

采用氧弹式热量计( Parr USA )测定饲料、不同饲喂组和起始 10 只鸭的肉样能量。

用回归法估计 NEm,根据各限饲组试验结束时和试验前对照组鸭的机体能量之差,计算出各组的沉积能( RE ),结合不同采食水平下试验鸭的食入代谢能( MEI ),算出机体产热( HP ),再代公式: $\log HP=a+bMEI$ ,计算出待解常数 a 和 b,a 值即为 NEm<sup>[6]</sup>。

$RE=$ 末试验鸭的能量-初试验鸭的能量;

$HP=MEI-RE;$

$NE=NEm+NEp;$

$NE \text{ 饲粮}=(NEm \times W^{0.75} \times 7+NEp)/$

$7 \text{ d 采食量}(W^{0.75}; \text{试验期平均代谢体重});$

$\text{豆粕 } NE=(\text{基础饲粮 } NE-\text{替代饲粮 } NE \times 0.8)/0.2。$

1.2 化学成分模型和 AME 结合化学成分模型的建立

用 SPSS 22.0 对 30 个豆粕样品实测 NE 与概略养分含量、AME 进行逐步回归分析,建立 1~21 日龄天府肉鸭豆粕 NE 的化学成分模型、AME 结合化学成分模型。

2 结 果

由表 3 可见,在不同限饲水平下,随着采食量的减少,ADG,ADFI 呈显著降低趋势( $P<0.05$ );而 F/G 呈增高的趋势,其中限饲 20%组和限饲 32%组差异不显著( $P>0.05$ )。MEI、RE 随着限饲量的加大显著降低趋势( $P<0.05$ );HP 随着限饲量加大,呈降低趋势,但自由采食组和限饲 20%组差异不显著( $P>0.05$ ),限饲 32%组和限饲 44%组差异也不显著( $P>0.05$ )。对 HP 和 MEI 的对数关系进行回归分析,得到了 HP 和 MEI 之间的回归关系,并由此建立了由 MEI 估计 HP 的回归公式: $HP=589.251e^{0.0002MEI}$ ( $R^2=0.85,P<0.05$ ),根据公式计算 NEm=589.251 kJ/kg BW<sup>0.75</sup>。

由表 4 可见,通过代谢试验和比较屠宰试验,豆粕顶替饲粮提供给天府肉鸭用于的 NEp 为(5.32±0.14) MJ/kg,用于的 NEm 为(3.53±0.12) MJ/kg,30 种豆粕顶替饲粮的 NE 为(8.85±0.1) MJ/kg,基础饲粮 2 的 NE 为 9.39 MJ/kg,经套算公式[豆粕 NE=(基础饲粮 NE-替代饲粮 NE×0.8)/0.2],得到 30 种豆粕 NE 为(6.69±0.53) MJ/kg,AME 为(10.19±0.72) MJ/kg。以此得到的 AME 转化为 NE 的效率为(65.93±1.85)%。

表 3 不同采食水平下天府肉鸭的平均 MEI、RE 和 HP  
Table 3 ME intake, retained energy and heat production for Tianfu

采食水平 Feeding levels	ducks under different feeding levels				kJ/(kg BW <sup>0.75</sup> ·d)	
	平均 日增重 ADG	平均日 采食量 ADFI	料重比 F/G	食入 代谢能 MEI	沉积能 RE	产热 HP
自由采食 <i>Ad libitum</i> intake	39.01 <sup>c</sup>	57.14 <sup>c</sup>	1.46 <sup>a</sup>	1 922.50 <sup>c</sup>	794.90 <sup>c</sup>	1 127.59 <sup>c</sup>
限饲 20% Restricted feeding 20%	26.24 <sup>d</sup>	45.71 <sup>d</sup>	1.74 <sup>b</sup>	1 743.87 <sup>d</sup>	635.55 <sup>d</sup>	1 108.32 <sup>c</sup>
限饲 32% Restricted feeding 32%	22.24 <sup>c</sup>	38.86 <sup>c</sup>	1.75 <sup>b</sup>	1 563.22 <sup>c</sup>	519.32 <sup>c</sup>	1 043.90 <sup>b</sup>
限饲 44% Restricted feeding 44%	17.66 <sup>b</sup>	32.00 <sup>b</sup>	1.81 <sup>b</sup>	1 446.71 <sup>b</sup>	408.51 <sup>b</sup>	1 038.20 <sup>b</sup>
限饲 56% Restricted feeding 56%	13.20 <sup>a</sup>	25.14 <sup>a</sup>	1.90 <sup>c</sup>	1 175.84 <sup>a</sup>	299.33 <sup>a</sup>	876.52 <sup>a</sup>

同列数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。  
In the same column, values with no letter or the same small letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ).

由表 5 可见,随着因子数的增加,方程的拟合度提高( $R^2$  增大),相对标准偏差( RSD )变小。在因子数相同的情况下,AME 结合化学成分建立的

NE 预测方程优于只用化学成分建立的预测方程。回归方程 4、5 分别为只用化学成分、AME 结合化学成分建立的最优预测方程。

表 4 豆粕 NE、AME、NE/AME(风干基础)  
Table 4 NE, AME and NE/AME of soybean meals (air-dry basis)

饲粮 Diets	沉积净能 NEp/ (MJ/kg)	维持净能 NEm/ (MJ/kg)	净能 NE/ (MJ/kg)	豆粕表 观代谢能 AME of soybean meal/(MJ/kg)	豆粕净能 NE of soybean meal/ (MJ/kg)	净能/ 表观代谢能 NE/ AME/%
基础饲粮 2 Basal diet 2	5.80	3.59	9.39			
1	5.27	3.70	8.97	10.86	7.33	67.46
2	5.16	3.61	8.77	9.63	6.27	65.11
3	5.34	3.46	8.80	10.07	6.44	63.93
4	5.20	3.52	8.72	9.73	6.06	63.47
5	5.29	3.47	8.76	9.82	6.29	64.11
6	5.34	3.48	8.82	10.18	6.52	64.09
7	5.31	3.61	8.92	11.00	7.05	64.09
8	5.14	3.67	8.81	10.24	6.62	64.70
9	5.28	3.59	8.87	10.38	6.79	65.37
10	5.44	3.51	8.95	10.51	7.19	68.37
11	5.38	3.47	8.85	9.64	6.71	69.64
12	5.36	3.47	8.83	9.89	6.62	66.90
13	5.08	3.44	8.52	8.89	5.05	64.06
14	5.43	3.55	8.98	11.46	7.37	64.35
15	5.19	3.75	8.94	10.57	7.15	67.58
16	5.33	3.61	8.94	11.11	7.15	64.37
17	5.04	3.82	8.86	10.12	6.75	66.70
18	5.41	3.50	8.91	10.66	7.00	65.65
19	5.14	3.69	8.83	9.70	6.59	67.91
20	5.22	3.55	8.77	9.40	6.33	67.29
21	5.57	3.41	8.98	11.16	7.35	65.90
22	5.43	3.40	8.83	9.63	6.62	68.74
23	5.52	3.26	8.78	9.03	6.31	68.61
24	5.24	3.54	8.78	9.77	6.31	64.59
25	5.26	3.59	8.85	10.22	6.70	65.61
26	5.58	3.43	9.01	11.53	7.50	65.00
27	5.49	3.52	9.01	11.20	7.46	66.56
28	5.43	3.33	8.76	9.50	5.91	63.45
29	5.35	3.42	8.77	9.15	6.33	69.20
30	5.37	3.51	8.88	10.55	6.87	65.14
平均值 Mean	5.32	3.53	8.85	10.19	6.69	65.93
标准差 SD	0.14	0.12	0.10	0.72	0.53	1.85

3 讨 论

3.1 回归法测定 NEm

回归法估计 NEm 需要量,通常是通过建立 HP 与 MEI 或者 RE 与 MEI 之间的回归关系来估计 NEm。通常情况下,机体 HP 包括 HI 和机体维持消耗的 NE 释放出的热量,因此当 HI 为 0 时,即

机体 MEI 为 0,推测的 HP 就是维持的 NE 需要。Labussière 等<sup>[7]</sup>研究发现实测 MEm 通常要高于回归法推测的 MEm。本试验测得的维持产热值高于 Sakomura 等<sup>[8]</sup>测定的 1~8 周龄肉仔鸡产热值 0.403 MJ/(BW<sup>0.75</sup>·d)。O’Neill 等<sup>[9]</sup>报道,白来航母鸡不同生理阶段的 NEm 为 404.02~463.899 kJ/(kg BW<sup>0.75</sup>·d)。Sakomura 等<sup>[10]</sup>通过

比较屠宰法研究发现罗曼蛋鸡的 NEm 随温度的升高而降低。这种差异可能是由于能量平衡测定缺乏一个统一标准的缘故。因此,其测定方法、环境温度、饲喂方式、年龄、饲粮类型和动物品种等因素都会影响 NEm 测定值的大小。

表 5 豆粕 NE 与化学成分、AME 的回归方程(风干基础)  
Table 5 Regression equations of NE and chemical compositions, AME of soybean meals (DM basis)

序号 No.	回归方程 Regression equation	相关系数 $R^2$	相对标准偏差 RSD/( MJ/kg)	P 值 P-value
1	$NE = -0.295ADF + 10.666$	0.829	0.259	<0.001
2	$NE = 0.637AME + 0.253$	0.899	0.208	<0.001
3	$NE = -0.170ADF - 0.304CF + 11.162$	0.931	0.168	<0.001
4	$NE = 0.412AME - 0.126ADF + 4.164$	0.931	0.168	<0.001
5	$NE = 0.230AME - 0.132ADF - 1.69CF + 7.320$	0.942	0.156	<0.001

3.2 豆粕的 NE、NE/AME 的比较以及影响因素

本试验用比较屠宰法结合回归法及套算法,测得 30 种豆粕以干物质基础的 NE 实测值为 (7.57±0.61) MJ/kg。张正帆等<sup>[5]</sup>测得的黄羽肉鸡豆粕 NE 值为 6.045~7.829 MJ/kg, Lesson 等<sup>[11]</sup>测得来亨母鸡的豆粕 NE 值为 7.79 MJ/kg, Noblet 等<sup>[12]</sup>测定生长猪豆粕的 NE 为 8.07 MJ/kg, 均在本试验所测范围内。Zhang 等<sup>[13]</sup>在生长猪上测得 5 种人工豆粕 NE 值在 8.19~9.14 MJ/kg 之间,要略高于本试验所测结果,而其 NE 占 ME 的比例为 54.18%~58.00%,究其原因可能是他所采用的人工豆粕为不同豆粕与豆皮不同比例混合而成,而导致豆粕营养成分的不同。本试验的 AME 转化为 NE 的效率为 (65.93±1.85)%,要高于 Lesson 等<sup>[11]</sup>测得的 60%及张正帆等<sup>[5]</sup>测得的 55.24%~62.78%,原因可能是鸭和鸡在体成分、解剖结构和消化生理上的差异,导致了它们对饲料的利用率方面也存在较大的差异。

本试验 NE 为 NEm 与 NEp 之和。故 NEm 和 NEp 测定的准确性对 NE 估测值的影响很大。本试验选用的是玉米-豆粕型饲粮,饲料制粒,自由采食。自由采食避免了采用强饲法时,饥饿和强饲对肉鸭造成的应激。饲喂颗粒料弥补了饲喂粉料时,肉鸭采食量效率低、易挑食、浪费大的缺陷,从而提高了采食量,避免了试验鸭由于采食量过低而引起的测定值偏低<sup>[14]</sup>;颗粒饲料也很好地解决在饲喂粉料时各营养成分分层问题,同时采食颗粒料还可以提高饲料转化率<sup>[15-16]</sup>。Noblet 等<sup>[12]</sup>测定了 61 种饲粮在 45 kg 大白猪中的 ME、NE,得出 ME 转化为 NE 的效率为 74%;可消化养

分蛋白质、淀粉、脂肪 NE 转化率分别为 60%、82%、90%。随着 ME 转化为 NE 的效率随之降低。Sarmierinto-Franco 等<sup>[17]</sup>研究表明,家禽 ME 转化为 NE 的效率受饲粮中酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、粗灰分和半纤维素含量的影响。

综上所述,影响豆粕 NE 及 NE/AME 的因素有很多,除了试验动物品种及年龄、饲料因素、试验条件外,还与试验方法等有关。

3.3 豆粕 NE 的 AME 及化学成分预测方程

用消化和代谢试验等传统的方法直接测定饲料的 NE 值较准确,但是该法耗时、耗工、耗资,不能在生产实际中广泛应用。用化学成分预测饲料能值具有简便、快捷、准确等优势,应用性比较广。Noblet 等<sup>[12]</sup>以 45 kg 生长大白公猪作为试验动物,通过可消化养分、消化能、ME 的测定,并通过实验室分析测得粗纤维(CF)、NDF、ADF 和粗灰分等一些影响有效能的组分,进行一元回归和多元回归,得到 61 种饲料原料的 DE、ME 和 NE 预测模型。在家禽 NE 的研究上,本试验得到的只用化学成分和用 AME 结合化学成分建立的豆粕 NE 最佳预测方程  $R^2$  分别为 0.931、0.942, RSD 分别为 0.168、0.156 MJ/kg,表明所建立的最佳方程是可以应用的。张正帆等<sup>[5]</sup>得到的方程  $R^2$  为 0.96, RSD 为 0.114 MJ/kg,略优于本试验所建的预测方程。其原因可能是本试验豆粕样品的 CP、CF 等常规养分含量范围较张正帆等<sup>[5]</sup>的大。本试验条件下的预测方程引入 ADF 等预测因子,这与 Huan 等<sup>[3]</sup>在用玉米、豆粕研究肉鸡 NE 预测方程中引入 ADF 效果最好相一致。在本试验条件下还发现,

ADF、NDF、CF 与 NE 的相关性远大于粗脂肪 (EE)、CP 和其他成分与 NE 的相关性,这与张正帆等<sup>[5]</sup>结论一致的。本试验发现,以 CF、ADF 和 NDF 为单一指标预测饲料有效能时,不如与其他因子结合所建预测方程的效果好。Huan 等<sup>[3]</sup>在豆粕 NE 预测上研究,认为在 ADF 为主要预测因子的基础上引入 EE、CP、粗灰分、无氮浸出物 (NFE) 后建立的二元、三元预测的方程比一元方程准确性有不同程度的提高。从拟合度和 RSD 来看,AME 结合化学成分所建的 NE 预测方程要优于只用化学成分建立预测方程。Noblet 等<sup>[12]</sup>用 ME 和化学成分建立生长猪饲料粮的最佳预测方程的  $R^2$  和 RSD 同样也优于只用化学成分建立的预测方程。显然在 AME 基础上再通过化学成分校正能减少直接用化学成分估计的误差。

## 4 结 论

① 本试验条件下,天府肉鸭 NEm 为 589.251 kJ/kg BW<sup>0.75</sup>。豆粕顶替饲料粮提供给天府肉鸭用于的沉积净能为 (5.32±0.14) MJ/kg,用于的 NEm 为 (3.53±0.12) MJ/kg,30 种豆粕顶替饲料粮的 NE 为 (8.85±0.1) MJ/kg,经套算法得到 30 种豆粕 AME 为 (10.19±0.72) MJ/kg,NE 为 (6.69±0.53) MJ/kg,AME 转化为 NE 的效率为 (65.93±1.85)%。

② 本试验条件下,豆粕的 AME 和 NE 的高度相关 ( $R^2 = 0.899$ , RSD = 0.208 MJ/kg,  $P = < 0.001$ ), ADF 也和 NE 高度相关 ( $R^2 = 0.829$ , RSD=0.259 MJ/kg,  $P = < 0.001$ ),由 AME、ADF 和 CF 建立的三元回归方程 ( $NE = 0.230AME - 0.132ADF - 1.69CF + 7.320$ ,  $R^2 = 0.942$ , RSD = 0.156 MJ/kg,  $P = < 0.001$ ) 的预测性能最好。

## 参考文献:

- [1] VAN MILGEN J, NOBLET J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81 (2S): E86-E93.
- [2] NOBLET J, FORTUNE H, SHI X S, et al. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72 (2): 344-354.
- [3] HUAN Z J, WANG K N. Prediction of net energy value of corn and soybean meal for broiler chicken [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2009, 3 (6): 6-12.
- [4] LIU D W, JAWORSKI N W, ZHANG G F, et al. Effect of experimental methodology on fasting heat production and the net energy content of corn and soybean meal fed to growing pigs [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2014, 68 (4): 281-295.
- [5] 张正帆, 王康宁, 贾刚, 等. 1~21 日龄黄羽肉鸡豆粕净能预测模型 [J]. *动物营养学报*, 2011, 23 (2): 250-257.
- [6] LOFGREEN G P, GARRETT W N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 1968, 27 (3): 793-806.
- [7] LABUSSIÈRE E, VAN MILGEN J, DE LANGE C F M, et al. Maintenance energy requirements of growing pigs and calves are influenced by feeding level [J]. *The Journal of Nutrition*, 2011, 141 (10): 1855-1861.
- [8] SAKOMURA N K, LONGO F A, OVIEDO-RONDON E O, et al. Modeling energy utilization and growth parameter description for broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2005, 84 (9): 1363-1369.
- [9] O'NEILL S J B, JACKSON N. The heat production of hens and cockerels maintained for an extended period of time at a constant environmental temperature of 23 °C [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1974, 82 (3): 549-552.
- [10] SAKOMURA N K, BASAGLIA R, SÁ-FORTES C M L, et al. Model for metabolizable energy requirements of laying hens [J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2005, 34 (2): 575-583.
- [11] LEESON S, SUMMERS J D, CASTON L J. Net energy to improve pullet growth with low protein amino acid-fortified diets [J]. *The Journal of Applied Poultry Research*, 2000, 9 (3): 384-392.
- [12] NOBLET J, SHI X S, DUBOIS S. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72 (3): 648-657.
- [13] ZHANG G F, LIU D W, WANG F L, et al. Estimation of the net energy requirements for maintenance in growing and finishing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92 (7): 2987-2995.
- [14] AMERAH A M, RAVINDRAN V, LENTLE R G, et al. Feed particle size: implications on the digestion and performance of poultry [J]. *World's Poultry Science Journal*, 2007, 63 (3): 439-455.
- [15] GREENWOOD M W, CRAMER K R, BEYER R S, et al. Influence of feed form on estimated digestible ly-

- sine needs of male broilers from sixteen to thirty days of age[J]. The Journal of Applied Poultry Research, 2005, 14(1):130-135.
- [16] LEMME A, WIJTEN P J A, VAN WICHEN J, et al. Responses of male growing broilers to increasing levels of balanced protein offered as coarse mash or pellets of varying quality[J]. Poultry Science, 2006, 85(4):721-730.
- [17] SARMIENTO-FRANCO L, MACLEOD M G, MC-NAB J M. True metabolisable energy, heat increment and net energy values of two high fibre foodstuffs in cockerels[J]. British Poultry Science, 2000, 41(5):625-629.

## A Study of Prediction Model of Chemical Composition to Predict Net Energy of Soybean Meal for *Tianfu* Ducks

LI Jie JIA Gang\* ZHAO Hua CHEN Xiaoling LIU Guangmang LI Hua WANG Kangning

(Key Laboratory of Animal Disease-Resistant Nutrition and Feed Science of Ministry of Agriculture, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** The study was conducted to determine the net energy (NE) of soybean meals using the factorial method, and was established prediction models for NE by chemical composition or apparent metabolizable energy (AME). NE value of soybean meal was measured as the sum value of NE for maintenance (NEm) and NE for deposition (NEp). A total of 740 *Tianfu* ducks were used in the experiment. NEm was measured by regression method with five groups used 100 ducks, which were *ad libitum* groups and restricted feeding 20%, 32%, 44%, 56% groups, respectively. NEp was measured by substitution method with 30 soybean meal groups and 1 basal diet group used 620 ducks. The other 20 ducks as a zero control group for measured initial energy values of ducks. Proximate compositions of soybean meal samples were measured, and analyses of simple and multiple linear regression were carried out between NE and AME values, and chemical composition. The results showed that the NEm of ducks was 598.251 kJ/kg BW<sup>0.75</sup>, the NE value of 30 soybean meals were (6.69±0.53) MJ/kg. The optimum prediction model for NE of soybean meals by chemical composition was  $NE = 0.412AME - 0.126ADF + 4.164$  ( $R^2 = 0.931$ , RSD = 0.168 MJ/kg). The optimum prediction model for AME by chemical composition was  $NE = 0.230AME - 0.132ADF - 1.69CF + 7.320$  ( $R^2 = 0.942$ , RSD = 0.156 MJ/kg). In conclusion, 1) the soybean meals NE of *Tianfu* ducks is (6.69±0.53) MJ/kg, and has greatly difference among different soybean meals. 2) It is feasible to using chemical composition and AME to establish prediction equations for soybean meal NE, and the best regression equation from AME combined with chemical composition is relatively good. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(10):3110-3117]

**Key words:** *Tianfu* ducks; soybean meal; net energy; chemical composition; prediction models