东北地区使用近红外分析仪检测发酵玉米青贮营养成分的应用实例

刘彩娟，张永久，任　亮，王永信

原生态牧业有限公司，黑龙江齐齐哈尔 161000

摘　要：[目的]玉米青贮是东北地区奶牛场年需求量较大的青贮饲料，快速、准确地评估其营养指标，可为精准饲养配方的制定提供有力数据支持。[方法] 本研究选取120 份玉米青贮样品作为定标集，30 份作为验证集。在前期已建立的不同样品状态（湿基、烘干粉碎）发酵玉米青贮干物质（DM）、淀粉预测模型基础上，进一步维护数据库，同时建立不同样品状态下发酵玉米青贮粗蛋白（CP）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）的近红外预测模型，用于东北地区奶牛场日常发酵玉米青贮的营养检测。[结果]（1）所建立的不同样品状态发酵玉米青贮CP、NDF、ADF预测模型均能实现对发酵玉米青贮的营养预测，其中CP的实际预测效果优于其他营养指标；（2）烘干粉碎后的发酵玉米青贮营养成分预测模型，其实际预测效果优于湿基发酵玉米青贮预测模型；湿基发酵玉米青贮NDF预测模型需进一步收集数据并优化。[结论]本研究建立的发酵玉米青贮CP、NDF、ADF近红外预测模型，可应用于东北地区奶牛场日常发酵玉米青贮的实际预测生产实践，且烘干粉碎样品的预测模型效果更优。

关键词：东北地区；奶牛场；发酵玉米青贮；近红外分析仪；营养成分；应用实例

文章编号：1671–4393（2025）10–0057–05　　DOI:10.12377/1671–4393.25.10.09

0 引言

玉米青贮是反刍动物重要的粗饲料来源[1]，也是东北地区奶牛场年需求量较大的粗饲料。玉米青贮的质量优劣，直接影响奶牛场的经济效益、奶牛生产性能及健康状况。而玉米青贮的精准利用，取决于日粮配方搭配的精准性，其搭配依据又以玉米青贮的营养物质含量为核心。因此，如何快速准确地评定玉米青贮营养成分、建立符合东北奶牛场地方特色的营养数据库、制定精准日粮配方，已成为亟待解决的问题。

近红外光谱分析技术通过直接测定样品中含氢基团（包括–OH、S–H、O–H、N–H等化学键），间接反映物质含量，可实现饲料营养成分的快速测定，但该技术的准确性仍需进一步提升[2, 3]。近年

基金项目：现代农业（奶牛）产业技术体系建设专项资金资助项目（CARS–36）

作者简介：刘彩娟（1986–），女，内蒙古通辽人，硕士，高级畜牧师，研究方向为动物营养与饲料科学；
张永久（1973–），男，黑龙江哈尔滨人，本科，高级经济师，研究方向为数字化农牧业关键技术及装备；
任　亮（1984–），男，山东临沂人，博士，中级兽医师，研究方向为动物遗传育种及信息管理；
王永信（1977–），男，吉林白城人，本科，中级兽医师，研究方向为动物医学。

中国乳业编辑阅读

来，随着科学技术的进步，近红外光谱技术在玉米青贮快速评定中的应用逐渐受到专家学者的重视。王新基等[4]研究发现，利用近红外光谱分析技术快速检测全株玉米青贮中干物质、粗蛋白质、粗灰分、酸性洗涤纤维含量的准确度较高，可应用于实际生产；刘娜等[5]指出，近红外分析技术对全株玉米原料常规营养成分、康奈尔净碳水化合物-蛋白质体系中蛋白质组成及CHO组成均具有较好的预测能力，且精确度较高；此外，近红外分析技术因快速、无损的检测特点，在玉米安全品质检测中也具有广泛应用[6]。

本研究通过收集东北地区不同奶牛场的发酵玉米青贮样品，采用湿化学方法检测样品性质数据，同时采集对应样品的近红外光谱，通过化学计量学方法将样品性质数据与光谱数据关联，构建发酵玉米青贮样品营养成分的近红外预测模型，探讨近红外光谱技术快速检测发酵玉米青贮营养指标的可行性，以期实现对发酵玉米青贮质量的高效、准确评定，为奶牛精准日粮的制定提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验仪器

FW-100高速万能粉碎机，天津泰斯特仪器有限公司；DHG-9245A电热鼓风干燥箱，上海一恒科学仪器有限公司；IP-digi300/2+全自动旋光仪，上海仪迈仪器科技有限公司；近红外光谱分析仪（PerkinElmer 9700），波长范围700～2 500 nm，光谱分辨率0.2 nm，珀金埃尔默公司。

1.2 样品采集

收集东北地区不同奶牛场的120 份发酵玉米青贮样品，在青贮窖上、中、下不同位置采用手抓式随机采样，总采样点数不少于30 个，每份样品质量约1 kg。采集后的样品密封冷藏送至实验室，采用“四分法”混合均匀后均分为两份：一份作为留存样品（冷冻保存），另一份用于湿化学分析及近红外光谱扫描。

1.3 烘干粉碎样品的制备

将发酵玉米青贮样品置于电热鼓风干燥箱中烘干，随后在外界环境下回潮24 h，用高速万能粉碎机粉碎并混合均匀（粉碎细度40 目），装入自封袋中，备用（用于湿化学分析及近红外光谱扫描）。

1.4 样品湿化学检测

参照以下国家标准或行业标准进行样品营养成分检测。水分：《GB/T 6435—2014 饲料中水分的测定》，干物质（%）=100%-水分（%）；淀粉：《GB/T 20194—2018 动物饲料中淀粉含量的测定 旋光法》；粗蛋白（CP）：《GB/T 6432—2018 饲料中粗蛋白的测定》；中性洗涤纤维（NDF）：《GB/T 20806—2022 饲料中中性洗涤纤维的测定》；酸性洗涤纤维（ADF）：《NY/T 1459—2022 饲料中酸性洗涤纤维的测定》。

1.5 近红外光谱分析操作

近红外光谱分析仪使用前需预热15～30 min，待设备完成自检并测试正常后投入使用。分析样品时，操作步骤如下。

1.5.1 湿基样品扫描

将回温至室温的发酵玉米青贮湿基样品装入仪器匹配的样品杯，配合样品杯盖轻轻按压填实（避免空隙），放入仪器中扫描；当仪器提示“继续”时，更换样品并重复上述操作。设定扫描次数为4 次（每次扫描使用1 份样品，共4 份样品），仪器自动计算平均光谱作为该样品的原始光谱。需注意：扫描前需剔除大颗粒样品（避免覆盖杯底影响扫描结果），清洁样品杯底部、杯壁四周及扫描窗口；扫描结束后，倒出样品，先用湿布擦拭样品杯内残渣，再用干布擦干残留水分；若样品台有残留样品，可用干布或软毛刷清扫。

1.5.2 烘干粉碎样品扫描

烘干粉碎后的样品装入样品杯的量不超过杯容积的2/3，用取样勺沿样品杯杯底垂直方向轻轻按压

中国乳业线上阅读

（不可来回翻动），每个干样仅需装样1 次，后续扫描步骤同湿基样品。

1.6 数据处理与分析

采用Excel 2019软件对试验数据进行整理与初步分析。

2 结果与分析

2.1 发酵玉米青贮湿化学检测结果

发酵玉米青贮干物质（DM）、淀粉、粗蛋白（CP）、中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）的湿化学检测结果（波动范围、均值、标准差、变异系数）见表1。由表1可知，所收集样品的营养成分含量基本涵盖了发酵玉米青贮的常见含量范围，样品代表性良好，满足近红外预测模型建立的需求。

不同奶牛场的新鲜玉米青贮质量存在差异，且制作过程中可能出现质量分层，导致最终发酵玉米青贮质量不同。优质玉米青贮的NDF理想含量应小于55%[7, 8]，本研究中NDF含量范围为31.19%～49.54%，符合优质标准。因此，实时评估玉米青贮质量，对制定奶牛全混合日粮精准配方具有重要意义。

2.2 湿基发酵玉米青贮营养成分近红外预测结果（均方根误差对比）

近红外分析仪对湿基发酵玉米青贮样品各营养指标的预测均方根误差结果如图1所示。由图1可知，近红外分析仪可实现对湿基发酵玉米青贮营养指标的预测，其中CP指标的预测效果最优（均方根误差最小），NDF预测效果相对较差，但整体仍能满足日常发酵玉米青贮快速评定的需求。

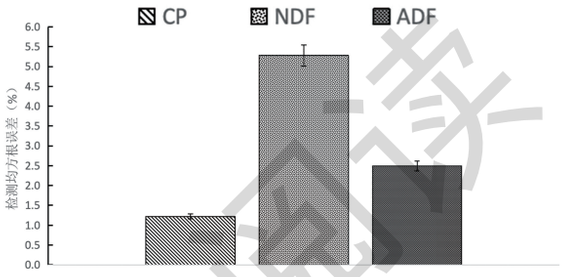


图 1 近红外分析仪预测湿基发酵玉米青贮营养成分的均方根误差对比

2.3 烘干粉碎后发酵玉米青贮营养成分近红外预测结果（均方根误差对比）

近红外分析仪对烘干粉碎后发酵玉米青贮样品各营养指标的预测均方根误差结果如图2所示。由图

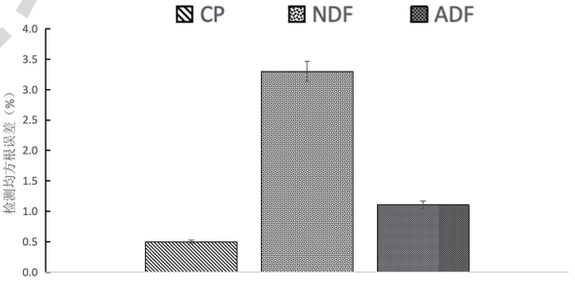


图 2 近红外分析仪预测烘干粉碎后发酵玉米青贮营养成分的均方根误差对比

表 1 发酵玉米青贮湿化学方法检测结果　　单位：%

样品类别	成分	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
定标集	DM	26.14	40.53	32.47	2.48	7.64
	淀粉	19.74	35.57	30.26	3.54	11.69
	CP	4.53	9.57	7.43	1.00	13.48
	NDF	31.19	49.54	39.49	4.15	10.52
	ADF	17.08	33.91	23.46	3.71	15.80
验证集	DM	25.00	34.34	30.92	2.36	7.63
	淀粉	22.62	35.61	29.87	3.40	11.36
	CP	4.53	8.70	7.23	0.83	11.50
	NDF	33.09	48.23	38.78	4.03	10.39
	ADF	17.20	26.25	21.51	2.01	9.33

中国乳业线上阅读

2可知，烘干粉碎后的发酵玉米青贮营养成分预测模型，有效降低了检测误差，预测结果更接近湿化学检测结果，检测准确度较高。对比图1与图2数据可发现，烘干粉碎样品的预测模型稳定性均优于湿基样品预测模型。

3 讨论

准确评定玉米青贮质量、高效利用玉米青贮优化粗饲料配方结构，是东北规模化奶牛场实现降本增效、健康养殖、提高单产的重要基础[9]。近红外光谱分析技术具有便捷、快速的优势，可同时检测多个营养指标，在饲料检测领域的应用已有较多报道：曹明月等[10]研究发现，近红外光谱分析技术可用于玉米青贮中CP、水分、淀粉、NDF、ADF含量的定量检测，且CP与水分的定标模型预测精度较高，这与本研究结论基本一致；陈菲等[11]指出，对青贮样品进行烘干、粉碎处理后，所建立的近红外预测模型准确度更高，本研究中“烘干粉碎样品预测效果优于湿基样品”的结果也印证了这一观点；刘强等[12]提出，利用近红外光谱法预测烘干粉碎后青贮玉米的NDF与ADF含量，其精度接近或达到化学分析要求，可在实际生产中替代常规分析法，本研究结果同样支持该结论。

需注意的是，淀粉结构复杂，尽管研究者不断优化淀粉预测模型，但受样品均一性影响，湿基淀粉预测模型的准确度仍低于烘干粉碎样品模型；此外，本研究中湿基发酵玉米青贮NDF预测模型的效果有待提升，后续需进一步收集不同来源、不同品质的湿基样品数据，优化模型参数以提高预测精度。

从实际应用角度来看，湿基发酵玉米青贮预测模型可直接用于样品检测，省去样品前处理环节，能够更快出具预测结果，适合对检测效率要求较高的场景；若需获得更精准的检测结果，则建议采用烘干粉碎样品的预测模型。东北地区奶牛场可根据实际需求，灵活选择适配的预测模型。

4 结论

本研究建立的发酵玉米青贮CP、NDF、ADF近红外预测模型，可有效预测湿基及烘干粉碎后玉米青贮样品的营养成分，适用于东北地区奶牛场日常发酵玉米青贮的实际检测生产实践，为奶牛精准全混合日粮配方的制定提供实时数据支持。

近红外光谱分析技术缩短了检测结果出具时间，避免了人员主观因素对青贮质量评定的影响。未来，近红外光谱技术在饲料质量系统性评价中的应用潜力仍需进一步挖掘，例如拓展至其他粗饲料（如苜蓿青贮、燕麦青贮）的营养检测，或结合机器学习算法进一步提升模型预测精度。

参考文献

[1] 唐德富，陈志刚，李飞，等.青贮玉米不同部位（组织）养分含量近红外预测模型的构建[J].草业科学，2021（9）：1753–1761.

[2] 王爽. 应用近红外反射光谱技术对中国牧场常用粗饲料的品质分析[D].长春：吉林农业大学，2018.

[3] 姚斌，马继阳，张勇，等. 近红外法与传统法对饲料中营养成分测定的对比分析[J].畜牧与饲料科学，2015，36（12）：29–33.

[4] 王新基，郭涛，潘发明，等.利用近红外光谱技术快速分析全株玉米青贮营养成分[J].家畜生态学报，2021，42（1）：52–55.

[5] 刘娜，屠焰，刁其玉，等.基于近红外光谱的北京市全株玉米原料康奈尔净碳水化合物–蛋白质体系组分分析与预测[J].动物营养学报，2019，31（5）：2287–2295.

[6] 常莉，翟晨，钱承敬，等.近红外光谱分析技术在玉米品质检测中的应用研究进展[J].中国畜牧杂志，2024，60（1）：101–107.

[7] 熊伟. 浅谈青贮饲料的制作要点及应用优势[J].湖南饲料，2023（4）：32–34.

[8] 李景玉，孙萍萍，李达，等.全株玉米青贮饲料品质与饲用价值研究[J].农业与技术，2024，44（6）：97–101.

[9] 刘彩娟，张永久，任亮，等.东北奶牛场使用近红外光谱分析仪检测玉米青贮的应用实例[J].中国乳业，2024（12）：42–45.

[10] 曹明月，李贤，黄好强，等.近红外光谱检测青贮饲料的营养成分[J].现代牧业，2020，4（1）：42–45.

[11] 陈菲，李小梅，倪奎奎，等.近红外光谱技术在青贮饲料品质检测中的研究进展[J].中国饲料，2021，23：78–83.

[12] 刘强，孟庆翔，白琪林，等.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（11）：42–44.

中国乳业线上阅读

Application of Near-infrared Analyzers in Detecting Nutritional Components of Fermented Corn Silage in Northeast China

LIU Caijuan，ZHANG Yongjiu，REN Liang，WANG Yongxin
Original Ecology Animal Husbandry Co.，Ltd.，Qiqihar Heilongjiang 161000

Abstract：[Objective] Corn silage is a silage with high annual demand in dairy farms in Northeast China. Rapid and accurate evaluation of its nutritional indexes provides strong data support for the formulation of precise feeding formulas. [Method] In this study，120 corn silage samples were selected as the calibration set，and 30 as the validation set. Based on the previously established prediction models for dry matter（DM）and starch of fermented corn silage in different sample states（wet base， dried and crushed），the database was further maintained. Meanwhile，near-infrared prediction models for crude protein（CP），neutral detergent fiber（NDF），and acid detergent fiber（ADF）of fermented corn silage in different sample states were established for the daily nutritional detection of fermented corn silage in dairy farms in Northeast China. [Result]（1）The established prediction models for CP，NDF，and ADF of fermented corn silage in different sample states could all predict the nutrition of fermented corn silage，and the actual prediction effect of CP was better than that of other nutritional indexes.（2）The prediction model for nutritional components of fermented corn silage after drying and crushing had better actual prediction effect than that of wet-based fermented corn silage.The NDF prediction model for wet-based fermented corn silage needed further data collection and optimization. [Conclusion] The near-infrared prediction models for CP，NDF，and ADF of fermented corn silage established in this study can be applied to the practical prediction of daily fermented corn silage in dairy farms in Northeast China，and the prediction model for dried and crushed samples is more effective.

Keywords：Northeast China；dairy farms；fermented corn silage；Near-Infrared Analyzer；nutritional components；application examples

▲上接56页

Xinji Animal Husbandry and Veterinary Station，Yinan Shandong 276300

Abstract：Aflatoxins（AF）are secondary metabolites produced by fungi such as Aspergillus flavus and Aspergillus parasiticus. Under favorable conditions，they can contaminate food and animal feed，posing health risks to both humans and animals. Dairy cows exposed to aflatoxin B_1（AFB_1）excrete its metabolite aflatoxin M_1（AFM_1）into milk，compromising milk safety. This review systematically summarized the effects of AF on dairy cow production performance，rumen fermentation，and reproductive function，and outlines recent advances in the physical，chemical，and biological methods for aflatoxin degradation. The aim is to provide a theoretical basis for preventing and controlling the risks of AF in dairy production.

Keywords：aflatoxin（AF）；cow；production performance；reproduction；degradation

中国乳业线上阅读