

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

王利^{1,2}, 孟庆翔¹, 任丽萍^{1*}, 杨建松¹

1. 中国农业大学动物科技学院, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193

2. 中国农业大学理学院, 北京 100193

摘要 近红外光谱是近年来发展最快、最引人注目的光谱学技术。主要介绍了近红外光谱技术的基本原理和发展, 包括近红外光谱预处理技术如微分处理、信号平滑等技术的发展和近红外光谱分析模型如多元线性回归、主成分分析、偏最小二乘法和人工神经网络等的发展。综述了国内外近几年来此技术在动物饲料和产品品质检测中的应用。文献调查显示, 近红外光谱分析技术以其快速、无损、不污染环境等诸多优点在国内外饲料和动物产品检测方面得到广泛应用。在饲料分析方面, 近红外不仅能用于其常量成分干物质、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪等的测定, 而且能用于微量成分、有毒有害成分的测定。在动物产品分析方面, 该技术已用于禽蛋、牛肉、羊肉、猪肉等的各种物理和化学指标的测定。文中详细给出了已经报道的利用近红外光谱技术测定饲料和动物产品测定指标和光谱处理以及模型建立的情况, 并讨论了近红外光谱快速检测技术的在饲料分析和动物产品分析领域的应用新趋势和局限性。

关键词 近红外光谱分析技术; 饲料; 动物产品; 品质检测; 应用

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)06-1482-06

引言

随着畜牧业的发展, 人们对动物饲料及产品的营养价值和安全性越来越关注。如何实现其在生产过程中的质量控制及其营养成分的快速分析显得越来越重要。以往的化学分析方法存在着过程缓慢, 方法复杂, 使用大量的化学试剂, 不仅对环境造成污染, 而且一些有毒试剂对人身造成重大伤害等诸多不足。因此, 建立快速简便而且绿色的分析方法, 使整个分析过程变得更加快速、简便和实用是十分必要的。近红外光谱分析技术是近年来分析化学领域迅猛发展的高新分析技术, 该技术被称为20世纪分析领域的巨人^[1]。它的出现可以说带来了又一次分析化学技术的革命。该技术具有测定快速, 制样简单, 一次可同时测定多个成分, 不需要化学试剂, 检测无污染等诸多优点, 因此, 近红外光谱快速分析技术近年来得以迅速地发展, 并在分析检测领域得到广泛的应用。

1 近红外光谱分析技术的基本原理及其发展

1.1 基本原理

近红外(near infrared, NIR)光是指波长介于可见区与中红外区之间的电磁波, 其波长范围约为800~2500 nm, 波数范围约为12500~4000 cm⁻¹。近红外光谱(near infrared reflectance spectroscopy, 简称NIRS)方法是利用有机物中含有C—H, N—H, O—H和C—C等化学键的泛频振动或转动, 以漫反射方式获得在近红外区的光谱, 通过主成分分析、偏最小二乘法、人工神经网络等现代化学计量学的手段, 建立物质光谱与待测成分含量间的线性或非线性模型, 从而实现用物质近红外光谱信息对待测成分含量的快速预测^[2]。

1.2 近红外光谱预处理技术

光谱预处理是提高校正模型的可靠性和稳定性的必要措施, 它主要是除去光谱中的噪音并提取有用信息, 同时它也是提高未知样品组分浓度预测精度的有力保证。

1.2.1 微分处理技术

收稿日期: 2009-01-06, 修订日期: 2009-04-08

基金项目: 农业部(948)项目(2006-G47)和国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD12B02)资助

作者简介: 王利, 女, 1983年生, 中国农业大学理学院分析化学专业在读硕士研究生 e-mail: whitebati@163.com

*通讯联系人 e-mail: renlp@cau.edu.cn

微分处理主要包括一阶导数处理和二阶导数处理,光谱一阶求导处理主要解决基线的偏移,二阶求导处理主要解决基线的漂移,是最为常用和比较有效的光谱预处理技术,可以很好地除去背景影响,减弱和消除各种非目标因素对光谱干扰。但是在某些情况下微分处理减弱了目标因素的信息,降低了信噪比。江泽慧^[3]在利用近红外光谱结合多变量数据分析技术对人工林木材纤维素的结晶度进行预测的能力的研究时发现,采用一阶导数和二阶导数光谱预处理没有提高近红外模型的预测效果,而采用原始光谱的预测效果最好。

1.2.2 信号平滑技术

由于由仪器扫描得到的光谱信号中存在随机误差从而产生噪音,所以消除这些噪音是十分关键的。平滑算法是消除噪音最常用的一种方法。其基本原理是假设光谱含有的噪音为零均随时白噪声,多次测量可以取平均值,以此来降低噪音提高信噪比。常用的信号平滑技术有移动平均平滑法和 Savitzky Golay 卷积平滑法。

1.2.3 中心化和标准化处理技术

数字中心化是从每个光谱数据中减去样品的平均值,使得处理后的光谱数据充分反映变化信息,使所有数据都分布在零点两侧,这样可简化并稳定以后的计算,而且不影响数据的相对位置变异信息。标准化处理的原理是通常使用同一列数据的方差去除,消除变量的量纲效应,从而使每一个数据在变异信息中具有同等的表现力。

1.2.4 小波变换滤波技术

小波变换技术是 20 世纪 80 年代发展起来的应用数学分支,主要用于近红外光谱的数据压缩和背景扣除,被称为傅里叶分析方法的突破性进展^[4]。应义斌(见本刊,2006,26(1):63)利用小波变换滤波技术对 90 个水果样品的近红外光谱信号进行了去噪处理。研究结果表明:使用小波去噪方法有消除原始光谱噪声作用,从而使最终的模型更具有代表性和稳定性,同时提高了品质检测时模型预测精度。

不同的光谱预处理技术各有其优点和缺点,适用范围有一定限制。所以在具体应用时应当根据光谱的特点,采用合理的光谱预处理技术,这样才能保证获得更好的定量分析结果。

1.3 近红外光谱分析模型的发展

为了对近红外光谱进行快速、实时的定性定量分析,必须利用化学计量学建立稳定可靠的定性或定量分析模型。

1.3.1 多元线性回归(MLR)

多元线性回归是较早的化学计量学方法。它是 1976 年由 Norris 等提出的,并将其成功地运用于近红外光谱分析中。MLR 的校正方法比较简单,物理意义明确。它的原理是对所测组分建立线性回归方程,即 $Y = c_0 + c_1 \times A_1 + c_2 \times A_2 + \dots + c_n \times A_n$ 。但是它常常需要人工选择建模波长点,在分析样品时只用了一些特征波长点的光谱信息,其他点的信息被忽略,容易对模型产生过适应性。所以近年来,随着近红外技术的应用领域越来越广,它也显示出更多的局限性,逐渐被其他的模型代替。

1.3.2 马氏距离(MD)

马氏距离常用于光谱的判别分析。它用来度量未知样本

与特定类之间的距离。Whitfield^[5]等将其用于近红外光谱定量校正模型的适用性判断。结果发现在应用马氏距离计算时,可采用几个波长下的光谱数据进行。其不足一是如果将光谱数据减少,波长的选择是一个重要又比较困难的问题,因为波长选择不合适可能会丢失样品的信息;二是如果采用全谱运算,计算工作量极大,且可能由于共线性的存在导致矩阵运算不稳定。

1.3.3 主成分分析(PCA)

PCA 的主要目的是数据降维,以消除近红外光谱信息中相互重叠的部分,将光谱数据向协方差最大方向投影,得到最大限度反映被测样品的组成和结构信息的新变量。但是它离群点判别的定量阈值不易界定。

徐广通(见本刊 2001,21(4):459)提出了将 PCA 和 MD 相结合解决校正模型的适应性判断。既利用了 PCA 对光谱降维处理不丢失信息的特点,又发挥了 MD 判别离群值有效识别的优点。

1.3.4 偏最小二乘法(PLS)

偏最小二乘法是应用最广泛的建模方法。它是在传统的多元线性回归的基础上发展起来的一种回归方法。用 PLS 建立模型,可以利用全部光谱的信息对样品进行分析,将光谱矩阵的分解和回归交互进行。大量的近红外技术的应用都采用了此种建模方法。

但是当训练集样品数目有限或者存在较大的误差时,由于采用 PLS 单一模型,模型的精度和准确性往往达不到预期效果。邵学广^[6]采用基于多模型共识的偏最小二乘法(cPLS)对烟草样品中氯的含量与近红外光谱的模型进行研究,结果表明 cPLS 较 PLS 算法的模型更加稳定可靠。唐长波等^[7]提出了用移动窗口最小二乘回归法和全谱 PLS 法建立模型,其所建模型效果优于 PLS 所建模型。

1.3.5 人工神经网络(ANN)

在近红外光谱中,往往光谱参数与样品含量化学测定值之间具有一定的非线性,特别是当样品含量范围变化较大时,样品的近红外光谱与其待测组分含量之间的关系是非线性、多因子的复杂关系,线性模型不再适应,这时就可以采用人工神经网络法^[8]。人工神经网络模仿人脑处理信息,具有分布并行处理、非线性映射、自适应学习等特性,对处理灰色、黑色体系与非线性体系的信息有着突出的优点。赵琛(见本刊,2004,24(1):50)用 BP 神经网络建立了氨基酸、精氨酸和总氨酸的定量模型,均优于主成分回归和偏最小二乘回归等线性模型的处理结果。结果表明,该方法是一种有效实用的非线性校正方法。

1.3.6 支持向量机(SVM)

支持向量机是近年来出现的新的化学计量学方法。当训练集样本较少且变量较多时,应用 PCA 和 PLS 常会出现“过拟合”或“欠拟合”现象^[6]。基于上述缺点,将支持向量机用于近红外光谱可有效地改善过拟合现象,而且它允许高维数据作为输入矢量,可以很好地解决温度等变量引起的光谱非线性变化问题。兰州大学的栾峰^[9]将支持向量机方法应用到化学、环境化学和药物化学等领域中,进行了 1 100 多种化学物质的性质、环境毒物的毒性和药物有关的性质的预测,

建立了准确的定量结构性质/活性关系模型。

对于每一种化学计量学方法而言, 都有各自的长处和短处, 在用于近红外光谱时可能受到某些限制。目前已有研究者将这些方法相互结合, 取长补短, 再将其应用于近红外光谱分析技术中。

2 近红外快速分析技术在动物饲料及产品品质分析中的应用

2.1 近红外快速分析技术在动物饲料品质分析中的应用

近年来, 随着计算机技术和化学计量学的发展, NIRS

技术在饲料分析方面也取得了一定的成果。NIRS 技术不仅能用于饲料常量成分分析, 如水分、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪的测定, 而且能用于微量成分(如氨基酸, 维生素)、有毒有害成分(如植酸磷、棉酚等)的测定, 并且 NIRS 已发展为用于饲料营养价值评定, 如单胃动物的氨基酸利用率、有效能值测定等; 另外, 它还能用于饲料加工过程的在线分析。由于 NIRS 具有简便、快速、相对准确的优点, 因此国内外不少学者认为 NIRS 光谱技术已成为饲料快速、实时成分分析和过程控制的最先进技术。表 1 为近红外光谱技术在饲料分析上的应用。

Table 1 Application of NIRS to feed analysis

样品名称	分析的项目	模型相关性	参考文献
玉米	干物质 粗蛋白 ADF 氨基酸 真可消化氨基酸	干物质和粗蛋白 $R: 0.94 \sim 0.99$; SEP: $0.10\% \sim 0.34\%$	丁丽敏 ^[10] 任鹏 ^[11]
小麦	水分 粗蛋白 氨基酸 消化能 代谢能	水分 $R: 0.94 \sim 0.99$, SEP: $0.10\% \sim 0.34\%$; 粗蛋白 $R: 0.95$	William ^[12] 冯平 ^[13]
谷物	粗蛋白 水分 粗脂肪 真可消化氨基酸	粗蛋白、水分、粗脂肪的含量、真可消化氨基酸的 $R: > 0.9$	Norris ^[14] Jackson ^[15]
玉米青贮	粗灰分 粗汁肪 粗蛋白 ADF NDF 乙酸 丙酸 消化能	NDF、ADF、粗脂肪和粗灰分的 R 高于 0.9 ; 粗蛋白 $R: 0.88$; 乙酸、丙酸、消化能的 $R: 0.75 \sim 0.96$	白琪琳(见本刊, 2004, 24(11): 1345) 刘强 ^[16] Reeves ^[17]
高粱	水分 粗蛋白	$R: 0.94 \sim 0.99$; SEP: $0.10\% \sim 0.34\%$	任鹏 ^[11]
米糠	水分 粗蛋白	$R: 0.94 \sim 0.99$; SEP: $0.11\% \sim 0.34\%$	任鹏 ^[11]
饲草	中性洗涤纤维	$R: 0.943$	Hege ^[18]
苜蓿	维生素 E 矿物质	-维生素 E 和(+) -维生素 E $R: 0.946, 0.956$; 矿物质 $R: 0.76 \sim 0.83$	Gonzalez ^[19] Cozzolino ^[20]
豆粕	水分 粗蛋白 粗脂肪 可消化氨基酸	水分、粗蛋白、粗脂肪的 $R: 0.97, 0.90, 0.97$; 真可消化 氨基酸 R 都高于 0.93	卢利军 ^[21] Kempen ^[22]
鱼粉	蛋白 纤维 氨基酸	蛋白、纤维的 $R: 0.84, 0.93$; 赖氨酸、蛋氨酸、肤氨酸、 总氨基酸的 $R: 0.939, 0.664, 0.962, 0.975$	苏彩珠 ^[23] 丁丽敏 ^[10]
肉骨粉	蛋白 纤维 可消化氨基酸	蛋白、纤维的 $R: 0.85, 0.94$; 可消化氨基酸的 $R: 0.93 \sim 0.99$	苏彩珠 ^[23] Jackson ^[15]
菜籽饼	总葡萄甙 植磷酸	R 都在 0.9 以上	Biston ^[24] Parrish ^[25]
棉籽	棉酚	$R: 0.99$	Birth ^[26]
花生饼	表观可利用氨基酸	$R: 0.85 \sim 0.982$	魏瑞兰 ^[27]

注: R 为定标相关系数; SEP 为预测标准偏差

2.2 近红外快速分析技术在动物产品品质检验中的应用

实时、快速、准确地实现动物产品品质检验对提高动物产品的质量具有很好的现实指导意义。近红外快速检测技术已应用于肉类工业的各个领域。它除了可以测定肉产品中的水分、蛋白、脂肪等成分外, 还可以在屠宰分割过程中及时测定肉的各种理化指标。应用此技术, 可以对产品品质进行在线检测, 通过对产品成分含量的校准和预测, 可以随时调整生产策略, 优化产品。近年来, 在各种肉类产品检验的报道中, 尤以牛肉居多。此外, 还有牛奶和蛋类的报道。表 2 为近红外光谱技术在动物产品品质分析中的应用。

3 近红外光谱快速分析技术在动物饲料和产品快速分析中应用展望

NIRS 法以其快速、简便、无损、绿色等诸多优点, 在各行各业越来越受到青睐。在饲料分析方面, 不仅能用于饲料常量成分分析, 还能用于微量成分、有毒有害成分的检测, 同时能用于饲料营养价值的评价, 从而为饲料生产过程的质量控制提供了行之有效的办法。在动物产品品质分析方面, 用于肉类、蛋、奶类等多种成分的快速检测, 大大优化了动物产品的品质。除此以外, 企业可以利用 NIRS 技术进行在线监测, 调整配方和采购策略, 降低生产成本, 提高产品质量。因此, 近红外光谱分析技术在饲料检测和动物产品品质

分析上的应用前景是十分乐观的。

但是由于各种影响因素的存在, NIRS 法在目前的应用中还存在着诸多需要解决的问题。尤其在无损检测方面, 由于采集样品技术问题, 在动物产品的无损检测受到限制。如在蛋类产品品质检测中的应用很少, 在国内外鲜有报道。另

外, 由于其准确性依赖于准确的化学分析、先进的光谱采集技术、合适的数据处理技术以及稳定的化学计量模型, 因此, 使 NIRS 分析技术能够作为动物饲料及产品质量检测控制常规的分析检测技术, 还需要更多的研究者进行长期的探索和研究。

Table 2 Application of NIRS to the determination of animal products

样品名称	分析的项目	模型相关性	参考文献
牛肉	肉色 肉质 嗅觉 新鲜度 干物质 粗蛋白 总灰分 醚提取物 胶原质 肌球蛋白 总能量 脂肪 水分 蛋白 维生素 添加剂 脂肪酸 薄片剪切力	肉色、肉质、嗅觉 R : 0.78 ~ 0.90; 维生素添加剂和脂肪酸 R : 0.87 ~ 0.93; 粗蛋白、醚提取物、总能量、干物质 R : 0.874, 0.924, 0.941, 0.874	刘永良 ^[28] Gerard ^[29] Prieto ^[30] Moreno ^[31] Realini ^[32] Shackelford ^[33]
鸡肉	脂肪肉色 瘦肉含量 薄片剪切力 吸水力	R 都大于 0.98	Abeni ^[34]
猪肉	水分 肉色 剪切力 pH 值 脂肪 脂肪酸	水分和剪切力 R : 0.71 ~ 0.74; 各种脂肪酸的 R : 0.72 ~ 0.94; 肉色 R : 0.7; pH 值 R : 0.83 ~ 0.91; 脂肪 R : 0.70 ~ 0.86	Geesink ^[35] Hoving-Bolink ^[36] Gonza ^[37] Cozzolino ^[38]
羊肉	肉质 嗅觉特性(香味 异味) 肌肉脂肪 水分 灰分 干物质 粗蛋白 脂肪	肉质、嗅觉特性 R : 0.935, 0.962; 脂肪、水分 R : 0.841, 0.974; 灰分、干物质、粗蛋白 R : 0.97, 0.96, 1.00	Andr�s ^[39] Viljoen ^[40]
鸟肉	灰分 干物质 粗蛋白 脂肪	R : 0.71, 0.84, 0.97, 0, 99	Viljoen ^[41]
鱼肉	肉质 蛋白 脂肪	R : 0.86 ~ 0.92	Downey ^[42]
牛奶	酸度 pH 值 保鲜度 密度 非脂乳固体 脂肪 蛋白质 乳糖	酸度值 R : 0.976; pH 值 R : 0.991; 脂肪、蛋白质、乳糖 R : 0.99, 0.91, 0.84	韩东海 ^[43] 王丽杰 ^[44]

注: R 为定标相关系数

参 考 文 献

- [1] McClure W Fred. Analytical Chemistry, 1994, 66(1): 43A.
- [2] LU Wan-zhen(陆婉珍). Modern Scientific Instruments(现代科学仪器), 2006, (5): 5.
- [3] JIANG Ze-hui, FEI Ben-hua, YANG Zhong(江泽慧, 费本华, 杨 忠). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(3): 435.
- [4] PENG Yu-hua(彭玉华). Wavelet Transform and Application in Engineering(小波变换及其在工程中的应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 1999. 115.
- [5] Whitfield R G, Geger M K, Sharp R L. Applied Spectroscopy, 1987, 41(7): 1204.
- [6] SHAO Xue-guang, CHEN Da(邵学广, 陈 达). Near Infrared Spectroscopy in Modern China(当代中国近红外光谱技术). Proceeding of the 1st Chinese Conference on Near Infrared Spectroscopy(全国第一届近红外光谱会议论文集), 2006. 250.
- [7] TANG Chang-bo, CHEN Min-yan, PENG Yu-kui, et al(唐长波, 陈敏艳, 彭玉魁, 等). Academic Periodical of Farm Products Processing(农产品加工(学刊)), 2007, (3): 52.
- [8] YUAN Da-lin, LIANG Yi-zeng(袁大林, 梁逸曾). Chemometrics Studies for NIR Spectroscopic Analysis(近红外建模中的化学计量学方法研究). Proceeding of the 1st Chinese Conference on Near Infrared Spectroscopy(全国第一届近红外光谱会议论文集), 2006. 45.
- [9] LUAN Feng(栾 锋). Application of Support Vector Machines (SVM) and Radial Basis Function Neural Networks (RBFNN) in Chemistry, Environmental Chemistry and Medicinal Chemistry(支持向量机(SVM)和径向基神经网络(RBFNN)方法在化学、环境化学和药物化学中的应用研究). Lanzhou University(兰州大学), 2006.
- [10] DING Li-min, JI Cheng(丁丽敏, 计 成). Chinese Journal of Animal Nutrition(动物营养学报), 1999, 11(3): 12.
- [11] The Animal Institute of Chinese Agricultural Academy(中国农业科学院畜牧研究所编). Analytical Technology of Near Infrared Spectroscopy(近红外光谱分析技术). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press(北京: 中国农业科技出版社), 1993. 23.
- [12] Williams P C, Norris K H, Sobering D C. Agric. Food Chem., 1985, 33: 239.
- [13] FENG Ping, ZHANG Zi-yi(冯 平, 张子仪). Chinese Journal of Animal Science(中国畜牧杂志), 1986, (2): 10.
- [14] Norris K H. Multivariate Analysis of Raw Material. In: Schmitl L W, ed. Chemistry and World Food Supplies. Manila: Reihold Publisher, 1984. 155.
- [15] Jackson D Al. Proc. Aust. Poultr. Sci. Sym., 1996, (8): 46.
- [16] LIU Qiang, MENG Qing-xiang, BAI Qi-lin, et al(刘 强, 孟庆翔, 白琪林, 等). Chinese Journal of Animal Science(中国畜牧杂志), 2005, 41(11): 39.

- [17] Reeves J B, Blosser T H. *Journal of Dairy Sci.*, 1989, 72(4): 79.
- [18] Nordheim H, Volden H. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 139(1-2): 92.
- [19] González-Martín I, Hernández-Hierro J, Bustamante-Rangel M, et al. *Analytical and Bio-analytical Chemistry*, 2006, 386(5): 1553.
- [20] Cozzolino D, Labandera M. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82(5): 380.
- [21] LU Li-jun, ZHUANG Shu-hua, LI Ai-jun, et al (卢利军, 庄树华, 李爱军, 等). *Journal of Molecular Science (分子科学学报)*, 2001, 17(2): 115.
- [22] Kempen T Van, Bodin J C. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 76(1-2): 139.
- [23] SU Cai-zhu (苏彩珠). A Study on Fishmeal and Meat & Bone Meal Components Inspection by Near Infrared Quickly (鱼粉和肉骨粉近红外多成分快速检测研究). Jinan University (暨南大学), 2002.
- [24] Biston R, Dardenne P, Cwikowski M, et al. *JAOCs*, 1988, 65(10): 1599.
- [25] Parrish A L. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1990, 67(5): 1324.
- [26] Birth G S, Ramet J H. *Cereal Chemistry*, 1992, 59(6): 516.
- [27] WEI Rui-lan, ZHANG Zi-yi, WU Xiu-qin (魏瑞兰, 张子仪, 吴秀琴). *Chinese Journal of Animal Science (中国畜牧杂志)*, 1987, (6): 3.
- [28] Liu Yongliang, Lyon Brenda G, Windham William R. *Meat Science*, 2003, 65: 1107.
- [29] Downey G, Beauchene D. *Meat Science*, 1997, 45(3): 353.
- [30] Prieto N, Andrés S. *Meat Science*, 2006, 74: 487.
- [31] Moreno T, Varela A, Oliete B, et al. *Meat Science*, 2006, 73: 209.
- [32] Realini C E, Duckett S K, Windham W R. *Meat Science*, 2004, 68: 35.
- [33] Shackelford S D, Wheeler T L, Koohmaraie M. *Meat Science*, 2005, 69: 409.
- [34] Abeni F, Bergoglio G. *Meat Science*, 2001, 57: 133.
- [35] Geesink G H, Schreutelkamp F H, Frankhuizen R, et al. *Meat Science*, 2003, 65: 661.
- [36] Hoving-Bolink A H, Vedder H W, Merks J W M, et al. *Meat Science*, 2005, 69: 417.
- [37] González-Martín I, González-Pérez C, Hernández-Méndez J, et al. *Meat Science*, 2003, 65: 713.
- [38] Cozzolino D, Barlocco N, Vadell A, et al. *Lebensmittel Wissenschaft and Technol.*, 2003, 36: 195.
- [39] Andrés S, Murray I. *Meat Science*, 2007, 76: 509.
- [40] Viljoen M, Hoffman L C, Brand T S. *Small Ruminant Research*, 2007, 69: 88.
- [41] Viljoen M, Hoffman L C. *Meat Science*, 2005, 69: 255.
- [42] Downey G, Beauchene D. *Food Chemistry*, 1996, 55(3): 305.
- [43] HAN Dong-hai, LU Chao, LIU Yi (韩东海, 鲁超, 刘毅). *Dairy Guide (中国乳业导刊)*, 2006, (4): 39.
- [44] WANG Li-jie, XU Ke-xin, GUO Jian-ying (王丽杰, 徐可欣, 郭建英). *Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光)*, 2004, 15(4): 468.

Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) and Its Application in the Determination for the Quality of Animal Feed and Products

WANG Li^{1,2}, MENG Qing-xiang¹, REN Li-ping^{1*}, YANG Jian-song¹

1. National Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract Near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) has been the most rapidly developing and noticeable spectrographic analytical technique in recent years. The determining principle and progresses of near-infrared reflectance spectroscopy are presented briefly. It mainly includes the progresses in pre-processing technique and analyzing model of near-infrared reflectance spectroscopy. Two pre-processing techniques, including differential coefficient-dealt with technique, the signal-smoothing technique, and four analyzing models of near-infrared spectroscopy, including the multiplied lined regression (MLR), principal component analysis (PCA), partial least squares (PLS), and artificial nerve network (ANN). The application of near-infrared reflectance spectroscopy to the first time. The investigation of reviewed papers shows that the near-infrared reflectance spectroscopy is widely applied in feed analysis and animal products analysis because of its rapidness, non-destruction and non-pollution. The near-infrared reflectance spectroscopy has been used to determine the feed common ingredient, such as dry matter, crude protein, crude fiber, crude fat and so on, micro-components including amino acid, vitamin, and noxious components, and to determine the physical and chemical properties of animal products which including egg, mutton, beef and pork. Details of the analytical

characteristics of feed and animal products described in the reviewed papers are given. New trends and limits to the application of near-infrared reflectance spectroscopy in these fields are also discussed.

Keywords Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS); Feed; Animal products; Determination of characteristics; Application

(Received Jan. 6, 2009; accepted Apr. 8, 2009)

* Corresponding author

敬告读者——《光谱学与光谱分析》已全文上网

从 2008 年第 7 期开始在《光谱学与光谱分析》网站(www.gpxygpfx.com)“在线期刊”栏内发布《光谱学与光谱分析》期刊全文,读者可方便地免费下载摘要和 PDF 全文,欢迎浏览、检索本刊当期的全部内容;并陆续刊出自 2004 年以后出版的各期摘要和 PDF 全文内容。2009 年起《光谱学与光谱分析》每期出版日期改为每月 1 日。

光谱学与光谱分析期刊社