

Application of Near Infrared Spectroscopy in the Analysis of Corn Silage

Liyuan Li

Zibo Agricultural Radio and Television School, Zibo Shandong
Email: shiguang0533@126.com

Received: Apr. 4th, 2019; accepted: Apr. 19th, 2019; published: Apr. 26th, 2019

Abstract

The rapid acquisition of the nutritive value of corn silage has become an important means to ensure the stability of the dairy production performance and reduce the feeding cost. Since 1980s, a large number of experts and scholars at home and abroad have studied the nutritional index and quality level of corn silage by near infrared spectroscopy. In this paper, the existing research results are summarized to the researchers from 2 dimensions of the prediction index and sample scanning preprocessing methods.

Keywords

Corn Silage, Near Infrared, Feedstuff

近红外光谱技术在玉米青贮饲料分析中的应用现状

李丽媛

淄博市农业广播电视学校, 山东 淄博
Email: shiguang0533@126.com

收稿日期: 2019年4月4日; 录用日期: 2019年4月19日; 发布日期: 2019年4月26日

摘要

快速获取玉米青贮饲料的营养价值水平成为保障奶牛生产性能稳定、降低饲养成本的重要手段。国内外大量的专家学者从20世纪80年代开始研究利用近红外光谱技术快速测定玉米青贮的营养指标、评定其质量水平。本文从预测指标的范围、扫描样品预处理方式2个维度梳理总结了已有研究成果, 以供该领域

的研究人员参考。

关键词

玉米青贮, 近红外, 饲料

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

玉米青贮饲料是奶牛养殖中最主要的日粮成分, 占比高达 60%左右, 其营养价值对奶牛的生产性能起着至关重要的作用。单头高产泌乳奶牛年消耗玉米青贮饲料在 3.6 吨左右, 费用约占总饲养成本的 20%, 玉米青贮饲料的营养价值也影响着牧场的经济效益。因玉米品种、地域和青贮工艺的不同, 玉米青贮饲料的营养指标存在着较大差异; 受季节和环境等因素的影响, 玉米青贮饲料的营养指标还具有波动性。快速获取玉米青贮饲料的营养价值水平成为保障奶牛生产性能稳定、降低饲养成本的重要手段。

近红外(near-infrared, NIR)光谱分析技术是一种有机物快速分析技术。它的原理是利用有机化学物质在近红外光谱区的光学特性来快速测定样品中的一种或多种化学成分, 具有分析速度快、样品制备简单、无破坏性、无污染和同时测定多种成分的特点。随着光学、计算机数据处理技术、化学光度理论和方法的不断发展, 以及新型近红外光谱仪器的不断出现和软件版本的不断更新, 该技术的稳定性、实用性和准确性不断提高, 应用领域也不断扩大, 在农业、食品、石油化学和生物医学等多个领域均得到了广泛的应用。

国内外大量的专家学者从 20 世纪 80 年代开始研究利用近红外光谱技术快速测定玉米青贮的营养指标、评定其质量水平。本文从预测指标的范围、扫描样品预处理方式 2 个维度总结了已有研究成果。

2. 预测指标的范围

在美国 Norris [1]将 NIR 技术引入粗饲料质量检测后, A.J. Moe 和 S.B. Carr [2]首次探索利用 NIR 技术预测玉米青贮饲料的体外干物质消化率(*in vitro* dry matter digestibility, IVDMD), 并达到与实验室范式纤维分析法基本一致的效果。众多国内外学者不断的研究扩建玉米青贮饲料的 NIR 定标模型, 如表 1 所示。玉米青贮饲料 NIR 模型的预测范围已经覆盖营养指标、发酵品质、消化代谢、质量评定/营养价值评定、产气回归方程参数等多种指标。其中, 营养指标包含常规指标、范式纤维指标、氨基酸和矿物质元素等。研究也表明, NIR 技术在预测玉米青贮饲料的不同指标上具有不同的效果。

2.1. 常规指标

常规指标是指基于 Weende 饲料分析体系化学分析方法获取的概略养分, 主要包括: 水分(Moisture)、粗蛋白(Crude protein, CP)、粗灰分(Ash)、粗脂肪(Ether extract, EE)、粗纤维(Crude fibre, CF)等。

粗蛋白:加拿大 E. V. Valdes 等[3]研究利用 NIR 技术预测青贮前全株玉米(*Zea mays* L.)秸秆中粗蛋白, 定标模型的决定系数(R^2)最高可达 0.95, 验证集最低预测误差(SEP)为 0.35 (单位: %DM, 基于干物质的百分比)。已报到的模型中, SEP 最低为 0.16 [4], 定标集样品 CP 的含量范围为 5.43~10.52 %DM。国内中国农业大学刘贤等[5]基于不同种类青贮饲料样品构建了 CP 的定标模型, 该模型可分析玉米、水稻、高粱、小麦和苜蓿等多种青贮品类, 模型 RPD 可达 2.34。

Table 1. Near infrared calibration model for analysis of corn silage at home and abroad
表 1. 国内外玉米青贮饲料分析的近红外定标模型

作者	光谱仪	样品个数	分析指标	含量范围	指标单位	烘干情况	扫描样品粒径	模型预测效果		
Moe, A. J.和 Carr, S. B., 1985	/	142	IVDMD	38.5~74.7	%	/	/	SEE = 4.04		
	Neotec 51A		CP	4.8~10.6	%			SEE = 0.41		
E. V. Valdes 等, 1987	Neotec 51A	862	IVDMD	60.2~83.8	%	烘干	1.0 mm	SEE = 1.76		
	Technicon InfraAlyzer 400R		IVDMD	60.2~83.8	%			SEE = 1.70		
	Technicon InfraAlyzer 400R		CP	4.8~10.6	%			SEE = 0.25		
			水分	49~92	g·kg ⁻¹			SECV = 2.68		
			CP	63~100	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 3		
			CF	164~243	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 13		
			Ash	39~100	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 7		
J.L. De Boever 等, 1997	Infra-analyzer 500	101	ADF	201~281	g·kg ⁻¹ DM	烘干	1.0 mm	SECV = 13		
			ADL	14~31	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 3		
			VOMD	67.3~78.5	%			SECV = 2.1		
			ME	9.86~11.76	MJ·kg ⁻¹ DM			SECV = 0.32		
			NEL	5.76~7.07	MJ·kg ⁻¹ DM			SECV = 0.23		
			OEB	-43~-11	g·kg ⁻¹ DM			/		
			DVE	43~57	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 5		
			CP	5.43~10.52	%			SECV = 0.14		
			DM	86.13~99.67	%			SECV = 0.22		
			ADF	19.43~40.41	%			SECV = 0.32		
			NDF	49.41~72.35	%			SECV = 0.44		
			Ca	0.02~0.67	%			SECV = 0.03		
			P	0.10~0.26	%			SECV = 0.01		
Roberto Serena Fontaneli, João Walter Durr 等, 2002	Silver Spring, MD, modelo 5000	246	K	0.61~2.14	%	SECV = 0.08				
			Mg	0.12~0.32	%	SECV = 0.01				
			His	0.06~0.17	%DM	SECV = 0.013				
			Arg	0.17~0.75	%DM	SECV = 0.051				
			Thr	0.1~0.38	%DM	SECV = 0.031				
			Val	0.24~0.51	%DM	SECV = 0.033				
			Met	0.07~0.16	%DM	/				
Mary Lou Swift, 2003	FOSS NIR Systems 6500	191	ILe	0.17~0.39	%DM	烘干	2.0 mm	SECV = 0.026		
			Leu	0.34~0.94	%DM			SECV = 0.062		
			Phe	0.16~0.43	%DM			SECV = 0.029		
			Lys	0.07~0.32	%DM			SECV = 0.027		
			FOM1	505 ± 65	/			RMSEP = 34		
			FOM2	556 ± 38	/			RMSEP = 22		
			DVE	55 ± 4	/			RMSEP = 3		
De Boever, J. L. 等, 2002	Infraalyzer 500 spectrophotometer	26	OEB	-39 ± 7	/	烘干	1.0 mm	RMSEP = 5		
			pH	3.7~6.4	/			RMSECV = 0.063		
			pH	3.7~6.4	/			未烘干	/	RMSECV = 0.080
			乳酸	0.08~16	%DM			烘干	1.0 mm	RMSECV = 0.36
L. K. Sørensen, 2004	FOSS a NIR-Systems 6500	202	乳酸	0.08~16	%DM	未烘干	/	RMSECV = 0.47		

Continued

作者	光谱仪	样品个数	分析指标	含量范围	指标单位	烘干情况	扫描样品粒径	模型预测效果
L. K. Sørensen, 2004	FOSS a NIR-Systems 6500	211	乙酸	0.02~12	%DM	烘干	1.0 mm	RMSECV = 0.52
		211	乙酸	0.02~12	%DM	未烘干	/	RMSECV = 0.41
		210	氨态氮	0.04~0.42	%DM	烘干	1.0 mm	RMSECV = 0.007
		210	氨态氮	0.04~0.42	%DM	未烘干	/	RMSECV = 0.008
		236	(EtOH)	0.63~5.8	%DM	未烘干	/	RMSECV = 0.11
刘强等, 2005	波通 DA7200	132	NDF	38.35~73.86	%DM	烘干		SECV = 1.55
			ADF	23.14~48.87	%DM			SECV = 1.03
			IVDMD	37.14~66.65	%DM			RMSEE = 1.84
白琪林等, 2006	VECTOR22/N 傅里叶变换 近红外光谱仪	675	NDF	38.34~73.84	%DM	烘干	40 目	RMSEE = 1.30
			ADF	23.10~48.88	%DM			RMSEE = 0.96
			CP	1.89~8.24	%DM			RMSEE = 0.24
			EE	1.89~8.24	%DM			RMSEE = 0.76
			DM	227.8~528	g·kg ⁻¹			SECV = 27.4
Cozzolino, D.等, 2006	NIRSystems 6500 (NIR Systems, Silver Spring, MD, USA).	90	CP	37.6~243.2	g·kg ⁻¹ DM	未烘干	/	SECV = 6.5
			ADF	197.5~434.5	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 22.1
			NDF	393.7~715.4	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 67.1
			OMD	510~740	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 30
			pH	3~4.4	/			SECV = 0.18
			DM	133.77~433.08	g·kg ⁻¹			SECV = 17.27
			CP	48.38~115.48	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 5.1
			NDF	446.78~739.65	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 17.12
			ADF	177.91~508.91	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 18.35
			ADL	26.75~78.25	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 5.86
刘贤等, 2006	FOSS NIR Systems 6500	158	CA	39.9~146.3	g·kg ⁻¹ DM	烘干	1 mm	SECV = 5.71
			Hem	131.59~317.94	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 16.81
			WSC	1.73~93.47	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 7.16
			pH	3.6~4.94	/			SEC = 0.1
			乳酸	6.11~242.16	g·kg ⁻¹ DM			SEC = 19.21
			乙酸	8.84~150.61	g·kg ⁻¹ DM			SEC = 12.66
			丙酸	0~112.22	g·kg ⁻¹ DM			SEC = 13.28
			丁酸	0~89.42	g·kg ⁻¹ DM			SEC = 7.16
			氨态氮	0.33~17.97	g·kg ⁻¹ DM			SEC = 0.73
			CP	6.83~9.98	%DM			RMSECV
穆怀彬等, 2008	DA-7200 型近红外	284	ADF	21.74~45.78	%DM	烘干	40 目	RMSECV
			NDF	50.59~72.57	%DM			RMSECV
			HC	18.95~35.95	%DM			/
			GE	15.90~17.31	%DM			RMSECV = 0.1512
			RFV	75~130	/			RMSECV = 1.956
			水分	27.4~88.2	%			RMSEC = 9.18
			ADL	26.75~78.25	g·kg ⁻¹ DM			SECV = 5.86
谢群, 2015	ASD (Analytical Spectral Devices) Quality spec	120	pH	3.33~4.85	/	未烘干	3.0 cm	RMSEC = 0.1366
			糖度	0.09~2.25	%			RMSEC = 0.2998
			酒精	0.01~5.00	%			RMSEC = 0.7610

粗灰分: 比利时 De Boever 等[6]采集了 101 个的玉米青贮饲料样品的 NIR 光谱, 构建了 Ash 的定标模型, 模型 SECV 为 7 g/Kg DM, 所有样品 Ash 的含量范围在 39~100 g/Kg DM (基于干基), 预测效果明显差于粗蛋白等指标。国内刘贤等[7]扩大了样品种类, 选择了 158 种不同种类的秸秆青贮饲料, 所有样品的 Ash 含量范围在 39.9~146.3 g/Kg DM, 定标模型 SECV 为 5.71 g/Kg DM。Ash 的 NIR 模型精度仍低于其他常规指标的 NIR 模型精度。

粗脂肪: 国内白琪林等[8]采集了普通、高油和超高油玉米全株和秸秆的青贮样品, 构建了 EE 的 NIR 定标模型。所有样品 EE 的含量范围在 1.89~8.24 %DM, 模型 R^2 为 0.78, RMSECV = 0.82。但 De Boever 等[6]在前后 24 年中采集了不同年份的玉米青贮, 指出 EE 与储存时间高度相关, 受氧化因素影响, 每年减少 0.64 g/Kg DM。可见, 在 NIR 模型的定标和预测过程中, 都需要考虑青贮玉米的采集和存放时间。

粗纤维: CF 的 NIR 模型[6] SECV 为 13 g/Kg DM, 适用样品的含量范围为 164~243 g/Kg DM。由于 CF 指标本身的局限性, 玉米青贮饲料一遍选择范式纤维指标表征其纤维类成分的含量。CF 指标并未成为玉米青贮 NIR 模型的重点研究和分析对象。

水分/干物质: 玉米青贮饲料水分含量大, 常规分析一般基于烘干样品分析。本指标的 NIR 模型分为 2 种, 一是基于烘干样品, 预测烘干样品的水分/干物质含量; 一是基于未烘干样品, 预测未烘干样品的水分/干物质含量。De Boever 等[6]和 Roberto Serena Fontaneli 等[4]等分别构建了烘干样品的水分/干物质的 NIR 定标模型, SECV 均可达 0.2 %DM。Cozzolino 等[9], 和谢群[10]则分别构建了未烘干样品的水分/干物质的 NIR 定标模型, 模型 R^2 分别为 0.85 和 0.72, SECV 分别为 2.7 %DM 和 9.2 %DM, 预测精度低于烘干样品的预测精度。

此外, 淀粉[6]和可溶性碳水化合物[5]也先后被研究构建。

2.2. 范式纤维指标

范式纤维指标是 Van Soest 提出的精准分析粗纤维的所含有化合物, 包括: 中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)和酸性洗涤木质素(Acid detergent lignin, ADL)。其中 NDF 和 ADF 既是反映玉米青贮饲料营养价值的指标, 也是 NIR 模型构建的重点和热点。模型样品的含量范围也不断丰富, 其中 NDF 含量范围为 38.0~73.8 %DM [6] [8], ADF 含量范围为 19.4~48.9 %DM [11], ADL 含量范围为 1.4~3.1 %DM [6]。模型的精度不断优化, NDF、ADF 和 ADL 的 SECV 最低分别可达 0.44 %DM、0.32 %DM 和 0.30 %DM。

2.3. 氨基酸和矿物质元素

氨基酸是组成蛋白质的基本单位, 也是蛋白质的分解产物。Mary Lou Swift [12]采用 NIR 方法构建了玉米青贮饲料中氨基酸的定标模型。氨基酸包含: 组氨酸、精氨酸、苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸。8 种氨基酸中, 尽管组氨酸的含量相对其他氨基酸的含量比较低, 在 0.06~0.17 %DM, 但其 NIR 定标模型的预测效果最好, RPD 为 2, SECV 为 0.013 %DM。8 种氨基酸 NIR 定标模型的预测效果表明, 氨基酸绝对含量与 NIR 模型的预测能力的关系不存在直接的正相关关系。

巴西 Roberto Serena Fontaneli 等[4]基于 246 份样品构建了玉米青贮饲料中 4 种主要矿物质元素(Ca, K, Mg 和 P)的 NIR 定标模型。模型的 R^2 在 0.94~0.94, 可见 NIR 技术对青贮玉米的矿物质也具有一定的分析能力。尽管矿物质元素在近红外谱区不具有特征吸收峰, 但大都认为矿物质元素与有机基团存在比较高的相关性。

2.4. 发酵品质

发酵是玉米秸秆变为玉米青贮饲料的最主要的过程, 有机酸是青贮发酵过程中微生物作用下的主要产

物。青贮饲料质量评定标准体系也采用发酵品质为主要评定指标。发酵品质指标一般包括：pH 值、乳酸、乙酸、丙酸、丁酸和氨态氮等。Snyman 等[13]在青贮饲料干燥粉碎之前用 NaOH 和 H₂SO₄ 对样品进行化学处理防止发酵产物的挥发，然后用 NIRS 测定其乳酸、总挥发性脂肪酸、乙酸、丙酸和氨态氮的含量，获得了较好的结果，验证集 R² 均大于 0.85。L. K. Sørensen [14] 研究发现，烘干样品的 pH 值、乳酸和氨态氮含量的测定效果好于未烘干样品，而未烘干样品中乙酸含量的测定效果略好于烘干样品。Cozzolino [9] 基于 90 个玉米青贮样品构建了 pH 值的 NIR 定标模型，模型 R² 仅为 0.51，RPD = 1.4。穆怀彬[15]构建了乳酸、乙酸和氨态氮的 NIR 定标模型，模型 R² 分别为 0.43，0.37 和 0.58。NIRS 对青贮饲料 pH 值和发酵产物的测定精度均较低，推测原因可能是因为自然状态下样品水分含量较高，产生过强的 NIRS 吸收峰而减少了有机酸等在近红外光谱上的响应。刘贤等[16]通过液氮(-196℃)冷冻后粉碎的样品预处理方式，pH 值、乳酸、乙酸、丁酸和氨态氮获得了较好的预测效果，但丙酸的 NIR 定标模型效果不理想。

此外，乙醇[10] [14]和糖[10]的 NIR 定标模型也被建立。

2.5. 消化性能及其动力学方程参数

NIR 技术最先被研究用于测定玉米青贮饲料的消化性能。传统的玉米青贮饲料消化代谢性能的测定和能量指标的获取，都需要耗费大量的时间、人力和物力，而利用 NIR 则可以快速测定多种指标。NIR 法在预测精度上也具有一定的优势，Barber 等[17]比较了化学成分回归法、体外纤维素酶法、尼龙袋法和 NIR 法对青贮牧草有机物消化率的测定效果，发现 NIR 法的测定精度最好。Van Waes [18]利用 NIR 法对玉米青贮饲料的有机物消化率进行研究，发现 NIR 法均可以很好地测定青贮玉米的有机物消化率，试验推荐采用基于体外瘤胃液法建立消化率的 NIR 定标模型。研究的难点在于新鲜样品以及样品粒径的不均匀性很大程度上影响着测定结果的准确性。

目前，已有的研究报道多集中在对 IVDMD 和有机物消化率(VOMD)的测定上。粗蛋白的小肠降解率[12]、粗蛋白瘤胃降解率[19]、有机物瘤胃降解率[19]等指标的 NIR 定标模型也被研究构建。

NIR 法也被应用于预测干物质和粗蛋白在瘤胃和小肠的动态消化降解情况，降解动力学方程参数的 NIR 定标模型被构建。De la Roza [20]和 Mary Lou Swift (2003)玉米青贮饲料中干物质和粗蛋白的小肠降解率的动力学方程参数。D.K. Lovett 等[21]利用 NIR 技术预测玉米青贮饲料有机物消化率的体外产气法方程参数、原位降解方程参数。但在国内，相关研究还未见报道。

2.6. 能量与营养价值评定指标

奶牛饲养具有不同的营养体系，国内外比较常见的有美国的 NRC 和美国康乃尔大学的净碳水化合物和蛋白体系 CNCPS、荷兰的 DVE/OBE 体系和法国的 PDI 体系等。比利时 De Boever 等[6] [19]的研究构建了荷兰的 DVE/OBE 体系营养指标的 NIR 定标模型，指标包括：代谢能 ME、产奶净能 NEL、OEB、DVE、FOM1、FOM2 等。国内穆怀[22]根据国内外粗饲料品质评定方法，构建了玉米青贮饲料品质评定指数的 NIR 定标模型。评定指标包含：饲料相对值(Relative Feed Value, RFV)和品质分级指数(grading index, GI)等。

3. 扫描样品预处理方式

玉米青贮饲料不同于大豆粕等饲料原料，具有水分含量高、粒度不均一等显著特征。近红外漫反射分析检测器所检测到的信号是分析光与样品间经过多次反射、折射、衍射和吸收后返回样品表面的光信号，它负载了样品的结构和组成信息。光与样品作用时，在反射、折射和衍射等方面的差异都会影响漫反射系数，而这些差异又源于样品的粒径大小、分布以及外观形态等方面的差异，所以待测样品的粒径

大小、均匀度以及外观形态对光的漫反射强度有很大的影响[23]。因而应用 NIR 技术分析玉米青贮饲料的难点在于扫描样品的预处理方式。

NIR 已经广泛应用于干燥粉碎青贮饲料化学成分的测定, 然而进行干燥和粉碎的样品前处理过程仍然费时费力, 并且干燥过程可能会导致青贮饲料中富含的一些挥发性成分如挥发性脂肪酸和乙醇等损失, 从而影响测定结果。因此研究者们提出直接用新鲜的青贮饲料进行 NIRS 或 NITS 分析。这种方法方便快捷, 既节省了样品前处理的时间[20], 又可以避免干燥时的一部分成分损失[24], 而且可以随时随地进行成分检测, 但研究表明新鲜样品的测定精度相对低于干燥粉碎样品的测定精度[14] [25] [26]。

3.1. 烘干方式

用于 NIRS 测定的样品粉碎前需进行干燥处理, 不适宜的干燥过程会导致青贮饲料的一部分挥发性物质损失, 从而影响 NIRS 测定的准确性。Sorensen [14]比较了干燥前后(80°C, 16 h)青贮饲料发酵产物的变化, 结果发现对乳酸和 pH 的影响很小, 对乙酸和氨态氮含量的影响较大, 其中青贮玉米中乙酸的干燥损失大于青贮牧草, 而青贮牧草中氨态氮含量的干燥损失要大于青贮玉米。Deinum 等[24]研究得出当烘箱干燥温度为 65°C~70°C 时, 这个损失会降到最低。Jones [27]提出采取冷冻干燥法可以避免干燥过程中青贮饲料的部分损失。但 Snyman 等[13]采用 NaOH 和 H₂SO₄ 对样品进行化学处理防止发酵产物的挥发, 经微波干燥、粉碎后利用 NIRS 测定其发酵产物(乳酸、总挥发性脂肪酸、乙酸、丙酸和氨态氮), 取得了较好的测定效果。Kjos [28]在利用 NIRS 测定青贮牧草时, 综合比较了烘箱干燥(50°C, 48 h)、(60°C, 24 h)、(60°C, 48 h)、(70°C, 24 h)、(80°C, 24 h)和冷冻干燥 6 种干燥方式的测定结果, 结果显示, 50°C~70°C 干燥样品的测定效果之间没有显著差异, 冷冻干燥样品的 CP 和可消化蛋白测定精度最高, 而 80°C 干燥样品的测定效果始终最差。Alomar 等[29]对烘箱干燥(65°C, 48 h)和冷冻干燥后青贮牧草的 NIRS 光谱进行差谱研究, 发现干燥处理明显影响其光谱的吸收, 表明冷冻干燥可以防止青贮样品中的一些挥发性物质的损失, 但这种干燥方法费用相对偏高。Alomar 等[29]建议近红外光谱待测样品的预处理方法最好和常规化学分析样品的处理保持一致。青贮饲料常规化学分析时样品的干燥方法为烘箱干燥(65°C~70°C) [30]。因此, 不少研究如 Barber 等[17]、De Boever 等[6]在利用 NIRS 分析青贮饲料品质时均采用了烘箱(65°C, 48 h)的干燥方式, 并取得了较好的测定效果。

3.2. 粉碎方式与粒度

烘干样品: 利用近红外漫反射光谱技术时, 为获得较准确的测定结果, 通常对样品进行粉碎处理。Norris 等[1]的研究表明, 粉碎粒度越小 NIRS 对样品的测定精度越高。Kjos [28]分别研究了 0.75 mm、0.80 mm 和 1.00 mm 三个粉碎粒度对新鲜牧草、青贮牧草和干草的 NIRS 测定效果的影响, 结果显示三个粒度样品的测定效果之间没有显著差异, 同时提出当用同一类型的粉碎机时, 不同粉碎粒度样品的测定效果之间没有显著差异, 但用不同类型的粉碎机粉碎则显著影响样品的测定结果。因此, 利用 NIRS 进行分析时, 待测青贮饲料样品前处理的粉碎机类型和粉碎粒度应保持一致。目前多采用旋风磨过 1.00 mm 筛进行 NIRS 的样品前处理。

未烘干样品: 由于新鲜青贮饲料的样品状态很不均匀, 而样品粒度又是引起光散射的重要因素[27], 因此, 可采用多次不同点的扫描和二次取样来补偿样品的不均匀性。而一些研究者则采用新鲜样品在干冰或液氮保护下冷冻粉碎的方法, 如 Reeves III 等[31]和 Park 等[32]分别利用 NIRS 对干冰和液氮保护下粉碎的青贮饲料进行分析, 发现可以很好地测定其化学成分和发酵产物的含量; Gordon [33]利用 NIRS 测定了新鲜青贮牧草的有机物消化率, 样品的前处理分别为无粉碎处理、液氮保护下粗粉碎和液氮保护下精细粉碎, 结果发现精细粉碎青贮饲料样品的测定效果最好。Alomar 等[29]年采用在液氮和干冰保护

下粉碎,研究了 NIRS 对新鲜青贮饲料化学成分含量的测定效果,发现两种处理方式之间无明显差异。Reeves III 等[25]的研究发现,青贮饲料在液氮或干冰保护下粉碎和常温状态下粉碎对 NIRS 测定精度的影响并不大,在常温下用 Wiley 型粉碎机对新鲜青贮饲料进行粉碎后的测定效果较好,并且不进行任何处理的新鲜青贮饲料样品也可以很好地进行 CP 含量的测定。

4. 总结

NIR 在玉米青贮饲料检测领域的应用推广前景极其诱人。该技术融合了计算机技术、化学计量学、光谱学和光电硬件技术等多种技术,为了更好发挥其自身优势,应该重点关注一下几个方面:1) 样品代表性:我国玉米青贮饲料受地域影响大,具有来源广、种类多的显著特点。一是,玉米生产分布广泛,2017 年种植面积约为 15,445.2 千公顷,分布在东北经黄淮海向西南延伸的广阔地区,包括北方春玉米区、黄淮海夏玉米区及西南山玉米区,且随着粮改饲工作的推进,用于青贮的玉米种植面积将进一步增加;二是,我国玉米品种多,2017 年国审数量即超过 87 个。此外,以裹包青贮为代表的新的青贮工艺的发展,也对定标模型的样品代表性提出了更多的要求。2) 模型传递性:近红外光谱分析仪器包括滤光片型、傅里叶变换型、声光可调滤光型等 3 种类型,且在线式、便携式等新型仪器已经被应用于实际检测。模型传递可避免模型重建带来的大量人力物力的重复耗费,修正或对不同条件获取的样品光谱信号进行校正等,以消除或减小不同测定条件引起的分析结果差异。刘贤等[34]研究了基于正交信号校正的秸秆青贮饲料粗蛋白近红外分析模型传递方法。但相关研究报道仍然不足。

参考文献

- [1] Norris, K.H., Barnes, R.F., Moore, J.E. and Shenk, J.S. (1976) Predicting Forage Quality by Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of Animal Science*, **43**, 889-897. <https://doi.org/10.2527/jas1976.434889x>
- [2] Moe, A.J. and Carr, S.B. (1985) Laboratory Assays and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Estimates of Feeding Value of Corn Silage. *Journal of Dairy Science*, **68**, 2220-2226. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81094-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81094-8)
- [3] Valdes, E.V., Hunter, R.B. and Pinter, L. (1987) Determination of Quality Parameters by Near Infrared Reflectance Spectroscopy in Whole-Plant Corn Silage. *Canadian Journal of Plant Science*, **67**, 747-754. <https://doi.org/10.4141/cjps87-102>
- [4] Fontaneli, R.S., Durr, J.W., Scheffer-Basso, S.M., Haubert, F. and Bortolini, F. (2002) Validation of the Near Infrared Reflectance Method for the Analysis of Corn Silage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **31**, 594-598. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000300008>
- [5] 刘贤, 韩鲁佳. 近红外漫反射光谱法快速测定秸秆青贮饲料成分含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 26(11): 2016-2020.
- [6] De Boever, J.L., Cottyn, B.G., De Brabander, D.L., Vanacker, J.M. and Boucqué, C.V. (1997) Prediction of the Feeding Value of Maize Silages by Chemical Parameters, *in Vitro* Digestibility and Nirs. *Animal Feed Science and Technology*, **66**, 211-222. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01101-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01101-7)
- [7] Liu, X. and Han, L. (2006) Prediction of Chemical Parameters in Maize Silage by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **14**, 333-339. <https://doi.org/10.1255/jnirs.685>
- [8] 白琪林, 戴景瑞, 陈绍江, 严衍禄, 朱雨杰. 近红外漫反射光谱法测定青贮玉米品质性状的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1346-1351.
- [9] Cozzolino, D., Fassio, A., Fernández, E., Restaino, E. and La Manna, A. (2006) Measurement of Chemical Composition in Wet Whole Maize Silage by Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, **129**, 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.025>
- [10] 谢群. 玉米秸秆青贮料发酵特性及近红外光谱检测的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [11] 刘强, 孟庆翔, 白琪林, 陈绍江. 利用近红外光谱法快速测定青贮玉米饲料中 NDF 与 ADF 含量[J]. 中国畜牧杂志, 2005, 41(11): 39-41.
- [12] Lou Swift, M. (2003) Prediction of Dry Matter, Crude Protein Degradability, and Amino Acid Composition of Corn

Silage and Grass Silage by Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS). The University of British Columbia.

- [13] Snyman, L.D. and Joubert, H.W. (1992) Near-Infrared Reflectance Analysis of the Fermentation Characteristics of Silage Prepared by Chemical Treatment to Prevent Volatilization of Fermentation End-Products. *Animal Feed Science and Technology*, **37**, 47-58. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90119-Q](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90119-Q)
- [14] Sørensen, L.K. (2004) Prediction of Fermentation Parameters in Grass and Corn Silage by Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, **87**, 3826-3835. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73522-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73522-5)
- [15] 穆怀彬, 侯向阳. 用近红外光谱法快速分析玉米青贮饲料青贮发酵品质[J]. 红外, 2011, 32(10): 35-39.
- [16] 刘贤, 韩鲁佳, 杨增玲, 李琼飞. 近红外光谱快速分析青贮饲料 pH 值和发酵产物[J]. 分析化学, 2007, 35(9): 1285-1289.
- [17] Barber, G.D., Givens, D.I., Kridis, M.S., Offer, N.W. and Murray, I. (1990) Prediction of the Organic Matter Digestibility of Grass Silage. *Animal Feed Science and Technology*, **28**, 115-128. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(90\)90074-1](https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90074-1)
- [18] Van Waes, J., Carlier, L., Van Waes, C. and Van Bockstaele, E. (1997) Evaluation of Quality Characteristics in Official Trials with Silage Maize Varieties in Belgium. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **45**, 277-289.
- [19] De Boever, J.L., Vanacker, J.M. and De Brabander, D.L. (2002) Rumen Degradation Characteristics of Nutrients in Maize Silages and Evaluation of Laboratory Measurements and NIRS as Predictors. *Animal Feed Science and Technology*, **101**, 73-86. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00145-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00145-1)
- [20] De La Roza, B., Martínez, A., Santos, B., González, J. and Gómez, G. (1998) The Estimation of Crude Protein and Dry Matter Degradability of Maize and Grass Silages by Near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, **6**, 145-151. <https://doi.org/10.1255/jnirs.131>
- [21] Lovett, D.K., Deaville, E.R., Mould, F., Givens, D.I. and Owen, E. (2004) Using near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to Predict the Biological Parameters of Maize Silage. *Animal Feed Science and Technology*, **115**, 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.02.007>
- [22] 穆怀彬. 近红外光谱技术在玉米营养品质和青贮玉米品质评定中的研究[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [23] 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 第二版, 北京: 中国石化出版社, 2011.
- [24] Deinum, B. and Maassen, A. (1994) Effects of Drying Temperature on Chemical Composition and *in Vitro* Digestibility of Forages. *Animal Feed Science and Technology*, **46**, 75-86. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90066-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90066-3)
- [25] Reeves, J.B. and Blosser, T.H. (1991) Near Infrared Spectroscopic Analysis of Undried Silages as Influenced by Sample Grind, Presentation Method, and Spectral Region. *Journal of Dairy Science*, **74**, 882-895. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78237-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78237-4)
- [26] Kjos, N. (1991) Evaluation of the Feeding Value of Fresh Forages, Silage and Hay Using near Infrared Reflectance Analysis (NIR). III Effects of Sample Preparation, Maturity Stage and Species. *Net Journal of Agricultural Science*, **5**, 61-78.
- [27] Hodgson, L.J.D., Baker, R.D., Davies, A. and Laidlaw, A.S. (1981) Sward Measurement Handbook. British Grassland Society, Hurley.
- [28] Kjos, N. (1990) Evaluation of the Feeding Value of Fresh Forages, Silage and Hay Using near Infrared Reflectance Analysis (NIR). II. Effects of Drying Procedure, Type of Mill and Particle Size. *Net Journal of Agricultural Science*, **4**, 321-330.
- [29] Alomar, D., Montero, R. and Fuchslocher, R. (1999) Effect of Freezing and Grinding Method on Near-Infrared Reflectance (NIR) Spectra Variation and Chemical Composition of Fresh Silage. *Animal Feed Science and Technology*, **78**, 57-63. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00268-5)
- [30] Van Soest, P.J. (1994) Nutritional Ecology of the Ruminants.
- [31] Reeves, J.B., Blosser, T.H. and Colenbrander, V.F. (1989) Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Analyzing Undried Silage. *Journal of Dairy Science*, **72**, 79-88. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79082-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79082-2)
- [32] Park, H.S., Lee, J.K., Fike, J.H., Kim, D.A., Ko, M.S. and Ha, J.K. (2005) Effect of Sample Preparation on Prediction of Fermentation Quality of Maize Silages by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, **18**, 643-648.
- [33] Gordon, F.J., Cooper, K.M., Park, R.S. and Steen, R.W.J. (1998) The Prediction of Intake Potential and Organic Matter Digestibility of Grass Silages by Near Infrared Spectroscopy Analysis of Undried Samples. *Animal Feed Science and Technology*, **70**, 339-351. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00087-4)
- [34] 刘贤, 董苏晓, 韩鲁佳, 杨增玲, 徐春城. 青贮饲料近红外光谱分析模型转移研究[J]. 农业机械学报, 2009, 40(5): 153-157.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2164-5507，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjas@hanspub.org