

# 1~21日龄黄羽肉鸡棉籽粕傅里叶近红外及 化学成分净能预测模型研究

陈玉娟 贾刚 吴秀群 王康宁\*

(四川农业大学动物营养研究所,雅安 625014)

**摘要:** 本试验在用比较屠宰法实测 25 个棉籽粕样品净能(NE)值的基础上,旨在研究用傅里叶近红外(NIRS)和化学成分 2 种方法建立的 NE 预测模型的可行性,并比较 2 种预测模型的预测效果。1) 棉籽粕 NE 值的测定采用维持 NE(NEm) + 沉积 NE(NEp)的方法。其中 NEm 用回归法测定,设自由采食及限饲 20%、40%、60% 和 80% 5 个采食梯度,NEp 采用套算法测定;每个梯度和棉籽粕样品均设 6 个重复,每个重复 2 只鸡。试验动物为 382 只平均体重为(62.20 ± 0.64) g 的 7 日龄末空腹康达尔黄羽肉公鸡,试验期为 7 d。2) 分别建立自然状态和扩大水分背景的 NIRS 预测模型 M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub>。3) 将 25 个棉籽粕样品的表观代谢能(AME)、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维和灰分 7 种成分值与 NE 值进行一元和多元线性回归分析。结果如下:1) M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 的校正决定系数( $R_{cal}^2$ )分别为 0.999、0.985,校正标准差(RMSEE)分别为 0.033、0.084 MJ/kg DM,交叉验证决定系数( $R_{cv}^2$ )分别为 0.966、0.967,交叉验证标准差(RMSECV)分别为 0.120、0.117 MJ/kg DM,预测决定系数( $R_{val}^2$ )分别为 0.843、0.957,预测标准差(RMSEP)分别为 0.260、0.136 MJ/kg DM,2 个模型预测值与实测值配对 *t* 检验结果均不显著( $P > 0.05$ )。2) 用化学成分结合 AME 建立的最佳预测方程的  $R^2$  和 RSD 分别为 0.985 和 0.093 MJ/kg DM。结果表明:1) 应用 NIRS 和 AME 结合化学成分均能建立预测效果可靠的棉籽粕 NE 预测模型;2) NIRS 所建 M<sub>2</sub> 模型的预测效果与 AME 结合化学成分所建模型相当。

**关键词:** 黄羽肉鸡;NE;预测;近红外;水分校正

**中图分类号:** S816.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2011)09-1499-06

在杂粕型饲料中采用净能(NE)体系评价能量比采用代谢能(ME)体系更加准确。但实测 NE 非常困难,限制了 NE 体系的推广和应用,在实际生产中可以使用可靠的预测模型对原料 NE 值进行估计。目前,采用比较屠宰试验结合回归法和套算法实测黄羽肉鸡饲料原料 NE 值的方法已比较成熟,Huan 等<sup>[1]</sup>、张正帆等<sup>[2]</sup>应用该方法分别测得了较为准确的玉米和豆粕的 NE 值,并在此基础上用化学成分并结合表观代谢能(AME)建立了黄羽肉鸡玉米和豆粕的 NE 预测模型,发现 AME 结合化学成分所建模型优于只用化学成分所建立

的模型。张正帆等<sup>[2]</sup>通过扩大背景水分区间以较少样品建立了较理想的傅里叶近红外(NIRS)模型,且与 AME 结合化学成分所建模型效果相当。在 1~21 日龄的黄羽肉鸡上已先后建立了玉米和豆粕的 NE 预测模型,针对这一生长阶段的黄羽肉鸡的 NE 预测研究正逐渐形成一个完整可用的数据体系。但目前关于棉籽粕 NE 值的报道还较少,有待验证,且黄羽肉鸡棉籽粕的 NE 预测模型也还未见报道。本试验以 1~21 日龄康达尔黄羽肉鸡为动物模型,在实测 25 个棉籽粕样品 NE 值的基础上,分别研究了通过扩大背景水分区间以较少

收稿日期:2011-04-11

基金项目:四川农业大学双支计划

作者简介:陈玉娟(1986—),女,四川简阳人,硕士研究生,从事单胃动物的营养研究。E-mail: chenyujuan130@163.com

\* 通讯作者:王康宁,教授,博士生导师,E-mail: wkn@sicau.edu.cn

样品数建立效果较好的 NIRS NE 预测模型的可行性,以及用化学成分并结合 AME 建立棉籽粕 NE 预测模型的可行性,并对 2 种预测模型的预测效果进行比较。

## 1 材料与方法

### 1.1 棉籽粕 NE 值的测定

棉籽粕 NE 值的测定采用维持 NE(NEm) + 沉积 NE(NEp)的方法。其中 NEm 的测定采用回归法,设自由采食、限饲 20%、40%、60% 和 80% 5 个采食梯度,NEp 的测定采用套算法。每个采食梯度和棉籽粕样品均设 6 个重复,每个重复 2 只鸡。试鸡均为饥饿 36 h 后空腹、平均体重为  $(62.20 \pm 0.64)$  g 的 7 日龄未黄羽肉公鸡,共 382 只,试验期为 7 d。测定 NEm 的试验饲粮赖氨酸(Lys)水平参照于叶娜等<sup>[3]</sup>提出的真可消化赖氨酸(TDLys)含量为 0.99%,氨基酸平衡模式参照 NRC(1994)和 Baker<sup>[4]</sup>,其余各养分水平参照中国黄羽肉鸡饲养标准(NY/T 33—2004)配制。测定 NEp 的基础饲粮粗蛋白质(CP)水平作适当下调,使顶替 15% 棉籽粕后的测试饲粮的 CP 水平与按 NRC(1994)标准配制的玉米-豆粕型饲粮相近<sup>[2]</sup>。数据采用 EXCEL 软件进行统计分析,试验结果用平均值  $\pm$  标准差表示。

### 1.2 近红外 NE 预测模型的建立

按照水分和 NE 分布从 25 个棉籽粕样品中选择 8 个自然状态的样品作为外部验证集,其余 17 个样品作为校正集 1;将校正集 1 各样品分为 5 份,并将 5 份样品水分含量分别调整到 9% ~ 10%、10% ~ 11%、11% ~ 12%、12% ~ 13%、13% ~ 14% 5 个区间,作为校正集 2;用 OPUS/QUENT 5.5 光谱定量分析软件,以最小交叉验证标准差(RMSECV)为指标,筛选棉籽粕样品建模的最佳预处理方法,分别以校正集 1 和 2 建立 NIRS 预测模型  $M_1$  和  $M_2$ ,并对 2 个模型进行外部检验,考察 2 个模型的预测决定系数( $R^2_{val}$ )和预测标准差(RMSEP),对 NE 的实测值和 NIRS 预测值进行配对  $t$  检验。各项指标计算公式如下:

$$\text{决定系数 } R^2(\%) = 100 \times \left\{ 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_m)^2} \right] \right\}.$$

式中, $n$  为样品数; $\hat{y}_i$  为第  $i$  个样品的预测值;

$y_i$  为第  $i$  个样品的实测值; $y_m$  为样本实测值的平均值。 $R^2$  接近 100% 表示预测值接近实测值。

$$\text{预测标准差 } RMSEP = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}.$$

预测标准差越小,表示近红外预测值与实测值越接近。

预测相对标准差  $RSD(\%) = (RMSEP/y_{mp}) \times 100$ 。

式中, $y_{mp}$  表示验证集实测值的平均值; $RSD$  反映模型对总体的预测效果,值越小越好。

### 1.3 化学成分和 AME 预测棉籽粕 NE 模型的建立

测定 25 个棉籽粕样品的 AME、CP、粗脂肪(EE)、粗纤维(CF)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)、灰分(Ash),用 SPSS 17.0 统计软件对以上指标与实测 NE 值进行回归分析,建立一元和多元棉籽粕 NE 预测模型。选择拟合效果较优的预测方程对 1.2 中的 8 个外部验证集棉籽粕样品进行预测,将实测值和预测值进行配对  $t$  检验,筛选最佳预测方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉籽粕的化学成分含量和 AME、NE 值

表 1 列出了各棉籽粕样品的 CP、EE、CF、NDF、ADF 和 Ash 的含量及 AME、NE 和 NE/AME 值的范围和均值。

### 2.2 棉籽粕 NE 的 NIRS 预测模型

校正集和验证集的 NE 值和水分含量见表 2,棉籽粕 NE 的 NIRS 建模条件见表 3,所建模型的校正、交叉验证、外部验证参数及实测值与预测值的配对  $t$  检验结果见表 4。

由表 4 可见,2 个模型的校正决定系数( $R^2_{cal}$ )和交叉验证决定系数( $R^2_{cv}$ )均较高,都在 0.96 以上;校正标准差(RMSEE)和 RMSECV 均小于 0.12 MJ/kg DM,表明模型拟合效果较好。 $M_1$ 、 $M_2$  对外部验证集样品的预测值与实测值配对  $t$  检验结果均未达到显著水平( $P > 0.05$ ),即预测值与实测值之间差异不显著( $P > 0.05$ ),2 个模型对外部验证集样品的预测结果较可靠。但 2 个模型预测决定系数( $R^2_{val}$ )分别为 0.843 和 0.957, RMSEP 分别为 0.260 和 0.136,可见  $M_2$  的预测效果优于  $M_1$ 。

表 1 棉籽粕化学成分含量、AME、NE 和 NE/AME 的范围和均值(干物质基础)

Table 1 The range and mean of chemical composition and the values of AME, NE and NE/AME of cottonseed meals (DM basis)

项目 Items	粗蛋白质 CP/%	粗脂肪 EE/%	粗纤维 CF/%	中性洗涤 纤维 NDF/%	酸性洗涤 纤维 ADF/%	灰分 Ash/%	表观 代谢能 AME/ (MJ/kg)	净能 NE/ (MJ/kg)	净能/表观 代谢能 NE/AME/%
范围 Range	41.40 ~54.96	0.44 ~2.60	11.22 ~15.88	24.45 ~40.12	18.73 ~28.62	6.35 ~7.35	8.54 ~11.78	5.00 ~7.48	58.38 ~63.51
均值 Mean	47.60 ±3.91	0.95 ±0.48	13.35 ±1.29	30.97 ±3.79	22.49 ±2.82	6.74 ±0.30	9.88 ±0.94	6.02 ±0.66	60.88 ±1.39

表 2 校正集和验证集的 NE 值(干物质基础)和水分含量

Table 2 NE values (DM basis) and moisture contents in calibration and verification sets

样品集 Sample sets	净能值 NE values/(MJ/kg)		水分含量 Moisture contents/%	
	实测值 Determined values	范围 Range	实测值 Determined values	范围 Range
	校正集 1 Calibration set 1	6.021 ± 0.670	5.002 ~ 7.480	11.29 ± 0.56
校正集 2 Calibration set 2	6.021 ± 0.670	5.002 ~ 7.480	11.55 ± 1.44	9.16 ~ 13.99
外部验证集 Validation set	6.014 ± 0.678	5.169 ~ 7.060	11.36 ± 0.81	10.51 ~ 12.20

表 3 棉籽粕 NE 的 NIRS 建模条件

Table 3 The NIRS modeling conditions of NEs of cottonseed meals

校正集 Calibration sets	优化的谱区范围 Optimal spectral-scale	预处理方法 Pretreatment	主成分维数 Dimension of principal component
校正集 1 Calibration set 1	12 493.2 <sup>-1</sup> ~ 4 246.7 <sup>-1</sup>	最小-最大归一化	14
校正集 2 Calibration set 2	7 502.1 <sup>-1</sup> ~ 6 098.1 <sup>-1</sup> , 5 450.1 <sup>-1</sup> ~ 4 246.7 <sup>-1</sup>	最小-最大归一化	15

表 4 NIRS 预测模型的校正、交叉验证、外部验证参数及配对 *t* 检验结果Table 4 Calibration, cross validation, prediction statistics and *P*-values of paired-samples *t* test for NIRS predictive models

模型 Model	校正 Calibration		交叉验证 Cross validation		外部验证 Prediction		实测平均值 Determined mean/ (MJ/kg DM)	预测平均值 Predictive mean/ (MJ/kg DM)	RSD/ %	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
	校正决 定系数 $R^2_{cal}$	校正 标准差 RMSEE/ (MJ/kg DM)	交叉验 证决定 系数 $R^2_{cv}$	交叉验证 标准差 RMSECV/ (MJ/kg DM)	预测决 定系数 $R^2_{val}$	预测 标准差 RMSEP/ (MJ/kg DM)				
M1	0.999	0.033	0.966	0.120	0.843	0.260	6.014 ±0.678	6.103 ±0.652	0.107	0.177
M2	0.985	0.084	0.967	0.117	0.957	0.136	6.014 ±0.678	6.021 ±0.596	0.099	0.820

### 2.3 棉籽粕 NE 的化学成分预测模型

通过线性回归分析得到一元及多元棉籽粕 NE 预测方程,含不同预测因子数的最佳预测方程

列在表 5 中。方程 1~3 为仅使用化学成分作为预测因子建立的模型,方程 4~10 为 AME 结合化学成分得到的回归模型。由表 5 可见,随预测因子

数增加,方程拟合度升高,RSD 值减小。在预测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。从  $R^2$  和 RSD 值看,方程 8、9、10 的拟合效果较好。

表 5 棉籽粕化学成分及 AME 与 NE 的一元及多元回归方程(干物质基础)

Table 5 One-dimensional linear regression equation and multivariate linear regression equations for chemical composition and AMEs with NEs (DM basis)

项目 Items	回归方程 Regression equations	$R^2$	RSD/ (MJ/kg DM)	P 值 P-value
1	$NE = 11.135 - 11.698CP + 47.565EE$	0.860	0.260	0.000
2	$NE = 12.571 - 11.580CP + 41.082EE - 10.713CF$	0.900	0.224	0.000
3	$NE = 12.412 - 10.921CP + 41.628EE - 7.406CF - 1.941NDF$	0.906	0.223	0.000
4	$NE = -0.881 + 0.698AME$	0.975	0.108	0.000
5	$NE = 1.296 + 0.605AME - 2.634CP$	0.981	0.095	0.000
6	$NE = 1.661 + 0.568AME - 2.804CP + 8.319EE$	0.983	0.093	0.000
7	$NE = 2.147 + 0.575AME - 3.118CP - 2.429CF$	0.983	0.093	0.000
8	$NE = 2.655 + 0.530AME - 3.366CP + 9.287EE - 2.715CF$	0.985	0.090	0.000
9	$NE = 2.375 + 0.535AME - 2.979CP + 9.894EE - 0.965NDF$	0.985	0.090	0.000
10	$NE = 2.763 + 0.522AME - 3.285CP + 9.978EE - 1.772CF - 0.630NDF$	0.985	0.090	0.000

表 6 列出了方程 8、9、10 对外部验证集 8 个样品的预测结果,方程 8 和 10 的预测结果较好,预测值与实测值之间差异不显著( $P > 0.05$ );方程 9 的

预测值与实测值之间的差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

表 6 回归方程对外部验证集的预测结果

Table 6 The predictive results of regression equations for prediction set

方程 Equations	实测平均值 Determined mean/(MJ/kg DM)	预测平均值 Predictive mean/(MJ/kg DM)	RSD/%	P 值 P-value
8	6.014 ± 0.678	6.048 ± 0.569	0.094	0.197
9	6.014 ± 0.678	6.080 ± 0.558	0.092	0.024
10	6.014 ± 0.678	6.053 ± 0.560	0.093	0.119

### 3 讨论

#### 3.1 棉籽粕的净能值

本试验测得 25 个棉籽粕样品的 NE 值范围为 5.00 ~ 7.48 MJ/kg DM,相对 AME 的转化率为 58.38% ~ 63.51%。Fraps<sup>[5]</sup>测定了 48.00%、45.00%、43.00%、43.00%、41.12%、41.00% 和 41.00% 的 7 种棉粕的 NE 值分别为 7.54、6.80、6.87、6.62、6.57、6.59 和 6.24 MJ/kg DM,均在本试验测定的 NE 值范围以内。MacLeod<sup>[6]</sup>用 Nehring<sup>[7]</sup>和 De Groote<sup>[8]</sup>提出的预测公式计算得到的 NE 值相对 ME 的转化率为 63%,也在本试验测得的范围内。以上表明本试验测得的棉籽粕 NE 值比较准确。

#### 3.2 棉籽粕 NE 的 NIRS 预测模型

根据 Xiccatto 等<sup>[9]</sup>提出的理论,饲料能值与原料中 CP、EE、CF 等成分在近红外谱区内的倍频及合频吸收相关,李静<sup>[10]</sup>报道,棉籽粕样品中水分在  $4\ 903\ \text{cm}^{-1}$  有 O—H 键合频吸收峰,该峰会引起蛋白质在  $4\ 677\ \text{cm}^{-1}$  处的吸收峰和纤维在  $4\ 427\ \text{cm}^{-1}$  处的吸收峰向远波区偏移。因此,样品中水分的含量必然影响 NE 预测的准确性。本试验中所建  $M_2$  模型的优化谱区范围包括了  $7\ 502.1\ \text{cm}^{-1}$  ~  $6\ 098.1\ \text{cm}^{-1}$  和  $5\ 450.1\ \text{cm}^{-1}$  ~  $4\ 246.7\ \text{cm}^{-1}$  2 个区段,恰好将李勇等<sup>[11]</sup>报道的表征水分特性的最佳光谱区间为  $7\ 502.2\ \text{cm}^{-1}$  ~  $6\ 098.2\ \text{cm}^{-1}$  和  $4\ 601.6\ \text{cm}^{-1}$  ~  $4\ 246.7\ \text{cm}^{-1}$  包含在内。表明  $M_2$  对样品所含水分进行了有效校正。从外部验证集的检验结果也看出, $M_2$  的  $R_{\text{val}}^2$ 、

RMSEP 和配对  $t$  检验  $P$  值均优于  $M_1$ , 表明扩大样品背景水分能够消除水分对预测结果准确性的影响, 在较少建模样品数条件下获得更好的建模效果, 与张正帆等<sup>[2]</sup>的报道一致, 这可能是由于在扩大定标集水分覆盖范围的同时, 增加了参与建模计算的光谱数量, 从而提高了模型稳定性。 $M_2$  的  $R_{cal}^2$ 、RMSEE、 $R_{cv}^2$  和  $R_{val}^2$  均略优于张正帆等<sup>[2]</sup>建立的 NIRS 豆粕 NE 水分校正模型, RMSECV 和 RMSEP 则与其接近。 $M_2$  预测值标准差占预测平均值的比例 (RSD) 为 0.099%, 相对误差小于 2%, 且预测值与实测值的差异, 经  $t$  检验差异也不显著 ( $P > 0.05$ ), 表明本试验所建  $M_2$  效果较理想。

### 3.3 棉籽粕 NE 的 AME 及化学成分预测方程

在单因子预测方程中, AME 的  $R^2$  最高, RSD 最低, 分别为 0.975 和 0.108, 并且在预测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, 表明 AME 是预测棉籽粕 NE 的最佳单因子, 与 Huan 等<sup>[1]</sup>、张正帆等<sup>[2]</sup>的试验结果一致。另外在全部预测方程中 CP 都是负效应因子, 与 Emmans<sup>[12]</sup>提出的 2 个理论模型相一致。这主要是蛋白质的 ME 利用效率较低, 随着粗蛋白质的增加, NE 势必会降低。方程 8 和 10 的  $R^2$  和 RSD 均为 0.985 和 0.090 MJ/kg DM, 且预测值与实测值配对  $t$  检验结果也均不显著 ( $P > 0.05$ ), 根据预测因子数越少越好的原则, 确定方程 8 为本试验的最佳化学预测模型。方程 8 的  $R^2$  和 RSD 与张正帆等<sup>[2]</sup>用 AME 结合化学成分建立的预测豆粕 NE 的四元方程也很接近, 其  $R^2$  和 RSD 分别为 0.98 和 0.079 MJ/kg DM。方程 8 的预测值标准差与预测平均值的比例 0.094%, 标准差很小, 且相对误差在 2% 以内, 表明所建模型的预测效果好, 可以应用。

方程 8 与 NIRS 所建预测模型  $M_2$  相比较, RSD 分别为 0.099% 和 0.094%, 表明 2 个模型预测稳定性相当。只是 2 个模型的预测值与实测值的差值经配对  $t$  检验,  $M_2$  要略优于方程 8。而张正帆等<sup>[2]</sup>用 AME 结合化学成分所建豆粕 NE 预测模型要略优于 NIRS 所建模型。这可能是由于本试验外部验证集样品数较少, 代表性稍弱而引起的偏差。

## 4 结论

① 用化学成分结合 AME 可建立预测效果可

靠的棉籽粕 NE 预测模型, 最佳预测公式为  $NE = 2.655 + 0.530AME - 3.366CP + 9.287EE - 2.715CF$ 。

② 通过扩大背景水分区间可以较少样品数建立效果较好的 NIRS 棉籽粕 NE 预测模型。

③ NIRS 所建  $M_2$  模型的预测效果与 AME 结合化学成分所建最佳预测公式相当。

## 参考文献:

- [1] 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, 6:6-11.
- [2] 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.
- [3] 于叶娜, 贾刚, 王康宁. 1~21日龄黄羽肉鸡净能需要量及其真可消化赖氨酸与净能适宜比例的研究[J]. 动物营养学报, 2010, 22(6):1536-1543.
- [4] BAKER D H. Ideal protein and amino acid requirement of broiler chicks [C]//American Institute of Nutrition. Proceedings of the California nutrition conference. Fresno: [s. n.], 1994:21-24.
- [5] FRAPS G S. Composition and productive energy of poultry feeds and rations [J]. Agricultural and Mechanical College of Texas, 1946, 678:6-37.
- [6] MACLEOD M G. Modeling the utilization of dietary energy and amino acids by poultry [C]//THEODOROU M K. Feeding systems and feed evaluation models. Midlothian, UK: CAB International, 2000: 393-412.
- [7] NEHRING K. Investigations on the scientific basis for the use of net energy for fattening as a measure of feed value [C]//BLAXTER K L, KIELANOWSKI J, THORBEC G. Proceeding of the 4th symposium. Energy metabolism of farm animals, Warsaw, Poland. Newcastle, England: Oriel Press, 1969:5-20.
- [8] DE GROOTE G. A comparison of a new net energy system with the metabolisable energy system in broiler diet formulation, performance and profitability [J]. British Poultry Science, 1974, 15:75-95.
- [9] XICCATO G, TROCINO A, CARAZOLO A, et al. Nutritive evaluation and ingredient prediction of compound feeds for rabbits by near infrared reflectance spectroscopy [J]. Animal Feed Science and Technol-

ogy, 1999, 77:201–212.

[10] 李静. 傅立叶近红外测定麦麸、棉粕常规化学成分及样品水分对模型预测效的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.

[11] 李勇, 魏益民, 张波, 等. 近红外水分稳健分析模型

研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(12): 1963–1967.

[12] EMMANS G C. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species[J]. British Journal of Nutrition, 1994, 71:801–821.

## Prediction Models for Net Energy Value of Cottonseed Meal for Yellow-feathered Broilers Aged from 1 to 21 Days Using Fourier Near Infrared Spectroscopy and Chemical Composition

CHEN Yujuan JIA Gang WU Xiuqun WANG Kangning\*

(Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** This trial was to study the feasibility of establishing prediction models for the net energy (NE) values using Fourier near infrared spectroscopy (NIRS) and chemical composition on the basis of 25 cottonseed meal NE values measured by comparative slaughter experiment, and to compare the predictive results of them. 1) NE was calculated as NE for maintenance (NEM) plus NE for deposition (NEp). The NEM was measured by regression method with 5 feeding levels including *ad libitum* feeding and restricted feeding by 20%, 40%, 60% and 80%, respectively. NEp was measured by the method of substitution. A total of 382 Kangdaer fasting yellow-feathered broilers at 7 days of age with average body weight of (62.20 ± 0.64) g were randomly allotted into every level of cottonseed meal sample with 6 replicates each and 2 chickens in each replicate. The experiment lasted for 7 days. 2) NIRS calibration models ( $M_1$  and  $M_2$ ) of NE were established under the natural condition and a larger moisture background, respectively. 3) Predictive equations for apparent metabolizable energy (AME), crude protein (CP), ether extract (EE), crude fiber (CF), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), and ash with NE were derived from the methods of one-dimensional and multivariate linear regressions. The results showed as follows: 1) the  $R_{cal}^2$  and root mean square error of calibration (RMSEE) of 2 models ( $M_1/M_2$ ) were 0.999/0.985 and 0.033/0.084 MJ/kg DM, the  $R_{cv}^2$  and root mean square error of cross validation (RMSECV) were 0.966/0.967 and 0.120/0.117 MJ/kg DM, the  $R_{val}^2$  and root mean square error of prediction (RMSEP) were 0.843/0.957 and 0.260/0.136 MJ/kg DM, respectively, and the results of paired-samples *t* test of NIRS predictive values and determined values were not significantly different ( $P > 0.05$ ). 2) The  $R^2$  and the RSD of the optimum regression equations from chemical composition combined with AME were 0.985 and 0.093 MJ/kg DM, respectively. These results indicate as follows: 1) the two methods above can both establish NE predictive models of cottonseed meal with reliable results; 2) the predictive accuracy of  $M_2$  is similar to the optimum equation from chemical composition combined with AME. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(9):1499-1504]

**Key words:** yellow-feathered broilers; net energy; prediction; near infrared spectroscopy; moisture calibration