

不可消化中性洗涤纤维在反刍动物生产中的应用及研究进展

牟怡晓 林语梵 张桂杰*

(宁夏大学动物科学系,银川 750021)

摘要: 饲草中性洗涤纤维(NDF)能够为反刍动物提供能量,适当的 NDF 含量有利于提高动物生产性能。根据 NDF 可消化程度将其分为潜在可消化中性洗涤纤维(pdNDF)和不可消化中性洗涤纤维(iNDF)。iNDF 可用于估测反刍动物采食量及能量摄入,还可以作为预测有机物消化率的重要指标。本文总结了 iNDF 定义、测定方法及其对反刍动物生产调控的作用,并对近红外光谱法预测饲草中 iNDF 含量进行了展望,以期为 iNDF 在反刍动物生产中的应用提供借鉴和参考。

关键词: 不可消化中性洗涤纤维;中性洗涤纤维消化率;反刍动物;近红外光谱法

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)11-5069-06

苜蓿和羊草等牧草的中性洗涤纤维(neutral detergent fibre, NDF)是粗饲料的主要营养成分,能够促进反刍动物唾液分泌,调控瘤胃微生物发酵,通过影响有机物消化率和总摄入量,且作为代谢能量的重要来源,极大地影响动物生产性能^[1-2]。动物营养学家在利用温带牧草和青贮玉米时,通常假设可消化 NDF 含量较少,配制饲料时仅限定 NDF 含量,不考虑反刍动物对 NDF 消化程度的影响,但热带碳四(C4)饲草 NDF 在反刍动物瘤胃中降解率变异较大,假设则不成立^[3]。NDF 消化率与 NDF 的潜在可消化部分(potentially digestible NDF, pdNDF)直接相关,潜在可消化性被定义为饲草在长时间发酵后 NDF 中消失的那一部分,留下的是不可消化中性洗涤纤维(indigestible NDF, iNDF)。传统的营养研究主要集中在 NDF 消化率参数测定以及 NDF 和酸性洗涤纤维(acid detergent fibre, ADF)瘤胃降解动力学方面,然而,最近的研究建议将 iNDF 估计值作为影响瘤胃中纤维降解率的重要纤维性状,并最终确定瘤胃中纤维

消化率^[4],是瘤胃消化负荷和饲料摄入量的重要驱动因素。难以消化的饲料在瘤胃中积聚会导致反刍动物采食量降低,能量摄入减少,其生长性能下降。由于 iNDF 影响纤维在反刍动物瘤胃中的滞留、消化和代谢功能,因此可以用来有效地估计有机物消化速率和范围,在饲料可消化性和反刍动物饲料采食量的调节中起重要作用^[5]。限定 NDF 含量的同时降低 iNDF 含量能够促进瘤胃食糜填充和饲料摄入,提高反刍动物生长性能。国外对 iNDF 含量测定方法、不同来源饲草中 iNDF 含量及 iNDF 对反刍动物的调控作用研究报道较多,并已应用于估测反刍动物营养需求与生长需要。目前国内对于 iNDF 研究相对滞后,因此本文主要综述了 iNDF 定义、测定方法及其对反刍动物生产调控的作用,并对近红外光谱法预测饲草中 iNDF 含量进行了展望。

1 iNDF 含义

NDF 是构成细胞壁的主要成分,包括木质素、

收稿日期:2020-04-10

基金项目:国家自然科学基金项目(31660694);宁夏高等学校一流学科建设(草学学科)资助项目(NXYLXK2017A01)

作者简介:牟怡晓(1997—),女,山东日照人,硕士研究生,研究方向为饲草料加工利用。E-mail: MYX15621358579@163.com

* 通信作者:张桂杰,教授,博士生导师, E-mail: Guijiezhang@126.com

纤维素、半纤维素、少量蛋白质和果胶^[6], NDF 约占饲草干物质的 30%~80%。不同种类饲草植物细胞壁构成不同^[7], 导致 NDF 在瘤胃中消化程度不同; 同一植株在不同生育时期可消化 NDF 含量不同, 植物器官和部位也影响着 NDF 可消化性^[7-8]。根据反刍动物对植物细胞中 NDF 消化能力可将其划分为 pdNDF 和 iNDF, pdNDF 经瘤胃长时间消化后完全降解, 剩余部分即使 NDF 在瘤胃中停留时间无限延长, 仍无法被微生物发酵消化, 为 iNDF (iNDF = NDF - pdNDF)^[9-10]。木质素主要存在细胞次生壁中且不易被消化, 半纤维素是由单糖构成的异质多聚体, 木质素和半纤维素交联是 iNDF 难以消化的原因^[11]。iNDF 描述了细胞壁的固有属性, 且因其消化率为零, 是一个理想的营养实体, 成为营养模型中不可或缺的一部分, 并能够用作内部标记^[11]。由于消化率不能无限延长, 真正的 iNDF 是不能测量的, 因此, 它是发酵过程中特定时间点的未消化 NDF (undigested NDF, uNDF) 的近似值, uNDF 可判定 NDF 消化速率与 iNDF 含量^[12]。饲粮中 iNDF 含量与 NDF 消化率之间存在一定的相关性。Salinas-Chavira 等^[13] 研究比较了苏丹草和苜蓿 NDF 可消化情况, NDF 含量在 80 g/kg 时消化率大于 40 g/kg, NDF 消化率受到饲草种类和 NDF 含量共同影响, 可消化 NDF 含量越高, iNDF 含量越低, 饲草提供的能量越多, 动物生长性能表现与 NDF 消化率呈正相关。北欧国家已经建立了新的反刍动物饲料评价系统, 其中影响干物质消化率的最重要因素是 iNDF。在反刍动物饲喂评估系统中, iNDF 是决定饲粮净能 (net energy, NE) 的重要参数^[7], 康奈尔净碳水化合物与蛋白质体系 (Cornell net carbohydrate and protein system, CNCPS)^[14] 和北欧饲喂评估系统 (Nordic feed evaluation system, NorFor)^[15] 都将 iNDF 作为重要的测量值, 以调控反刍动物采食量和净能。iNDF 是可预测饲粮消化率的均匀饲粮组分, 应将 iNDF 的测定纳入常规饲料分析中。

2 iNDF 的测定方法

Mertens^[16] 和 Chandler 等^[17] 最早指出饲草中 iNDF 与木质素含量比值为 2.4, 并提出将木质素含量的 2.4 倍作为 iNDF 含量以快速获得其含量, 应用于营养模型中。但越来越多的研究结论指出这一结果对 C4 植物并不适用, 不能作为推测 iNDF

含量的方法^[9,12,18], 在测定 iNDF 含量时需要考虑迟滞期带来的影响。iNDF 估计的准确性和精确度取决于所采用的评估方法。目前, 对于评估饲草 iNDF 含量的方法主要有原位法和体外法^[9]。原位法是将内有培养样本的尼龙袋置于反刍动物瘤胃中 240~288 h, 使饲草降解, 通过长期发酵回收未消化的 NDF 以估计 iNDF 含量, 该方法在实际中可将 NDF 分离为 iNDF 和 pdNDF 并进行有效预测, 但由于缺乏标准化程序, 原位法的可重复性往往较差^[3]。Tilley 等^[19] 最早发现在采食量一致条件下, 绵羊的干物质体外消化率与体内消化率相关, 并在瘤胃液培养 48 h 后, 在添加胃蛋白酶条件下测定了样品残渣重量, 用以计算干物质和 NDF 体外消化率。体外法是 Van Soest 等^[20] 改进了 Tilley 测定体外 NDF 消化率的方法, 将饲粮在瘤胃液、缓冲液中培养后, 用中性洗涤剂冲洗, 将固体残留物留在瘤胃液、缓冲液中继续培养, 达到预定时间后, 对其进行干燥称重测定 iNDF 含量。瘤胃液可提供大量酶, 可以有效地消化饲粮样品, 然而, 由于瘤胃液中菌种活性的变化且不能完全回收降解产物, 造成 NDF 消化率与 iNDF 含量测定结果差异较大。可以通过应用统一的方法来减少差异, 例如将饲粮研磨长度、袋子孔隙率、开口表面积和样品重量与袋子大小比值进行标准化^[3]。

饲粮中 iNDF 含量是决定动物有机物消化率的重要因素。由于 iNDF 含量对动物生长性能的重要性, 开发标准化的原位法或体外法来估计 iNDF 含量一直是动物营养学家的主要目标^[21]。原位法在没有使用标准程序的情况下测量 iNDF 含量, 无法回收所有不能消化的物质, 且受尼龙袋孔隙度及尼龙袋中微生物群落数量影响; 体外法能够在实验室条件下进行大规模分析, 应用瘤胃液和缓冲液进行两步法测定, 但瘤胃液的来源不同会对试验造成巨大误差, 因此需要提前预饲瘤胃液供体试验动物^[10]。NDF 体外消化率测定方法并不会影响反刍动物体内 NDF 消化率, 但采用通用的测定方法对指导实际生产具有重要意义。NDF 瘤胃消化程度受时间影响较大, 一般测定瘤胃液培养 24、30 和 48 h 后的 NDF 消化率^[22], 但目前主要采用培养 240 h 后测定 iNDF 含量^[12,23], 北欧饲喂评估系统则采用原位法培养 288 h 后测定 iNDF 含量^[15]。除了不同的方法和培养时间会

影响测定的 iNDF 含量,样品研磨程度、滤袋孔径、滤袋表面积和瘤胃液的来源都会影响 iNDF 含量最终测试结果^[7]。采用统一操作流程和测定方法能够有利于确定饲草中 iNDF 含量,指导反刍动物生产实践。

3 iNDF 调控反刍动物生产

饲草 NDF 含量是调控反刍动物采食量的主要因素,是反刍动物正常瘤胃功能所必需的。提高 NDF 消化率能够促进反刍动物对瘤胃填充物的摄入,增加干物质采食量^[24]。但 NDF 含量和采食量间的关系较为复杂,并不是简单的线性关系。Salinas-Chavira^[13]和 Bender 等^[25]研究证明,基于 NDF 含量来推测反刍动物的饲草采食量和消化率仍存在一定问题,NDF 可消化范围不同,对于干物质采食量影响较大,不能够形成统一标准,不利于饲粮配制和生产利用。NDF 的特征是在反刍动物中存在微生物无法消化的部分即 iNDF,iNDF 可以准确地预测瘤胃中 pdNDF 能值和微生物蛋白质合成,可消化部分 pdNDF 决定了 NDF 的可用性,因此,饲粮消化率受到 iNDF 和 pdNDF 消化率的限制^[26]。uNDF 在瘤胃中消化时间增加会增加 iNDF 在瘤胃滞留时间,随着消化过程的进行,iNDF 在瘤胃积聚增多导致采食量降低,影响能量吸收,降低动物生长性能。

iNDF 含量能够有效地预测商业牧场反刍动物营养物质消化率和泌乳性能^[21],对于精确估计动物生产和环境影响的营养供应至关重要。Cotanch 等^[27]建议将 iNDF 含量估计值作为影响反刍动物瘤胃 NDF 消化率的重要指标,对瘤胃消化负荷有重要贡献。Raffrenato 等^[26]应用 iNDF 含量准确估计 NDF 消化率,研究表明估计 iNDF 含量可以更好地预测 CNCPS 等模型中的瘤胃参数,并在奶牛饲粮中进行更好的微调。Krizsan 等^[28]研究 iNDF 含量预测饲用玉米饲用价值的潜力,利用 iNDF 和 NDF 含量对高纬度地区不同地点和不同成熟期收获的饲用玉米杂交种的体内干物质消化率进行预测,表明可以通过 iNDF 含量校准值来预测干物质消化率,进而有效评估高纬度饲用玉米的饲用价值。De Sousa 等^[29]将 iNDF 作为内部标志物(internal markers, IM),根据其含量测定值评价不同饲粮添加水平和不同生理阶段下母羊的最佳干物质采食量和消化率。大量研究应用表明,

iNDF 含量是影响饲粮总有机物消化率的重要因素,是预测干物质采食量和消化率的良好指标^[30]。

在营养建模中理想的预测饲粮中 pdNDF 比例和消化率需要精确确定 iNDF 的含量,因此明确饲粮中 iNDF 所占比例对饲粮摄入的调节和消化具有参考作用。当饲粮中 iNDF 含量超过总干物质的 15%时,iNDF 含量和采食量之间表现出明显的负相关关系^[31]。何云等^[32]建议 iNDF 每天最大的消耗量约为代谢体重的 20 g/kg。iNDF 含量对采食量的影响在反刍动物放牧体系中尤为明显,不需降低饲粮中 NDF 含量但同时又能确保饲粮中 iNDF 含量处于低水平,可提高生长性能。为了达到要求,除了通过降低牧草和青贮饲料的 iNDF 含量改善饲草质量外,还需要对 iNDF 含量的评估进行优化,而不仅仅依赖于 NDF 含量。

4 近红外光谱法(NIRS)预测饲草 iNDF 含量的展望

传统估测 iNDF 的原位法或体外法需要较长时间的培养过程,成本较高,因此,寻求一种高效快速的测定方法来代替传统检测方法用以预测饲草 iNDF 含量是非常必要的^[33]。NIRS 被广泛地应用于测定饲草料中营养组分含量^[34],是一种快速、简便、精确的测定方法^[10]。与传统的化学检测方法相比,具有成本低、速度快和效率高等优点,可纳入饲粮配方程序并用于预测牧草和饲粮消化率。国内外已经将 NIRS 应用于饲草分析和动物营养研究领域^[35]。

NIRS 应用的主要目的是建立用于预测和确定所研究样品的营养或质量属性的模型^[36]。NIRS 是通过建立数学模型对未知样品进行定量或定性分析的一种间接分析技术^[37],是基于对已定义的参考方法的校准,以及待测样品与近红外区域不同波长的光吸收相关性,这些光吸收是通过样品材料的反射率来测量的^[38]。根据已有测定 iNDF 含量和光反射率与植物生物量中的有机化合物之间的相互作用,确定最佳拟合方程建立数据库,即可对未知饲料样品快速分析相同有机物含量。在不破坏样本的前提下,即可快速获得饲粮中 iNDF 含量,且具有利用动物饲粮和粪便样本中 iNDF 含量预测干物质消化率的能力^[39]。

NIRS 的快速性、准确性在未来预测饲草 iNDF 含量具有显著优势,相比传统 iNDF 含量测定方

法, NIRS 估测的饲草 iNDF 含量可提高反刍动物饲料评估模型的准确性和利用率^[40]。Noussiainen 等^[41]通过测定 42 个不同收获时期青贮饲草样品 iNDF 含量和 NDF 消化率首次证实了 NIRS 能够准确预测消化参数, 并指出通过改进 iNDF 拟合方程可以准确测定 iNDF 含量。NIRS 可对碳三 (C3) 和 C4 牧草进行准确校准, 以预测 iNDF 含量^[40]。Mehtio 等^[39]通过 NIRS 预测奶牛粪便样品中 iNDF 含量进而计算干物质消化率, 表明可以通过 NIRS 预测粪便中的 iNDF 含量来确定奶牛消化饲料能力。随着 NIRS 发展以及对 NIRS 理解的逐步深入, NIRS 对 iNDF 含量的检测将变得更加精准, iNDF 作为反刍家畜饲料配制的优势也将越发明显。

5 小结

iNDF 对于饲料消化和反刍动物营养调控具有重要作用, 相比于 NDF 更能作为能量摄入的关键指标。测定 iNDF 含量能够应用于饲料的调配, 更直接地平衡饲料组成。原位法和体外法的理论与技术改进得愈加成熟与完整, 但在国内一个系统的、具体的标准尚未建立, 无法指导生产实践。NIRS 能够提供一种高效准确测定 iNDF 含量的工具, 在未来的研究中必将快速发展。通过 NIRS 可以预测饲料样品中 iNDF 含量, 进而应用到饲料配方模型中, 提高营养学家对 NDF 消化率的预测能力, 从而可以更有效地平衡饲料, 特别是在反刍动物生产体系中尤为适用。

参考文献:

- [1] NORRIS A B, TEDESCHI L O, MUIR J P. Assessment of *in situ* techniques to determine indigestible components in the feed and feces of cattle receiving supplemental condensed tannins [J]. *Journal of Animal Science*, 2019, 97 (12) : 5016–5026.
- [2] 刘玉峰, 丛玉艳. 饲料碳水化合物对羔羊瘤胃发育影响的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (2) : 566–570.
- [3] HARPER K J, MCNEILL D M. The role iNDF in the regulation of feed intake and the importance of its assessment in subtropical ruminant systems (the role of iNDF in the regulation of forage intake) [J]. *Agriculture*, 2015, 5 (3) : 778–790.
- [4] SOUFIZADEH M, PIRMOHAMMADI R, ALIJOO Y, et al. Indigestible neutral detergent fibers: relationship between forage fragility and neutral detergent fibers digestibility in total mixed ration and some feedstuffs in dairy cattle [J]. *Veterinary Research Forum*, 2018, 9 (1) : 49–57.
- [5] NOUSIAINEN J, RINNE M, HELLÄMÄKI M, et al. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2003, 103 (1/2/3/4) : 97–111.
- [6] 胡炜晨, 张同, 胡振, 等. 禾本科植物细胞壁合成调控研究进展 [J]. *江苏农业学报*, 2018, 34 (2) : 472–480.
- [7] KRÄMER M, WEISBJERG M R, LUND P, et al. Estimation of indigestible NDF in forages and concentrates from cell wall composition [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2012, 177 (1/2) : 40–51.
- [8] LUND P, WEISBJERG M R, HVELPLUND T. Digestible NDF is selectively retained in the rumen of dairy cows compared to indigestible NDF [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 134 (1/2) : 1–17.
- [9] BENDER R W, COOK D E, COMBS D K. Comparison of *in situ* versus *in vitro* methods of fiber digestion at 120 and 288 hours to quantify the indigestible neutral detergent fiber fraction of corn silage samples [J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99 (7) : 5394–5400.
- [10] RAFFRENATO E, LOMBARD R, ERASMUS L J, et al. Prediction of indigestible NDF in South African and Australian forages from cell wall characteristics [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 246 : 104–113.
- [11] 王晓娟, 杨阳, 张晓强, 等. 木质素与生物燃料生产: 降低含量或解除束缚? [J]. *中国农业科学*, 2015, 48 (2) : 229–240.
- [12] RAFFRENATO E, ROSS D A, VAN AMBURGH M E. Development of an *in vitro* method to determine rumen undigested aNDFom for use in feed evaluation [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101 (11) : 9888–9900.
- [13] SALINAS-CHAVIRA J, ALVAREZ E, MONTAÑO M F, et al. Influence of forage NDF level, source and pelletizing on growth performance, dietary energetics, and characteristics of digestive function for feedlot cattle [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 183 (3/4) : 106–115.

- [14] FOX D G, TEDESCHI L O, TYLUTKI T P, et al. The Cornell net carbohydrate and protein system model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 112 (1/2/3/4): 29-78.
- [15] VOLDEN H. NorFor-the Nordic feed evaluation system [M]. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2011.
- [16] MERTENS D R. Application of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants [D]. Ph.D. Thesis. Ithaca, NY: Cornell University, 1973.
- [17] CHANDLER J A, JEWELL W J, GOSSETT J M, et al. Predicting methane fermentation biogradability [J]. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, 1980, 10: 93-107.
- [18] KRIZSAN S J, HUHTANEN P. Effect of diet composition and incubation time on feed indigestible neutral detergent fiber concentration in dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96 (3): 1715-1726.
- [19] TILLEY J M A, TERRY R A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops [J]. *Grass and Forage Science*, 1963, 18 (2): 104-111.
- [20] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74 (10): 3583-3597.
- [21] HRISTOV A N, HARPER M T, ROTH G, et al. Effects of ensiling time on corn silage neutral detergent fiber degradability and relationship between laboratory fiber analyses and *in vivo* digestibility [J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 103 (3): 2333-2346.
- [22] GOESER J P, COMBS D K. An alternative method to assess 24-h ruminal *in vitro* neutral detergent fiber digestibility [J]. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92 (8): 3833-3841.
- [23] LOPES F, RUH K, COMBS D K. Validation of an approach to predict total-tract fiber digestibility using a standardized *in vitro* technique for different diets fed to high-producing dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98 (4): 2596-2602.
- [24] SPANGHERO M, ZANFI C. Impact of NDF content and digestibility of diets based on corn silage and alfalfa on intake and milk yield of dairy cows [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2010, 8 (Suppl. 2): 337-339.
- [25] BENDER R W, LOPES F, COOK D E, et al. Effects of partial replacement of corn and alfalfa silage with tall fescue hay on total-tract digestibility and lactation performance in dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99 (7): 5436-5444.
- [26] RAFFRENATO E, ERASMUS L J. Variability of indigestible NDF in C₃ and C₄ forages and implications on the resulting feed energy values and potential microbial protein synthesis in dairy cattle [J]. *South African Journal of Animal Science*, 2014, 43 (5): 98-102.
- [27] COTANCH K W, GRANT R J, VAN AMBURGH M E, et al. Applications of uNDF in ration modeling and formulation [C]//Cornell Nutrition Conference. Ithaca: Cornell University, 2014: 114-131.
- [28] KRIZSAN S J, MUSSADIQ Z, HETTA M, et al. Predicting feeding value of forage maize hybrids harvested at different maturities and sites [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2014, 23 (3): 269-278.
- [29] DE SOUSA S V, DE ARAÚJO M J, MARQUES C A T, et al. Internal markers for predicting dry matter intake and digestibility in Santa Inês ewes on a pasture [J]. *Grassland Science*, 2019, 65 (2): 75-85.
- [30] HUHTANEN P, NOUSIAINEN J, RINNE M. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications [J]. *Agricultural and Food Science*, 2006, 15 (3): 293-323.
- [31] 李蕾蕾. iNDF 对亚热带反刍动物采食量的调节作用及对 iNDF 评估的重要性 [J]. *中国饲料*, 2017 (18): 38-43.
- [32] 何云, 张亮, 武小姣, 等. 苜蓿干草常规营养成分含量近红外预测模型的建立 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (10): 4684-4690.
- [33] DEAVILLE E R, GIVENS D I. Regions of normalised near infrared reflectance difference spectra related to the rumen degradation of fresh grass, grass silage and maize silage [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1998, 72 (1/2): 41-51.
- [34] 薛祝林, 刘楠, 张英俊. 近红外光谱法预测紫花苜蓿草捆的营养品质和消化率 [J]. *草地学报*, 2017, 25 (1): 165-171.
- [35] 刘世伟, 许莹莹, 朱凯丽, 等. 玉米茎秆纤维组分近红外反射光谱模型的建立 [J]. *玉米科学*, 2020, 28 (4): 109-116.
- [36] SAMADI, WAJIZAH S, MUNAWAR A A. Near infrared spectroscopy (NIRS) data analysis for a rapid and simultaneous prediction of feed nutritive parameters [J]. *Data in Brief*, 2020, 29: 105211.

- [37] NORDHEIM H, VOLDEN H, FYSTRO G, et al. Prediction of *in situ* degradation characteristics of neutral detergent fibre (aNDF) in temperate grasses and red clover using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 139(1/2): 92–108.
- [38] WIEDEMAIR V, HUCK C W. Evaluation of the performance of three hand-held near-infrared spectrometer through investigation of total antioxidant capacity in gluten-free grains [J]. *Talanta*, 2018, 189: 233–240.
- [39] MEHTIO T, MÄNTYSAARI P, KOKKONEN T, et al. Genetic parameters for cow-specific digestibility predicted by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Livestock Science*, 2019, 226: 1–6.
- [40] BROGNA N, PALMONARI A, CANESTRARI G, et al. Technical note: near infrared reflectance spectroscopy to predict fecal indigestible neutral detergent fiber for dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(2): 1234–1239.
- [41] NOUSIAINEN J, AHVENJÄRVI S, RINNE M, et al. Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2004, 115(3/4): 295–311.

Application and Research Progress of Indigestible Neutral Detergent Fiber in Ruminant Production

MU Yixiao LIN Yufan ZHANG Guijie*

(Department of Animal Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Neutral detergent fibre (NDF) of forage grass can provide energy for ruminants, and the appropriate content of NDF is beneficial to improve the production performance of ruminants. According to the degree of digestibility, NDF can be divided into potential digestible neutral detergent fiber (pdNDF) and indigestible neutral detergent fiber (iNDF). iNDF can be used to estimate feed intake and energy intake of ruminants, and can also be used as an important index to predict the digestibility of organic matter. This review summarizes the definition of iNDF, measurement methods, and its effect on the regulation of ruminant production performance, and the prediction of iNDF content in forage grass by near infrared reflectance spectroscopy is prospected, in order to provide references for the application of iNDF in ruminant production. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(11): 5069-5074]

Key words: indigestible neutral detergent fibre; digestibility of neutral detergent fiber; ruminant; near infrared reflectance spectroscopy