

不同饲料原料日粮纤维水平的近红外测定方法

姜训鹏¹ 雷恒¹ 李海涛² 焦鹏² 张宏宇¹ 王博¹

(1. 中粮营养健康研究院有限公司动物营养与饲料中心, 北京 102209; 2. 中粮饲料有限公司, 北京 100005)

摘要: 分别针对中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)2个日粮纤维水平评价指标,开展适用于不同饲料原料的NDF和ADF近红外综合预测方法研究。收集包括玉米干酒糟及其可溶物、大豆皮、小麦麸、苜蓿草颗粒、喷浆玉米皮和甜菜粕共6种饲料原料,共计327个样品。按照Van Soest滤袋法测定每个样品的NDF和ADF,获取参考值,并进行统计学分析。利用傅里叶变换近红外光谱仪采集样品的近红外漫反射光谱。选择偏最小二乘法,结合导数处理、多元散射校正和变量标准化等不同的光谱预处理方法,构建定标模型。结果表明:6种饲料原料的NDF和ADF分布范围分别在21.20%~65.28%和6.40%~48.31%,洗涤纤维含量覆盖范围广。NDF近红外快速预测模型:最优预处理方法为二阶导数,模型验证集决定系数为0.963,预测标准误差为1.82,相对分析误差为5.2。ADF近红外快速预测模型:最优预处理方法为一阶导数结合变量标准化,验证集决定系数为0.985,预测标准误差为1.63,相对分析误差为8.23。本研究表明基于近红外光谱这种无损分析技术,可构建适用于多种纤维类饲料原料的日粮纤维水平快速预测模型,该方法可为饲料工厂快速检测洗涤纤维、精细调控饲料中纤维水平提供有效的技术保障。

关键词: 近红外光谱; 饲料原料; 中性洗涤纤维; 酸性洗涤纤维

中图分类号: O657.3; S816.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0353-06

Measurement of Fiber Content in Different Feed Ingredients Using Near-infrared Spectroscopy Method

Jiang Xunpeng¹ Lei Heng¹ Li Haitao² Jiao Peng² Zhang Hongyu¹ Wang Bo¹

(1. Nutrition and Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing 102209, China

2. COFCO Feed Co., Ltd., Beijing 100005, China)

Abstract: Feed ingredients with high-fiber are widely available and a price competitive source of energy and nutrients for non-ruminants. Rapid analysis of detergent fiber content in high-fiber feed ingredients, including neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), contributes to a fine regulation of dietary fiber levels in feed, and the exercise of its nutritional value. Classical Van Soest method for detergent fiber determination is tedious and sensitive to particle size and high cost in the consumption of filter-bag. It is not suitable for feed plant regular detection. The near-infrared spectroscopy (NIRS) technique is non-destructive, non-pollutive, fast and relatively inexpensive. NIRS methods have been widely adapted in conventional composition analysis of feed. Feed ingredients with high-fiber normally derives from a wealth of sources, like by-products of grain plant. Single species NIRS model is hardly satisfied the demand of various ingredients in one feed plant. Researchers devoted to developing a unified NIRS model to determination of NDF and ANF for different feed ingredients with high-fiber. A NIRS model for NDF and a NIRS model for ADF were built for analyzing six kinds of feed ingredients, including maize DDGS, soybean hull, wheat bran, alfalfa pellet, shotcrete corn bran, and beet pulp particles. Totally 327 samples were collected from China, including 75 maize DDGS, 48 soybean hull,

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-14

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD08B06)

作者简介: 姜训鹏(1985—),男,博士后,主要从事近红外领域研究,E-mail: jiangxunpeng@cofco.com

通信作者: 李海涛(1968—),女,高级工程师,主要从事动物营养领域研究,E-mail: lihaitao@cofco.com

48 wheat bran, 48 alfalfa pellet, 59 shotcrete corn bran, and 49 beet pulp particles. NDF and ADF were obtained by using Van Soest methods. Fourier-transform near-infrared spectrometer collected near-infrared diffuse reflectance spectroscopy with spectral range of 4 000 ~ 10 000 cm^{-1} , at the resolution of 16 cm^{-1} and 64 times scanning per scan. Calibration models were constructed by using partial least squares method, combined with derivative processing, multiplicative scatter correction and so on. Results showed that NDF and ADF distribution of six kinds of feed ingredients were respectively 21.20% ~ 65.28%, 6.40% ~ 48.31%. For NDF model: determination coefficients of calibration and verification were 0.971 and 0.963 respectively; RMSEs of calibration and verification were 1.68 and 1.82 respectively; the relative percent deviation was 5.2, and optimal pretreatment method was the second derivative. For ADF model: determination coefficients of calibration and verification were 0.990 and 0.985 respectively; RMSEs of calibration and verification were 1.32 and 1.63 respectively; the relative percent deviation was 8.2 and the optimal pretreatment method was the first derivative with multiplicative scatter correction. These models are appropriate to a variety of high-fiber feed ingredients for the determination of NDF and ADF in feed plant.

Key words: near-infrared spectroscopy; feed ingredients; neutral detergent fiber; acid detergent fiber

引言

在全球性粮食日益短缺的今天,纤维类饲料原料具有缓解人畜争粮矛盾、降低饲养成本、促进畜牧业低碳可持续发展的重要作用^[1]。尤其对于以猪为代表的单胃动物来说,日粮纤维有促进胃肠道生长发育、提高生产性能、增进动物健康等诸多优点^[2-4]。但它同时也是一种抗营养因子,可降低饲料转化率^[2-4],因此在全价饲料中,仍需精准地调控纤维的比例,使其充分发挥原料营养价值。纤维类饲料原料通常来源于粮食加工副产物,对于单胃动物来说,全价料中常用的纤维类饲料有玉米干酒糟及其可溶物(Distillers dried grains with soluble, DDGS)、大豆皮、小麦麸、苜蓿草颗粒、喷浆玉米皮、甜菜粕等,这些纤维类饲料种类多、变异大、原料价格波动剧烈。通常随饲料原料价格波动,饲料产业中需调整全价料中纤维类饲料原料的品种和比例,来降低全价料整体成本。这就需要合理的日粮纤维评价指标,及适用于多种饲料原料的日粮纤维水平的检测技术。

范氏(Van soest)洗涤纤维,包括中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF),是评价日粮纤维营养价值的常用指标。纤维饲料原料中 NDF 和 ADF 的分析技术已成为精细调控日粮纤维水的重要手段。目前, NDF 和 ADF 的仲裁方法采用滤袋法,该方法步骤繁琐,受粉碎操作影响大,且滤袋费用高。近红外光谱法(Near-infrared spectroscopy, NIRS)具有无损、快速等优点,已被广泛应用于饲料原料的 NDF 和 ADF 预测。王利等^[5]、李军涛^[6]、CHOI 等^[7]的研究表

明,近红外光谱分析技术可预测玉米、小麦等饲料原料的 NDF 和 ADF 含量。檀其梅^[8]对基于近红外光谱的玉米酒精糟等饲料原料的 NDF 和 ADF 分析技术进行了研究,结果表明 NDF 和 ADF 模型的相对分析误差分别为 10.28 和 11.45,相关系数分别为 0.82 和 0.75。李婷婷^[9]收集了 31 个玉米干酒糟及其可溶物样品,分别研究构建了 NDF 和 ADF 的近红外预测模型,决定系数低于 0.75。滑荣等^[10]对基于近红外光谱的紫花苜蓿草颗粒的 NDF 和 ADF 分析技术进行了研究,结果表明 NDF 和 ADF 模型的预测标准差分别为 1.96 和 2.07,相对分析误差分别为 4.54 和 3.85。纤维饲料原料的 NDF 和 ADF 近红外快速预测模型的效果受样品种类影响显著,单一品种饲料原料纤维的近红外预测模型的瓶颈逐渐显现,其无法满足随市场价格波动在配合饲料中频繁变换纤维类饲料原料的现状。饲料行业迫切需要构建一种近红外定标模型,可以适用于多种不同纤维类饲料原料 NDF 和 ADF 的预测分析,实现日粮纤维水平的精准调控。

本文针对玉米 DDGS、大豆皮、小麦麸、苜蓿草颗粒、喷浆玉米皮、甜菜粕 6 种代表性纤维类饲料原料,开展基于近红外光谱技术的 NDF 和 ADF 预测方法研究,通过不同原料纤维水平的分析,比较单一原料近红外光谱模型与多原料综合近红外光谱模型,探索适用于单胃动物日粮精准调控的纤维类饲料原料纤维水平快速预测方法。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

采集来自于全国不同地区的 327 份纤维类饲料

原料样本,其中包括 75 份玉米 DDGS、48 份大豆皮、48 份小麦麸、48 份苜蓿草颗粒、59 份喷浆玉米皮和 49 份甜菜粕。全部样品自然风干至含水率低于 15%,使用旋风磨(Retsch ZM200 型,德国)粉碎,过 1.0 mm 标准筛。每个样品采用四分法分为 2 份,装入自封袋中,置于干燥阴凉处保存,一份用于湿化学测定,一份用于近红外扫描。

1.2 湿化学分析

NDF 和 ADF 的测定参照 Van Soest 洗涤纤维分析方法^[11]进行,选择纤维袋作为滤器。每个样品平行测定 2 次,在绝对误差小于 5% 下,取平均值作为参考值。

1.3 近红外光谱扫描

利用配备镀金积分球的傅里叶变换近红外光谱仪(Bruker Matrix-I 型,德国)采集样品的近红外漫反射光谱,配备高能量空气冷却预准直近红外光源及硫化铅检测器。光谱扫描范围 4 000 ~ 10 000 cm⁻¹,分辨率 16 cm⁻¹,扫描 64 次取平均值,旋转式样品池。样品重复装样扫描 3 次,取 3 次扫描光谱的平均值作为样本的原始光谱。

1.4 NIRS 模型的建立与验证

定标集和验证集划分:将样品按 3:1 的比例随机分为定标集和验证集,其中验证集样品化学值均在定标集样品化学值的范围内。

定标模型构建方法:数据处理软件采用 OPUS。分别选取一阶导数(1D)、二阶导数(2D)、多元散射校正(Multiple scattering correction, MSC)、变量标准化(Standard normal variate, SNV)等,探索适用于纤维类饲料原料的光谱预处理方法。利用定标集样品光谱数据,采用偏最小二乘方法(Partial least

squares, PLS)结合全交互验证手段来防止过拟合现象,建立定标模型。根据定标集决定系数(R^2_{CAL})、定标集标准偏差(R_{MSEC})、定标集交互验证决定系数(R^2_{CV})、定标集交互验证标准误差(R_{MSECV})等指标,确定最优模型。

定标模型的验证:验证集样品对最优模型进行外部验证,根据验证集决定系数(R^2_{VAL})、验证集标准误差(R_{MSEP})评价其外部预测能力。

定标模型评价指标:根据相对分析误差(R_{PD})值对模型进行更为详细的评价,交互验证集相对分析误差 $R_{PD} = S_D / R_{MSECV}$,验证集相对分析误差 $R_{PD} = S_D / R_{MSEP}$,其中 S_D 为样品集标准差。 $R_{PD} \geq 3$,说明定标效果良好,建立的定标模型可以用于实际检测;如果 $2.5 < R_{PD} < 3.0$,说明利用 NIRS 对该成分进行定量分析是可行的,但预测精度有待于进一步提高;如果 $R_{PD} < 2.5$,则说明该成分难以进行 NIRS 定量分析^[12]。

2 结果与讨论

2.1 6 种饲料原料 NDF 和 ADF 的统计分析

采用 Van Soest 洗涤纤维测定方法分析了 6 种饲料原料的 NDF 和 ADF,统计结果如表 1 所示。6 种饲料原料中,NDF 含量最高的品种是大豆皮,最低的品种是玉米 DDGS,分别为 57.27% 和 28.26%,全部样品的 NDF 分布范围为 21.20% ~ 65.28%。ADF 含量由高到低的品种分别是大豆皮、苜蓿草颗粒、甜菜粕、小麦麸、喷浆玉米皮、玉米 DDGS,全部样品的 ADF 分布范围为 6.40% ~ 48.31%。考虑玉米 DDGS 的加工工艺变异大等因素,增加了其代表性样品的收集,样品数达到 75 个。玉米 DDGS 样品

表 1 6 种饲料原料的 NDF 和 ADF 统计值
Tab.1 Statistic of NDF and ADF from six kinds of feed ingredients

组分	原料	样品数	平均值/%	参考值 ^[13-14] /%	标准差/%	最小值/%	最大值/%
NDF	玉米 DDGS	75	28.26	27.6	2.51	21.20	32.51
	大豆皮	48	57.27	—	4.16	46.68	65.28
	小麦麸	48	37.21	37.0	5.68	23.93	46.41
	苜蓿草颗粒	48	40.89	39.0	5.35	28.56	57.18
	喷浆玉米皮	59	38.79	33.6	3.45	31.66	48.36
	甜菜粕	49	42.78	41.0	2.59	36.73	47.51
	总计	327	39.76	—	9.70	21.20	65.28
ADF	玉米 DDGS	75	9.36	12.2	1.42	6.65	13.47
	大豆皮	48	41.77	—	3.29	33.30	46.22
	小麦麸	48	11.29	13.0	1.84	6.40	14.09
	苜蓿草颗粒	48	30.52	28.6	4.81	20.30	48.31
	喷浆玉米皮	59	10.82	10.5	0.83	9.20	13.05
	甜菜粕	49	26.20	21.0	2.17	21.92	32.84
	总计	327	20.30	—	12.28	6.40	48.31

的 NDF 平均值为 28.26%,略高于《中国饲料成分及营养价值表(2015 年第 26 版)》^[13-14]中 DDGS 的 NDF 参考值 27.6%,差值低于 1%;ADF 平均值为 9.36%,低于参考值 12.2%。小麦麸、苜蓿草颗粒、喷浆玉米皮和甜菜粕 4 种原料的 NDF、ADF 参考值分别来源于《中国饲料成分及营养价值表(2015 年第 26 版)》中的小麦麸、1 级苜蓿草粉(粗蛋白 17%)、玉米蛋白饲料和干甜菜渣。样品平均值和参考值差异小,说明所收集样品具有较好的代表性。

图 1 所示为 6 种饲料原料的 NDF 和 ADF 分布散点图。由图可知,不同纤维类饲料原料的 ADF 与 NDF 的比值具有较大差异,其中大豆皮、苜蓿草颗粒和甜菜粕颗粒的 NDF/A 与 ADF 比值均高于 50%,玉米 DDGS、小麦麸和喷浆玉米皮均低于 50%,且后面三者来源于谷物籽实。此种差异有助于构建稳定、适用范围广的近红外模型。

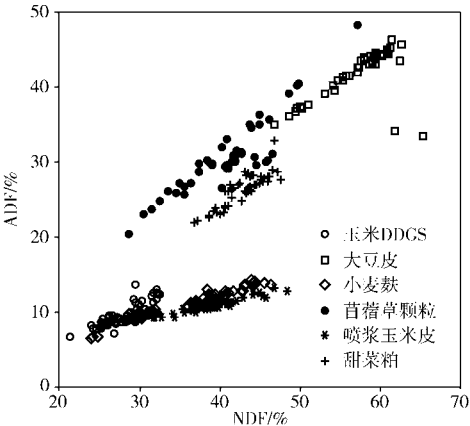


图 1 6 种饲料原料的 NDF 和 ADF 散点图
Fig.1 Scatter diagram of NDF vs ADF from six kinds of feed ingredients

2.2 6 种饲料原料近红外光谱

图 2 为 6 种饲料原料的近红外平均光谱。6 种饲料原料样品在近红外谱区有明显吸收峰,其中 6 897 cm⁻¹和 5 155 cm⁻¹是水的吸收峰,4 752 cm⁻¹与淀粉中 C—H 基团的伸缩和转动吸收有关。不同饲料原料的主要近红外吸收峰位置具有相似性,反映含有的化学组分基本一致;但在 4 000 ~ 5 700 cm⁻¹谱区的谱图形状上存在一定差异,反映其在纤维素、木质素组分上具有差异性^[15]。

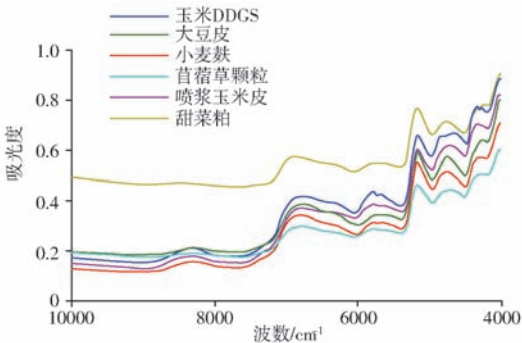


图 2 6 种饲料原料的近红外平均光谱
Fig.2 Near-infrared average spectra of six kinds of feed ingredients

2.3 单一原料的定标模型

试验中分别构建了 6 种饲料原料的 NIRS 模型,用于预测 NDF 和 ADF 含量,共 12 个定标模型。定标模型参数及验证结果如表 2 所示。

根据 $R_{PD} > 3.0$ 评估,大豆皮、小麦麸、甜菜粕的 NDF 模型定标效果良好,建立的定标模型可以用于实际检测;大豆皮和小麦麸的 ADF 模型定标效果良好,也可以用于实际检测。但其余原料 NIRS 模型均难以对 NDF 或 ADF 进行定量分析。

表 2 单一原料 NDF 和 ADF 定标模型的模型参数及验证结果

Tab.2 Optimization results for calibration of six feed ingredients' NDF and ADF contents										
原料	组分	最优光谱预处理	定标结果		交互验证结果			验证结果		
			R^2_{CAL}	R_{MSEC}	R^2_{CV}	R_{MSECV}	R_{PD}	R^2_{VAL}	R_{MSEP}	R_{PD}
玉米 DDGS	NDF	1D(17) + SNV	0.675	1.50	0.618	1.55	1.6	0.356	1.59	1.3
大豆皮	NDF	2D(17)	0.991	0.44	0.830	1.59	2.4	0.948	0.96	4.7
小麦麸	NDF	2D(17)	0.983	0.81	0.943	1.34	4.3	0.981	0.79	7.5
苜蓿草颗粒	NDF	SNV	0.972	1.04	0.902	1.61	3.2	0.601	3.69	1.6
喷浆玉米皮	NDF	1D(17) + MSC	0.866	1.31	0.776	1.55	2.1	0.738	1.96	2.1
甜菜粕	NDF	1D(17) + MSC	0.945	0.58	0.809	0.97	2.3	0.865	1.21	3.0
玉米 DDGS	ADF	SNV	0.856	0.57	0.794	0.64	2.2	0.675	0.74	1.9
大豆皮	ADF	SNV	0.973	0.60	0.957	0.68	4.8	0.898	0.97	3.2
小麦麸	ADF	1D(17)	0.989	0.22	0.960	0.35	5.0	0.962	0.40	5.9
苜蓿草颗粒	ADF	1D(17) + MSC	0.687	0.25	0.386	0.31	1.3	0.110	0.36	1.0
喷浆玉米皮	ADF	1D(17)	0.793	0.39	0.704	0.43	1.8	0.683	0.51	1.8
甜菜粕	ADF	1D(17)	0.963	0.37	0.888	0.57	3.0	0.675	1.73	2.0

注:1D(17)中 17 表示求导处理的窗口点数,其余类似。

2.4 多原料的定标模型

试验中,构建了同时适用于6种饲料原料的1个NDF和1个ADF的NIRS定标模型,共2个定标模型。已有研究多集中在单一原料模型,鲜有构建多原料模型^[16]。多原料模型也可以取得较好的结果。NDF近红外快速预测模型:定标集的决定系数 R^2_{CAL} 为0.971,定标集标准误差 R_{MSEC} 为1.68,验证集的 R^2_{VAL} 为0.963,验证集的预测标准误差 R_{MSEP} 为1.82, R_{PD} 为5.2,最优预处理方法为二阶导数,最优的光谱范围4 243~9 404 cm^{-1} 。该模型对80个验证集样品的预测结果如图3所示,从图中可以看出,NDF模型取得了较好的预测效果。ADF近红外快速预测模型:定标集的 R^2_{CAL} 为0.990,定标集标准误差 R_{MSEC} 为1.32,验证集的 R^2_{VAL} 为0.985,验证集的预测标准误差 R_{MSEP} 为1.63, R_{PD} 为8.23,最优预处理方法为一阶导数组合变量标准化,最优的光谱范围为5 446~9 404 cm^{-1} 和4 243~4 428 cm^{-1} 。该模型对80个验证集样品的预测结果如图4所示,从图中可以看出,ADF模型取得了较好的预测效果。

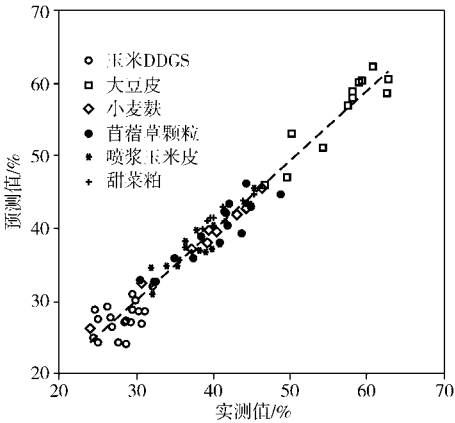


图3 NDF 实测值与近红外模型预测值相关关系
Fig.3 Analyzed value vs NIRS predicted value of NDF

表3为多原料定标和单一原料定标的2种模型对单一原料预测结果的对比。对于NDF组分,玉米DDGS、苜蓿草颗粒、喷浆玉米皮和甜菜粕在2种模型下的预测误差基本一致,但多原料定标模型对于大豆皮和小麦麸的预测效果不如单一原料定标模型的预测效果。对于ADF组分,大豆皮和甜菜粕在多原料定标模型下的预测效果好于单一原料定标模型的预测效果。

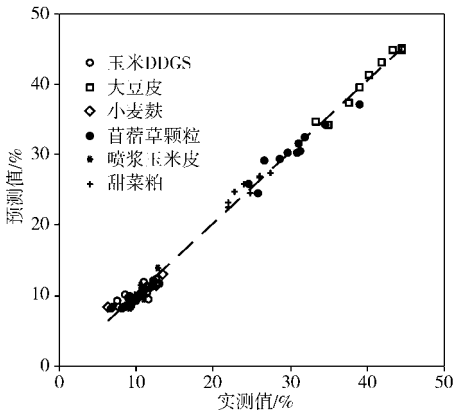


图4 ADF 实测值与近红外模型预测值相关关系
Fig.4 Analyzed value vs NIRS predicted value of ADF

表3 2种定标模型对原料验证集样品的预测结果
Tab.3 Validation results for six kinds of feed ingredients by two different models

组分	原料	多原料定标模型		单一原料定标模型	
		R_{MSEP}	R_{PD}	R_{MSEP}	R_{PD}
NDF	玉米 DDGS	1.96	1.3	1.59	1.3
	大豆皮	3.22	1.3	0.96	4.7
	小麦麸	1.86	3.0	0.79	7.5
	苜蓿草颗粒	3.20	1.7	3.69	1.6
	喷浆玉米皮	1.67	2.1	1.96	2.1
	甜菜粕	1.56	1.7	1.21	3.0
ADF	玉米 DDGS	0.89	1.6	0.74	1.9
	大豆皮	0.90	3.6	0.97	3.2
	小麦麸	0.72	2.5	0.40	5.9
	苜蓿草颗粒	2.26	2.1	0.36	1.0
	喷浆玉米皮	0.76	1.1	0.51	1.8
	甜菜粕	0.99	2.2	1.73	2.0

3 结束语

采集了6种代表性纤维饲料原料,包括玉米DDGS、大豆皮、小麦麸、苜蓿草颗粒、喷浆玉米皮和甜菜粕,分别构建NDF和ADF近红外快速预测模型,实现单一模型对多种原料的预测,适应了饲料工厂快速精细调控不同原料NDF和ADF的需求。6种饲料原料的NDF和ADF分布范围分别在21.20%~65.28%,6.40%~48.31%,洗涤纤维含量覆盖范围广,且具有较高的NDF含量(>20%)。对于NDF近红外快速预测模型:验证集的预测标准误差 R_{MSEP} 为1.82, R_{PD} 为5.2;对于ADF近红外快速预测模型:验证集的预测标准误差 R_{MSEP} 为1.63, R_{PD} 为8.23,模型预测效果好,可用于饲料工厂检测。

参 考 文 献

1 WOYENGO T, BELTRANENA E, ZIJLSTRA R. Controlling feed cost by including alternative ingredients into pig diets: a review [J]. Journal of Animal Science, 2014, 92(4):1293-1305.
2 CHAMP M, LANGKILDE A M, BROUNS F, et al. Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects[J]. Nutrition Research Reviews, 2003, 16(1):71-82.

3 杨玉芬. 日粮纤维对于猪不同生长阶段消化生理和生产性能的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2001.

4 BERROCOSO J, MENOYO D, GUZM N P, et al. Effects of fiber inclusion on growth performance and nutrient digestibility of piglets reared under optimal or poor hygienic conditions[J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(8):3919–3931.

5 王利, 孟庆翔, 任丽萍, 等. 近红外光谱快速分析技术及其在动物饲料和产品品质检测中的应用[J]. *光谱学与光谱分析*, 2010,30(6):1482–1487.

WANG L, MENG Q X, REN L P, et al. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and its application in the determination for the quality of animal feed and products[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2010,30(6):1482–1487. (in Chinese)

6 李军涛. 近红外反射光谱快速评定玉米和小麦营养价值的研究[D]. 北京:中国农业大学, 2014.

7 CHOI S W, CHANG S L, CHANG H P, et al. Prediction of nutrient composition and in-vitro dry matter digestibility of corn kernel using near infrared reflectance spectroscopy[J]. *Journal of the Korean Society of Grassland & Forage Science*, 2014, 34(4):277–282.

8 檀其梅. NIRS 对 11 种饲料原料常规成分测定结果的可靠性评估[D]. 合肥:安徽农业大学, 2008.

9 李婷婷. 玉米 DDGS 营养价值预测模型研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2013.

10 滑荣, 韩建国, 齐晓, 等. 近红外漫反射光谱法预测紫花苜蓿草颗粒营养价值[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008,28(12):2826–2829.

HUA R, HAN J G, QI X, et al. Research on predicting the nutrition value of pelletized alfalfa by near infrared reflectance spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008,28(12):2826–2829. (in Chinese)

11 VAN SOEST P, MOORE A. New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value[J]. *Proctect of the IX International Grassland Congress*, 1965:424.

12 MURRAY I. Forage analysis by near infrared spectroscopy[M]//Davies A, Baker R D, Grant S A, et al. *Sward measurement handbook*. 2nd Ed. Cheshire: The British Grassland Society, 1993: 285.

13 熊本海, 罗清尧, 赵峰, 等. 中国饲料成分及营养价值表(2015 年第 26 版)制订说明[J]. *中国饲料*, 2015(21):23–33.

14 熊本海, 罗清尧, 赵峰, 等. 中国饲料成分及营养价值表(2015 年第 26 版)(续)[J]. *中国饲料*, 2015(22):34–39.

15 李民赞. 光谱分析技术及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2006.

16 褚小立, 王艳斌, 陆婉珍. 近红外光谱定量校正模型的建立及应用[J]. *理化检验:化学分册*, 2008,44(8):796–800.

CHU X L, WANG Y B, LU W Z. Establishment and application of calibration model for NIR spectroscopy[J]. *Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis*, 2008,44(8):796–800. (in Chinese)

(上接第 352 页)

7 EUROPEAN COMMISSION (EC). Commission Directive EC/152/2009 methods of analysis for the determination of constituents of animal origin for the official control of feed[S]. *Official Journal European Union*, 2009, 54: 103–107.

8 EUROPEAN COMMISSION (EC). Commission Regulation (EU) No 51/2013 Amending Regulation (EC) No 152/2009 as regards the methods of analysis for the determination of constituents of animal origin for the official control of feed[S]. *Official Journal European Union*, 2013, 20: 33–43.

9 GIZZI G, VON H C, BAETEN V, et al. Determination of processed animal proteins, including meat and bone meal, in animal feed [J]. *Journal of AOAC International*, 2004, 87(6):1334–1341.

10 PINOTTI L, CAMPAGNOLI A, TOGNON G, et al. Microscopic method in processed animal proteins identification in feed: applications of image analysis[J]. *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 2004, 8(4):249–251.

11 PINOTTI L, CAMPAGNOLI A, MAGGIONI L, et al. Selection of new markers for animal by-products characterization by classical microscopy[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2010, 6(Supp.1):339–341.

12 PINOTTI L, FEARN T, GULALP S, et al. Computer image analysis: an additional tool for the identification of processed poultry and mammal protein containing bones[J]. *Food Additives & Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2013, 30(10):1745–1751.

13 OTTOBONI M, CHELI F, AMATO G, et al. Microscopy and image analysis based approaches for the species-specific identification of bovine and swine bone containing material[J]. *Italian Journal of Animalence*, 2014, 13(2):124.

14 CAMPBELL M R, BRUMM T J, GLOVER D V. Whole grain amylose analysis in maize using near-infrared transmittance spectroscopy [J]. *Cereal Chemistry*, 1997, 74(3):300–303.

15 ABBAS O, PIERNA J A F, CODONY R, et al. Assessment of the discrimination of animal fat by FT–Raman spectroscopy[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2009, 924–926(1):294–300.