

# 近红外光谱分析技术在饲料质量安全评价中的应用研究进展

李 辉, 秦玉昌<sup>\*</sup>, 吕小文, 李军国, 杨海峰

(中国农业科学院饲料研究所饲料工程技术研究室, 北京 100081)

**摘 要:** 近红外光谱分析技术是饲料质量安全控制中不可或缺的一种技术, 它不仅能够较准确的测定饲料产品营养价值的各相关参数指标, 而且能科学的分析配合饲料的原料组成和来源, 应用于饲料安全溯源管理; 同时, 利用近红外光谱分析技术获取强特异性的个性特征信息, 可用于完善饲料产品注册系统。本文综述了近红外光谱分析技术在饲料质量安全评价方面的应用研究成果, 以便使该技术更好的为饲料行业质量安全控制服务。

**关键词:** 近红外光谱; 饲料; 质量; 安全; 个性特征信息

**中图分类号:** S816

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2006)11-0264-05

李 辉, 秦玉昌, 吕小文, 等. 近红外光谱分析技术在饲料质量安全评价中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 264-268.

Li Hui, Qin Yuchang, Lü Xiaowen, et al. Research advances of the application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy technology in the evaluation of feed quality and safety[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 264-268. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

中国饲料工业经过 20 多年快速发展, 产量已居世界第二, 注册饲料企业有 1400 多家, 2005 年全国饲料产量达到 1.03 亿 t, 仅次于美国的 1.40 亿 t。饲料工业前承种植业, 后接养殖业, 是促进中国农业和农村经济链发展的重要一环; 同时, 饲料质量是畜牧业可持续发展、生态环境安全、动物源性食品安全, 乃至社会公共安全的基础保障。影响饲料质量安全的潜在因素较多, 涉及面广, 高效的检测技术与合理的监管手段是确保饲料产业整体质量安全的基础。近红外光谱分析技术不仅能够满足饲料工业质量安全检测的精确度, 而且具有快速、无损、适用范围广、信息丰富等特点; 因此, 近红外光谱分析技术在国内外已被广泛应用于饲料工业质量安全管理之中, 并且不断有新的检测功能被研发推广, 其重要性日益彰显。

## 1 近红外光谱分析技术

近红外光谱分析技术(NIRS)与其它光谱分析技术一样, 也是根据化学键吸收和反射一定波长的光学特性不同, 鉴别分析被测样品中化合物的组成结构和含量等相关信息; 不同的是, 近红外光谱分析还可同时采集到构成样品的所有有机化合物的组成和结构信息; 通过综合整理加工这些信息, 一方面能够得到近红外光谱与有机化合物的组成和结构之间的对应函数关系, 测定样品的物理化学特性; 另一方面可同时获得具有强特异性、

且能够准确反映被测样品的较全面的个性特征信息。

为科学利用近红外光谱的全谱信息, 提高分析结果的准确性和针对性, 方便准确快速的从大量复杂、重叠、变动的背景中提取针对性信息, 越来越多的化学计量学方法和统计分析方法被用于近红外光谱分析的数据处理中, 如用于定量分析的逐步多元线性回归(SMLR)、主成分回归(PCR)、偏最小二乘回归(PLS)、人工神经网络(ANN)和拓扑(TP)等<sup>[1-4]</sup>, 以及用于定性判别分析的主成分分析(PCA)、人工神经网络、Mahalanobis 距离或 Normalized 距离法等<sup>[5,6]</sup>。

鉴于上述背景, 当前近红外光谱分析技术不仅广泛用于分析检测样品的单一化合物成分含量; 而且利用其能够准确采集被测样品个性特征信息的优势, 结合图像处理等技术, 该技术还可用于产品溯源管理和赝品鉴别等; 特别是近年来随着电子技术、计算机技术、化学分析理论、数学统计学理论等的发展, 进一步加快了近红外光谱分析技术在农产品质量安全分析、在线监控、自动化控制、可追溯管理等领域的推广应用<sup>[7-10]</sup>。

## 2 近红外光谱分析技术在饲料质量评价上的应用

与化学分析法、生物试验、饲养试验等传统的饲料质量评价方法相比, 近红外光谱分析方法在饲料质量安全控制领域的应用仅有二十多年历史, 但由于该技术具有快速无损、样品前处理简单、无需化学试剂, 能同时分析多项指标等传统分析方法无法比拟的优势, 而且更为重要的是该技术的准确性能够满足饲料工业的要求; 因此, 近红外光谱分析成为了饲料质量和安全监控中不可缺少的较理想技术。

### 2.1 营养成分测定

测定和分析饲料营养品质是近红外光谱分析技术的传统应用领域, 该技术不仅能够检测常规营养指标,

收稿日期: 2006-05-09 修订日期: 2006-10-18

基金项目: 科研院所社会公益研究专项(2004DIB4J151)

作者简介: 李 辉(1980-), 女, 山东烟台人, 北京 中国农业科学院饲料研究所, 100081

<sup>\*</sup>通讯作者: 秦玉昌, 研究员, 北京 中国农业科学院饲料研究所, 100081。Email: qinyuchang@mail.caas.net.cn

如水分、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、粗灰分等, 而且能准确测定饲料中的维生素等微量成分。如 Arminda 等<sup>[11]</sup>成功建立了燕麦、大麦、黑小麦、小麦及高粱等多种饲用原料的粗蛋白、灰分、粗纤维、可消化有机物等参数的近红外光谱分析定标模型; Inmaculada 等<sup>[12]</sup>将近红外光谱分析技术应用于测定不同形状饲料中的维生素 E ( $\alpha$ -, ( $\beta$ + $\gamma$ )-和  $\delta$ -生育酚) 含量, 测定结果的决定系数和校正标准误差与碱水解和正己烷提取等化学分析法的测定结果十分接近。

与检测分析单一饲料原料相比, 近红外光谱分析技术评价配合饲料的营养品质特性, 受到更多因素的影响和制约, 如配合饲料的原料配比组成会因市场供需关系和价格变化等因素而改变, 且由于这些因素比较复杂和难以控制, 极大的增加了近红外光谱分析技术测定配合饲料营养指标的难度。但鉴于近红外光谱分析技术的众多优势, 且随着仪器设备和数据处理分析软件的发展进步, 研究者们也开始尝试将近红外光谱分析技术引入到配合饲料营养品质特性的评价中<sup>[13]</sup>。如美国农业部于 1986 年在其发表的农业手册中明确地将配合饲料的品质分析列为近红外光谱分析技术的未来应用发展领域; 而最近, Inmaculada 等<sup>[14]</sup>利用近红外光谱分析技术和一个遥感式反射光纤探头测定了不同形态(颗粒, 粉末, 片状等) 和不同饲喂阶段的饲料中的丙氨酸、天冬氨酸、赖氨酸等 9 种氨基酸的含量, 除赖氨酸外, 决定系数 ( $RSQ$ ) 均在 0.81 到 0.96 之间, 且定标标准误差 ( $SEC$ )、预测标准误差 ( $SEP$ ) 及偏差结果表明该方法测定饲料中的氨基酸值可与高效液相色谱法(HPLC) 的测定效果相媲美。

## 2.2 测定饲料消化特性等综合指标

饲料的消化吸收特性主要是通过各种消化实验和动物饲喂实验进行评价, 但这些实验操作复杂、实验周期长、成本较高, 且有时还需对饲养动物进行外科手术, 如安装瘤胃导管等, 与当前呼吁的动物福利等理念相悖。随着近红外光谱分析技术基础理论研究的深入和相应技术的发展, 人们构建了越来越多的特别是评价饲料消化吸收特性的近红外光谱分析预测模型。Aufrère 等<sup>[15]</sup>于 1996 年通过比较一般分析方法和近红外光谱分析法测定 87 种猪配合饲料和 80 种反刍动物配合饲料的消化特性, 发现用近红外光谱分析技术测定配合饲料消化特性的精确度优于借助酶法建立的经验模型的分析结果; Kempen 等<sup>[16]</sup>研究发现近红外光谱分析技术可作为测定家禽饲料中可消化氨基酸的一种快速简便的方法; 另外, Volkers<sup>[17]</sup>通过前后 4 年收集饲料玉米样品, 成功建立了能准确测定玉米净能的近红外光谱分析方法; Park 等<sup>[18]</sup>通过收集 136 个具有广泛代表性的青贮牧草, 研究建立了测定青贮牧草消化特性的效果良好的近红外光谱分析方法; Landau 等<sup>[19]</sup>成功建立了近红外光谱技术分析山羊对于干物质消化率的预测模型等等。

## 2.3 饲料原料来源的鉴别分析

饲喂原料来源不同的配合饲料不仅直接影响动物

机体对饲料吸收利用的效果, 而且越来越多的研究表明, 饲料原料特性对动物生长存在着潜在的、错综复杂且难以预料的影响, 如动物源性蛋白用于反刍动物饲料中造成“疯牛病”的大范围传播就是最具代表性的例子; 因此, 在评价饲料品质时, 人们越来越重视对饲料原料的来源分析。而近红外光谱分析技术已较为成功地应用于鉴别中草药产地来源, 如王平等<sup>[20]</sup>运用基线校正和方差方法整理分析产自于辽宁和吉林的人参, 以及产自河南和内蒙古的黄芪的近红外光谱分析数据, 成功提取了不同产地的相同种类中药材样本间的特征差异。刘沐华等<sup>[21]</sup>结合模式识别方法对来源于 4 个不同产地的 269 个白芷样本和 6 个不同产地的 380 个丹参样本进行产地鉴别, 建立的药材产地近红外光谱鉴别模型交叉验证准确率为 99%。

基于同样的道理, 近年来不断有研究者将近红外光谱分析技术用于鉴别分析配合饲料原料的来源, 以便更加科学的评价配合饲料产品质量安全水平。Xiccato 等<sup>[22]</sup>利用偏最小二乘法、主成分分析法成功测定了来自比利时、西班牙和意大利 3 个国家的 59 种兔子配合饲料的成分组成和含量, 同时研究发现紫花苜蓿粉、大麦和小麦麸的定标方程的决定系数 ( $RSQ$ ) 较好, 而且利用该技术还成功地对不同原料组成的配合饲料样品进行了聚类分析。同样 Pérez-Marín 等<sup>[23]</sup>研究证明近红外光谱分析对粉碎和未粉碎的配合饲料样品的原料组成的测定准确性相近, 其中对向日葵粉、麸质饲料、紫花苜蓿、甜菜渣、肉骨粉、动物脂肪和矿物质的测定效果较好, 而对鱼粉、赖氨酸和食盐的测定准确性则相对较差。

## 2.4 有毒有害物质的快速检测

近红外光谱分析技术除了可测定饲料中的常量和微量营养成分外, 还能快速测定饲料中的某些有毒有害成分、抗营养因子及药物成分, 如棉酚、植酸磷和葡萄苷等。王文杰<sup>[24]</sup>曾用近红外光谱分析技术检测预混料中维生素 A、喹乙醇、土霉素; Goodchild 等<sup>[25]</sup>建立了测定干草、Vicia 和 Lathyrus spp 秸秆中的总酚、总丹宁和浓缩丹宁含量的近红外光谱预测模型, 其中交叉验证标准分析误差 ( $SECV$ ) 分别为 0.17%, 0.18% 和 0.23%; Landau 等<sup>[26]</sup>也成功建立了具有良好相关性 ( $R^2 = 0.96$ ) 和可接受的准确度 ( $SEP = 1.70\%$ ) 的 PEG-丹宁 (丹宁生物活性评价指标) 定标模型。

为了避免疯牛病的蔓延传播, 世界各国越来越重视动物源性饲料产品的监控, 如欧盟就连续颁布有关法规详细规定了动物源性产品在饲料中的使用规定, (EC) 999/2001 指令明确禁止在反刍动物中使用哺乳动物蛋白, (EC) 1774/2002 指令规定禁止在饲喂动物中使用同类动物蛋白产品, (EC) 1234/2003 指令规定禁止在饲养动物中使用肉骨粉。中国政府也同样重视疯牛病的防控, 《动物源性饲料产品安全卫生管理办法》中规定在反刍动物饲料中禁止使用任何动物源性产品(乳及乳制品除外)。而目前能简洁、快速、准确的检测配合饲料中肉骨粉的技术较少, 近红外光谱分析技术由于具有独特的技术特点和优势, 在这一领域显示出了广阔的应用前

景。Pérez-Marín 等<sup>[23]</sup>用偏最小二乘(PLS)法建立了能够准确判别配合饲料中是否含有肉骨粉的分析模型,而中国的牛智有<sup>[27]</sup>也利用偏最小二乘(PLS)法建立了测定鱼粉和精料补充料中肉骨粉含量的分析模型。另外, Murray 等<sup>[28]</sup>于 2001 年建立了能准确检测鱼粉和配合饲料中肉骨粉的近红外光谱分析模型,其决定系数(RSQ)和定标标准误差(SEC)分别达到 0.94 和 0.85%。

### 2.5 饲料加工过程的在线监控

在线检测和监控是保证饲料产品质量安全的有效途径之一,因为通过在线监控,可以更加科学、准确及时地获取饲料产品的质量信息,从而尽快对生产参数做出调整,确保饲料质量的稳定,减少损失,降低成本。但由于用传统化学分析方法获取检测结果往往需花费很长时间,存在严重的滞后性,无法满足现代工业生产中维持产品质量稳定和实时监控生产过程的要求;而近红外光谱分析技术可在复杂背景下瞬时分析样品的组分信息,且通过与光纤技术<sup>[29-31]</sup>结合还可实现在不破坏样品和不影响生产的前提下,可直接准确地获取生产过程中的实时信息,达到对各种工业生产过程进行在线监控的要求。因此,探索将近红外光谱分析技术用于在线监控饲料原料、半成品、成品的营养成分等参数的变化,有效提高饲料产品质量控制的效果,在饲料质量监控中有着同样的重要性和研究价值。

通过近红外光谱分析技术实施在线监控的途径通常可分为两类,一类是通过利用标准样品建立定标方程,实现持续监控产品成分变化,如 Harbeck 等<sup>[32]</sup>仅通过建立一个很小的数据库,且无需重复定标的前提下就用近红外光谱分析技术完成了对甜菜碱生产过程的在线监控;González-Martín 等<sup>[33]</sup>结合使用光纤探头,建立了测定未经任何处理的饲料中维生素 E 的检测方法,较好的控制了因加工条件(如温度等)引起的维生素 E 破坏。另外,近红外光谱分析技术还可用于在线监控产品加工中物理参数的变化,如物料的混合均匀度、粉碎粒度、淀粉糊化度、硬度等与加工质量直接相关的指标。Lu<sup>[34]</sup>等建立了淀粉糊化度、黏度等理化特性的近红外光谱预测模型,可进一步用于监控饲料生产过程中的调质和制粒效果;Freitas 等<sup>[35]</sup>以高效液相色谱法为对照方法,发现可用近红外光谱分析技术分析药片的溶解度和溶解曲线。建立的预测模型的相关系数达到 0.80~0.92,此技术可推广用于测定水产颗粒饲料崩解速度,从而对生产参数做出相应调整,更有效的监控和保证饲料的质量。

## 3 近红外光谱分析技术在饲料质量安全管理中的拓展应用

20 世纪,“疯牛病”、“二恶英”、污水饲料等事件的接连发生促使有关部门开始明确实施“从农场到餐桌的全程质量安全监管”以保证食品链的安全,而饲料工业作为食品链的重要一环,在保证和控制食品质量中起着关键的承上启下的作用;另外,从饲料工业自身情况出

发,饲料工业每年要消费大量的安全特性尚未明了的生物产品,如转基因作物、各种微生物资源等,对这些产品实施有效的安全评价和跟踪管理是十分必要且相当紧迫的。为了增强饲料产品质量控制的透明度和效果,提高饲料工业和食品行业的整体安全水平,有必要采取有效措施,严格饲料产品的注册管理、建立完善的饲料产品可追溯管理制度。

### 3.1 用于饲料产品的溯源管理

近年来,为应对疯牛病(BSE)、口蹄疫、禽流感等问题,各国政府监管部门开始逐步在饲料产业和农产品安全管理中建立溯源制度。溯源制度不仅可以保护消费者的知情权,还能强化和明确产业链条各环节的责任,快速确定安全事件的源头,以更有效的控制安全事件的发展;另外,溯源还有助于安全风险评价和预警机制的贯彻实施,降低生产过程中的安全风险。溯源管理主要由记录管理、查询管理、标识管理、责任管理、信用管理等方面组成。科学准确的溯源技术是贯彻实施溯源管理的重要保障。近红外光谱分析技术不仅可以准确分析配合饲料各种营养成分的含量,而且可以较好的测定配合饲料原料组成,甚至能够直接准确的判定配合饲料某些原料成分的产地来源,因此,作为一种快速准确的饲料质量安全评价技术,近红外光谱分析技术在饲料产品的安全溯源管理中具有非常广阔的应用前景。

### 3.2 用于管理饲料产品的登记注册

中国目前注册饲料企业有 1400 多家,产品种类和规格非常繁多复杂,质量也是良莠不齐,有效管理和控制饲料产品的重要手段之一就是强化和完善产品登记注册制度及其内容。饲料主管部门通常要求饲料生产企业或进口饲料经销商提供饲料产品的有效组分、理化性质、功能、生产工艺条件、安全性、稳定性、产品来源等相关个体特征信息;而建立饲料产品的近红外光谱库可以快速、有效、准确的反映有关饲料产品的上述信息和特性。因此,在饲料产品登记注册中建立一一对应的每种产品的近红外光谱信息库,作为产品注册信息的一部分,不仅能更为全面、准确地反映产品的个性特征信息,而且有利于快速鉴别饲料产品掺假,遏制和打击假冒伪劣产品,维持公平竞争的市场秩序;同时,也将有助于饲料标签制度和其他相关饲料法规的贯彻执行,最终全面实现产品注册管理的目标。

### 3.3 应用于饲料安全管理中尚需解决的问题

饲料工业涉及农产品、医药、化工等多个领域,并且饲料原料的国际贸易流通量也较大,因此饲料原料的选择范围很广,饲料产品组成也是复杂多变。要系统规范的管理这些产品,亟待针对性建立各类产品的近红外光谱信息库,同时充分利用相关领域中已有的近红外光谱数据库(如国家“十五”建立的农产品近红外光谱数据库<sup>[36]</sup>),倡导相关领域的研究者共建共享适用性更为广泛的近红外光谱分析预测模型和数据库。当前,建立成功的近红外预测模型需要丰富扎实的化学计量学和数理统计学知识,定标过程也十分复杂繁琐,对于普通使用者而言仍有很大的困难;因此,需要开发针对性更强、

操作更方便的近红外光谱分析数据分析软件, 逐步将其完善成为饲料行业专用的标准化模式, 并进行推广应用。另外, 为适应饲料行业对快速检测仪器的需要, 应加快简便、实用的近红外快速分析仪器的设计和生产, 加速近红外光谱分析技术的推广应用。

#### [参 考 文 献]

- [1] Estienne F, Despagne F, Walczak B, et al. A comparison of multivariate calibration techniques applied to experimental NIR data sets: Part III: Robustness against instrumental perturbation conditions [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2004, 73(2): 207– 218.
- [2] Zeaiter M, Roger J M, Bellon-Maurel V. Robustness of models developed by multivariate calibration. Part II: The influence of pre-processing methods [J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2005, 24(5): 437– 445.
- [3] Agreil C, Meuret M. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation[J]. *Small Ruminant Research*. 2004, 54(1, 2): 99– 113.
- [4] Zhang M H, Luybaert J, Pierna J A F, et al. Determination of total antioxidant capacity in green tea by near-infrared spectroscopy and multivariate calibration [J]. *Talanta*, 2004, 62(1): 25– 35.
- [5] Roggo Y, Duponchel L, Huvenne J P. Comparison of supervised pattern recognition methods with McNemar's statistical test application to qualitative analysis of sugar beet by near-infrared spectroscopy[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2003, 477(2): 187– 200.
- [6] Stanimirova B, Walczak D, Massart L, et al. A comparison between two robust PCA algorithms [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2004, 71(1): 83– 95.
- [7] Chalus P, Roggo Y, Walter S, et al. Near-infrared determination of active substance content in intact low-dosage tablets[J]. *Talanta*, 2005, 66(5): 1294– 1302.
- [8] Lu G, Huang H, Zhang D. Prediction of sweet potato starch physiochemical quality pasting properties using near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2006, 94(4): 632– 639.
- [9] Togersen G, Nilsen, B, Hildrum N. On-line near infrared analysis of meat composition in industrial scale ground meat batches[A]. Davies A M C, Giangiacomo R. *Near Infrared Spectroscopy*[C]. *Proceeding of the 9th International Conference Chichester*. UK: NIR Publications. 2000: 365– 369.
- [10] Lovett D K, Deaville E R, Givens D I, et al. Near infrared reflectance spectroscopy(NIRS) to predict biological parameters of maize silage: effects of particle comminution, oven drying temperature and the presence of residual moisture[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2005, 120(3, 4): 323– 332.
- [11] Bruno-Soares A M, Murray I, Paterson R M, et al. Use of near infrared reflectance spectroscopy(NIRS) for the prediction of the chemical composition and nutritional attributes of green crop cereals[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 75(1): 15– 25.
- [12] González-Martín I, González-Cabrera J M, Bustamante-Rangel M, et al. Near infrared spectroscopy (NIRS) reflectance technology for determination of tocopherols in animal feeds[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2006, 558(1, 2): 132– 136.
- [13] De Boever J L, Vanacker J M, De Brabander D L. Rumen degradation characteristics of nutrients in compound feeds and the evaluation of tables, laboratory methods and NIRS as predictors[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2003, 107(1, 4): 29– 43.
- [14] González-Martín I, Álvarez-García N, González-Cabrera J M. Near-infrared spectroscopy (NIRS) with a fibre-optic probe for the prediction of the amino acid composition in animal feeds[J]. *Talanta*, 2006, 69(3): 706– 710.
- [15] Aufrère J, Graviou D, Demarquilly C, et al. Near infrared reflectance spectroscopy to predict energy value of compound feeds for swine and ruminant[J]. *Animal Feed Science Technology*, 1996, 62(2, 4): 77– 90.
- [16] Kempen T, Bodin J C. Near-infrared reflectance spectroscopy(NIRS) appears to be superior to nitrogen-based regression as a rapid tool in predicting the poultry digestible amino acid content of commonly used feed-stuffs[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 76(1, 2): 139– 147.
- [17] Volkers K C, Wachendorf M, Loges R, et al. Prediction of the quality of forage maize by near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Taube Animal Feed Science and Technology*, 2003, 109(1, 4): 183– 194.
- [18] Park R S, Agnew R E, Gordon F J, et al. The use of near infrared reflectance spectroscopy(NIRS) on undried samples of grass silage to predict chemical composition and digestibility parameters[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 72(1, 2): 155– 167.
- [19] Landau S, Glasser T, Muklada H, et al. Fecal NIRS prediction of dietary protein percentage and in vitro dry matter digestibility in diets ingested by goats in Mediterranean scrubland[J]. *Small Ruminant Research*, 2005, 59(2, 3): 251– 263.
- [20] 王 平, 陈泽琴, 谢洪平, 等. 产地中药材的近红外光谱初步研究[J]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 25(1): 92– 95.
- [21] 刘沐华, 张学工, 周 群, 等. 模式识别和红外光谱法相结合鉴别中药材产地[J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, 125(16): 878– 881.
- [22] Xiccato G, Trocino A, De Boever J L, et al. Prediction of chemical composition, nutritive value and ingredient composition of European compound feeds for rabbits by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2003, 104(1, 4): 153– 168.
- [23] Pérez-Marín D C, Garrido-Varo A, Guerrero-Ginel J E, et al. Near-infrared reflectance spectroscopy(NIRS) for the mandatory labelling of compound feedingstuffs: chemical composition and open-declaration[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 116(3, 4): 333–

- 349.
- [24] 王文杰, 穆淑琴, 刘兰兰, 等. NIRS 法检测预混料中的维生素 A[J]. 天津畜牧兽医, 1998, 15(2): 12– 14.
- [25] Goodchild A V, Hamein F J, Moneim A, et al. Prediction of phenolics and tannins in forage legumes by near infrared reflectance[J]. *Infrared Spectrosc*, 1998, (6): 175– 181.
- [26] Landau S, Dvash L, Decandia M, et al. Determination of poly(ethylene glycol)-binding to browse foliage, as an assay of tannin, by near infrared spectroscopy [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2004, 52(4): 638– 642.
- [27] 牛智有. 鱼粉、精料补充料及其中肉骨粉含量的近红外漫反射光谱分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [28] Murray I, Aucott L S, Pike I H. Use of discriminant analysis on visible and near infrared reflectance spectra to detect adulteration of fishmeal with meat and bone meal [J]. *Near Infrared Spectrosc*, 2001, (9): 297– 311.
- [29] Mouazen A M, De Baerdemaeker J, Ramon H, et al. Towards development of on-line soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer[J]. *Soil and Tillage Research*, 2005, 80(1, 2): 171– 183.
- [30] González-Martín I, González-Pérez C, Alvarez-García N, et al. On-line determination of fatty acid composition in intramuscular fat of Iberian pork loin by NIRS with a remote reflectance fibre optic probe[J]. *Meat Science*, 2005, 69(2): 243– 248.
- [31] Marión N, Norberg A, Lembrén L, et al. On-line multi-analyzer monitoring of biomass, glucose and acetate for growth rate control of a *Vibrio cholerae* fed-batch cultivation[J]. *Journal of Biotechnology*, 2005, 115(1): 67– 79.
- [32] Harbeck C, Faurie R, Scheper T. Application of near-infrared spectroscopy in the sugar industry for the detection of betaine[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2004, 501(2): 249– 253.
- [33] González-Martín I, González-Cabrera J M, Bustamante-Rangel M, et al. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) technology for determination of tocopherols in animal feeds[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2006, 558(1, 2): 132– 136.
- [34] Lu G Q, Huang H H, Zhang D P. Prediction of sweet-potato starch physiochemical quality and pasting properties using near-infrared reflectance spectroscopy [J]. *Food Chemistry*, 2006, 94(4): 632– 639.
- [35] Freitas M P, Sabadin A, Silva L M, et al. Prediction of drug dissolution profiles from tablets using NIR diffuse reflectance spectroscopy: A rapid and nondestructive method[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2005, 39(1, 2): 17– 21.
- [36] 李军会, 赵龙莲, 严衍禄, 等. 用近红外光谱构建现代农产品品质分析技术[J]. *现代科学仪器*, 2005, (1): 17– 19.

## Research advances of the application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy technology in the evaluation of feed quality and safety

Li Hui, Qin Yuchang<sup>\*</sup>, Lu Xiaowen, Li Junguo, Yang Haifeng

(Lab of Feed Engineering, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) is a major technology for controlling feed quality and safety in feed industry. It was not only used to analyze the nutritional compositions of feed, but also used to trace the origin of products concerned, and it also could be used for enforcing the registration system of feed. So NIRS has good foreground for inspection purposes in feed industry. For promoting the application of NIRS in the evaluation of feed quality and safety, the recent development of NIRS was introduced in this paper.

**Key words:** Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS); feed; quality; safety; thumbprint of information