

# 应用聚酯网袋测定饲料中中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量的可行性研究

李泽民 张晨 张桂国\* 张崇玉\*

(山东农业大学动物科技学院,山东省动物生物工程与疾病防治重点实验室,泰安 271000)

**摘要:** 本试验旨在探索应用聚酯网袋测定饲料中中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量的可行性。本试验采用国标法、聚酯网袋法、Ankom 纤维分析仪法和聚酯网袋仪器法 4 种方法,分别测定了 17 种饲料中 NDF 和 ADF 的含量,比较不同方法的测定结果。结果表明:1)4 种方法对饲料中 NDF 和 ADF 含量的测定结果基本一致,两两配对分析差异不显著( $P>0.05$ )。2)聚酯网袋法与国标法对 NDF 含量的测定结果基本一致,2 种方法的测定结果呈强正相关; $y=0.9983x+0.1305$ ( $x$  为国标法测定的饲料中 NDF 含量, $y$  为聚酯网袋法测定的饲料中 NDF 含量), $n=17,r=0.9997,P<0.01$ 。3)聚酯网袋法与国标法对 ADF 含量的测定结果基本一致,2 种方法测定结果呈强正相关; $y=0.9990x-0.0340$ ( $x$  为国标法测定的饲料中 ADF 含量, $y$  为聚酯网袋法测定的饲料中 ADF 含量), $n=17,r=0.9999,P<0.01$ 。综上所述,聚酯网袋法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的方法具有测定时间短、效率高、成本低、精密度高等特点,可以替代国标法。聚酯网袋可以替代 Ankom F57 滤袋使用 Ankom 纤维分析仪测定饲料中 NDF 和 ADF 含量。

**关键词:** 聚酯网袋;中性洗涤纤维;酸性洗涤纤维

中图分类号:816.17

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)12-5967-09

饲料中中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)是 Goering 和 Van Soest 在 1970 年提出替代传统的粗纤维(CF)分析方案中的主要指标,在饲料营养价值评定中被广泛应用<sup>[1-3]</sup>。NDF 是饲料经中性洗涤剂煮沸处理后,可洗涤分解大部分细胞内容物,如蛋白质、脂肪、淀粉和糖类,剩余的不溶解的残渣,包括构成细胞壁的半纤维素、纤维素、木质素和少量硅酸盐等成分。ADF 是饲料经酸性洗涤剂煮沸处理后,可洗涤分解饲料中的蛋白质、脂肪、淀粉、糖类和半纤维素,剩余的不溶解的残渣,包括纤维素、木质素和少量的硅酸盐等成

分。准确快速地测定饲料中 NDF 和 ADF 的含量具有重要意义。当前,测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的方法主要有国标法和 Ankom 纤维分析仪法,然而现有国标法存在主要问题有:操作步骤繁琐且难控制、测定时间长、效率低下、过滤抽滤太慢且易堵塞、测定结果准确度或精密度不高等,不适合批量样品的测定分析。Ankom 纤维分析仪法可以快速测定饲料中 NDF 和 ADF 的含量,国内学者做了一些研究<sup>[4-10]</sup>,但该法设备昂贵。为寻求一种操作简单、降低成本、效率高效、准确性高、可批量测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的方法,本试验拟

收稿日期:2020-05-21

基金项目:国家重点研发计划(2019YFE0107700);国家十三五重大研发计划(子课题)肉羊健康养殖(2018YFD0502104-3);山东省现代农业产业技术体系产业创新团队(SDAIT-27-02,SDAIT-23-05);山东省农业重大应用技术创新项目“粮改饲高产高效生产利用模式与关键技术的集成示范”(SDZD-2017);山东省良种工程(南种北繁,2017LZN036);山东省“双一流”奖补资金(SDSYL2016)

作者简介:李泽民(1993—),男,山东日照人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: 779575896@qq.com

\*通信作者:张桂国,副教授,硕士生导师,E-mail: zhanggg@sdau.edu.cn;张崇玉,副教授,硕士生导师,E-mail: 17225122@163.com

采用国标法、聚酯网袋法、Ankom 纤维分析法法和聚酯网袋仪器法 4 种方法对饲料中 NDF 和 ADF 含量进行测定,并对测定结果进行比较,以探索应用聚酯网袋测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的可行性。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

选用有代表性的饲料进行试验,测定饲料中 NDF 的含量选用玉米、米糠粕、鲁梅克斯、银杏叶等 17 种饲料,测定饲料中 ADF 含量选用豆粕、小麦麸、白三叶、全株玉米青贮等 17 种饲料。将所选饲料制成实验室半干样品或风干样品,按照 GB/T 20195—2006<sup>[11]</sup> 方法制备样品,粉碎过 1.00 mm 筛,然后将样品充分混合均匀,密封保存以备分析测定。

聚酯网袋的标准和参数:大小规格 5 cm×6 cm,三面封口,一面开口。聚酯网袋的成分是聚对苯二甲酸乙二酯纤维,型号规格为 DPP185(D 代表聚酯纤维,第 1 个 P 代表平纹组织,第 2 个 P 代表片梭织机,185 代表经密为 185 根/cm,即 1 cm 长度上含 185 个孔),470 目[每英寸(1 in=2.54 cm)长度上含 470 个孔],丝径为 30 μm,孔径为 24 μm,符合国家标准《合成纤维筛网》(GB/T 14014—2008)<sup>[12]</sup>。聚酯网袋符合本试验的所有条件和要求,主要特点如下:孔径为 24 μm,大小均匀一致,完全符合纤维成分测定对筛孔径的要求;耐高温,不吸潮,105 ℃ 烘干前后质量不变;耐各种强酸、强碱、醇、醚、酮、中性洗涤剂 and 酸性洗涤剂的煮沸或浸泡,处理前后质量不变且不破袋。

### 1.2 测定仪器与试剂

Ankom 2000 全自动纤维分析仪;美国 ANKOM 技术有限公司。

α-耐高温淀粉酶溶液(105 ℃):用水稀释到活性为 10 000 U/mL。称取 25 g α-耐高温淀粉酶(40 000 U/g,北京索莱宝科技有限公司),加蒸馏水定容至 100 mL。

中性洗涤剂溶液:称取 18.6 g 乙二胺四乙酸二钠和 6.8 g 四硼酸钠,放入 500 mL 烧杯中,加适量蒸馏水加热溶解后,再加入 30 g 十二烷基硫酸钠和 10 mL 乙二醇乙醚;称取 4.56 g 磷酸氢二钠置于另一烧杯中,加蒸馏水加热溶解。冷却后将上述 2 种溶液转入 1 000 mL 容量瓶中并用蒸馏水

定容。

酸性洗涤剂溶剂:取 28.0 mL 浓硫酸慢慢加入已装有 500 mL 蒸馏水的烧杯中,搅拌冷却后用蒸馏水定容至 1 000 mL,配制成 1.00 mol/L 的硫酸溶液;称取 20 g 十六烷基三甲基溴化铵溶于 1 000 mL 1.00 mol/L 硫酸溶液中。

丙酮、乙二胺四乙酸二钠、四硼酸钠、十二烷基硫酸钠、乙二醇乙醚、磷酸氢二钠、无水亚硫酸钠、十六烷基三甲基溴化铵等试剂均为分析纯,为天津市凯通化学试剂有限公司产品。

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 测定饲料中 NDF 含量的 4 种方法

国标法:参照中华人民共和国国家标准 GB/T 20806—2006<sup>[13]</sup>,称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,放于 600 mL 高型烧杯中,用量筒加入 100 mL 中性洗涤剂和 0.2 mL α-耐高温淀粉酶溶液,再加入 1.0 g 无水亚硫酸钠,放在消煮器上消煮 1 h;然后倒入预先烘干至恒量的 G<sub>2</sub> 玻璃砂漏斗中并抽滤,用热蒸馏水冲洗至滤液清澈无泡沫;抽干后用丙酮冲洗剩余物,直至滤出液无色为止;将玻璃砂漏斗和剩余物放入 105 ℃ 烘箱中烘至恒量(3~4 h),在干燥器内冷却后称量计算。

Ankom 纤维分析法:称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,将样品装入 Ankom F57 滤袋,封口;将 Ankom F57 滤袋放在 Ankom 2000 全自动纤维分析仪的滤袋架中,自动加入 2 000 mL 中性洗涤剂,手动加入 4.8 mL α-耐高温淀粉酶和 20.0 无水亚硫酸钠,仪器自动进行消煮;结束后取出 Ankom F57 滤袋,在丙酮中浸泡 5 min,晾干后在 105 ℃ 烘箱中烘至恒量,放到干燥器内冷却后称量计算。

聚酯网袋仪器法:称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,用聚酯网袋代替 Ankom F57 滤袋,应用 Ankom 2000 全自动纤维分析仪测定,步骤与 Ankom 纤维分析法相同。

聚酯网袋法:称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,按照如下方法进行测定。

1) 称样:使用聚酯网袋,用耐溶性油性记号笔编号,称其质量,精确至 0.1 mg,记为  $m_1$ ;称取样品 1.000 0 g 左右,精确至 0.1 mg,记为  $m$ ,装入聚酯网袋内,用封口机封口。

2) 脱脂预处理:如果饲料样品中脂肪含量高

于 10%,应预先脱脂。将装有饲料样品的聚酯网袋放在烧杯中,加入丙酮,用量以浸没样品袋为标准。浸泡 10 min 后,取出聚酯网袋放置在通风橱挥发干试剂,待用。

3) 消煮:将装有饲料样品的 24 个聚酯网袋放入 3 L 烧杯中,加入已煮沸的 2 000 mL 中性洗涤剂,再向烧杯内加入 4.8 mL  $\alpha$ -耐高温淀粉酶、20.0 g 无水亚硫酸钠,保持沸腾状态(60±1) min。在煮沸期间加蒸馏水保持溶液体积恒定。煮沸完毕取出筛网袋,用蒸馏水洗至中性,把袋内水分轻轻挤出。

4) 脱脂:将聚酯网袋放入烧杯中,用丙酮浸泡 5 min,用量以浸没样品袋为标准。去除剩余脂肪,取出聚酯网袋放置在通风橱中让丙酮挥发干净。

5) 烘干:将聚酯网袋放在 105 °C 干燥箱中烘 45 min 至恒量,取出聚酯网袋,放入常温称量瓶中,盖好盖子,放到干燥器中冷却 1 min 后,从称量瓶中取出聚酯网袋立即称量,记为  $m_2$ 。

6) 结果计算:饲料中 NDF 的含量可按式计算。

$$\omega(\text{NDF}) = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100。$$

式中: $\omega(\text{NDF})$  为饲料中 NDF 的含量(%); $m$  为饲料样品的质量(g); $m_1$  为聚酯网袋的质量(g); $m_2$  为聚酯网袋及其袋内残渣在 105 °C 干燥后的质量(g)。

### 1.3.2 测定饲料中 ADF 含量的 4 种方法

国标法:参照中华人民共和国农业行业标准 NY/T 1459—2007<sup>[14]</sup>,称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,放于 600 mL 高型烧杯中,用量筒加入 100 mL 酸性洗涤剂,放在消煮器上消煮 1 h;然后倒入预先烘干至恒量的 G<sub>2</sub> 玻璃砂漏斗中并抽滤,用热蒸馏水冲洗至滤液清澈无泡沫;抽干后用丙酮冲洗剩余物,直至滤出液无色为止;将玻璃砂漏斗和剩余物放入 105 °C 烘箱中烘至恒量(3~4 h),在干燥器内冷却后称量计算。

Ankom 纤维分析法:称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,将样品装入 Ankom F57 滤袋,封口;将 Ankom F57 滤袋放在 Ankom 2000 全自动纤维分析仪的滤袋架中,自动加入 2 000 mL 酸性洗涤剂,仪器自动进行消煮;结束后取出滤袋,在丙酮中浸泡 5 min,晾干后在 105 °C 烘箱中烘至恒量,放到干燥器内冷却后称量

计算。

聚酯网袋仪器法:称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,用聚酯网袋代替 Ankom F57 滤袋,应用 Ankom 2000 全自动纤维分析仪测定,步骤与 Ankom 纤维分析法相同。

聚酯网袋法:称取饲料样品 1.000 0 g,每个饲料样品做 4 个重复,按照如下方法进行测定。

1) 称样:使用聚酯网袋,用耐溶性油性记号笔编号,称其质量,精确至 0.1 mg,记为  $m_4$ ;称取样品 1.000 0 g 左右,精确至 0.1 mg,记为  $m_3$ ,装入聚酯网袋内,用封口机封口。

2) 脱脂预处理:如果饲料样品中脂肪含量高于 10%,应预先脱脂。将装有饲料样品的聚酯网袋放在烧杯中,加入丙酮,用量以浸没样品袋为标准。浸泡 10 min 后,取出聚酯网袋放置在通风橱挥发干试剂,待用。

3) 酸消煮:将装有试样的 24 个聚酯网袋放入 3 L 烧杯中,加入已煮沸的 2 000 mL 酸性洗涤剂,保持沸腾状态(60±1) min。在煮沸期间加蒸馏水保持溶液体积恒定。煮沸完毕取出筛网袋,用蒸馏水洗至中性,把袋内水分轻轻挤出。

4) 脱脂:将聚酯网袋放入烧杯中,用丙酮浸泡 5 min,用量以浸没样品袋为标准。去除剩余脂肪,取出聚酯网袋放置在通风橱中让丙酮挥发干净。

5) 烘干:将聚酯网袋放在 105 °C 干燥箱中烘 45 min 至恒量,取出聚酯网袋,放入常温称量瓶中,盖好盖子,放到干燥器中冷却 1 min 后,从称量瓶中取出聚酯网袋立即称量,记为  $m_5$ 。

6) 结果计算:饲料中 ADF 的含量可按式计算。

$$\omega(\text{ADF}) = \frac{m_5 - m_4}{m_3} \times 100。$$

式中: $\omega(\text{ADF})$  为饲料中 ADF 的含量(%); $m_3$  为饲料样品的质量(g); $m_4$  为聚酯网袋的质量(g); $m_5$  为聚酯网袋及其袋内残渣在 105 °C 干燥后的质量(g)。

### 1.4 统计分析方法

试验数据采用 Excel 2010 进行整理,采用 SPSS 19.0 统计软件比较均值过程进行单因素方差分析和配对样本  $t$  检验分析。 $P < 0.05$  作为差异显著的判断标准。试验结果用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同方法测定饲料中 NDF 含量的结果比较

不同方法测定饲料中 NDF 含量的结果见表 1。表中数据显示,4 种方法对饲料中 NDF 含量的测定结果基本一致,两两配对分析差异不显著 ( $P>0.05$ )。聚酯网袋法和国标法的测定结果基本一致,2 种方法的测定结果差异不显著 ( $P>0.05$ ),表明聚酯网袋法可以替代国标法测定饲料中 NDF 的含量。Ankom 纤维分析仪法与聚酯网袋仪器法的测定结果一致,2 种方法的测定结果差异不显著 ( $P>0.05$ ),表明使用 Ankom2000 纤维分析仪测

定饲料中 NDF 含量时可以用聚酯网袋替代 Ankom F57 滤袋。

国标法、聚酯网袋法、Ankom 纤维分析仪法和聚酯网袋仪器法测定的饲料中 NDF 含量数值均较集中,变异系数 (CV) 均小于 3%,分别为 0.42%~2.31%、0.24%~2.36%、0.44%~2.96% 和 0.07%~2.27%,满足 GB/T 20806—2006 中 NDF 含量 > 10% 时,允许相对偏差  $\leq 3\%$  的要求。17 个饲料样品中,有 11 个饲料样品的聚酯网袋法 CV 小于国标法,表明聚酯网袋法测定饲料中 NDF 含量的精密度更好。

表 1 不同方法测定饲料中 NDF 含量的结果比较

Table 1 Comparison of results of different methods for determining NDF content in feeds

%

项目 Items	国标法 National standard method		聚酯网袋法 Polyester mesh bag method		Ankom 纤维分析仪法 Ankom fiber analyzer method		聚酯网袋仪器法 Polyester mesh bag instrument method	
	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV
能量饲料 Energy feed								
玉米 Corn	10.70±0.23	2.11	10.60±0.17	1.57	10.91±0.32	2.96	10.38±0.18	1.76
米糠粕 Rice bran	24.70±0.47	1.90	24.49±0.58	2.36	25.37±0.31	1.24	24.21±0.55	2.27
粗饲料 Roughage								
鲁梅克斯 Rumex	28.37±0.29	1.01	28.84±0.42	1.47	29.21±0.61	2.08	28.25±0.64	2.26
银杏叶 Ginkgo biloba	30.07±0.70	2.31	29.79±0.67	2.25	31.77±0.46	1.44	29.50±0.56	1.90
杨树叶 Poplar leaf	37.11±0.19	0.50	37.47±0.44	1.17	37.35±0.30	0.80	37.30±0.20	0.53
全株玉米青贮 Whole corn silage	41.51±0.46	1.11	41.95±0.78	1.87	41.61±0.40	0.97	40.85±0.03	0.07
花生秧 Peanut vine	47.90±0.39	0.82	47.97±0.20	0.42	47.47±0.29	0.61	47.70±0.91	1.92
全株甜高粱 Sweet sorghum	55.53±0.46	0.82	55.63±0.51	0.93	56.03±0.37	0.65	55.12±0.41	0.74
玉米苞皮 Corn bract skin	58.28±0.64	1.10	58.04±0.46	0.79	58.13±0.66	1.13	58.08±0.45	0.77
玉米芯 Corn cob	62.74±0.53	0.84	63.61±0.32	0.50	61.07±0.69	1.13	62.73±0.83	1.32
田菁 Sesbania	63.41±0.27	0.42	63.77±0.15	0.24	62.63±0.28	0.44	63.79±0.83	1.30
小麦壳 Wheat husk	70.06±0.57	0.81	70.37±0.46	0.65	70.78±0.46	0.66	71.07±0.37	0.52
干玉米秸 Dry corn stalk	70.08±0.66	1.04	70.52±0.41	0.65	70.00±0.72	1.04	69.19±0.72	1.05
花生壳 Peanut shell	76.54±0.33	0.44	76.29±0.38	0.50	77.10±0.79	1.02	76.90±0.41	0.54
配合饲料 Compound feed								
牛配合饲料 Cow compound feed	32.13±0.54	1.69	32.35±0.26	0.80	32.62±0.47	1.43	32.00±0.41	1.28
兔配合饲料 Rabbit compound feed	36.56±0.60	1.63	36.71±0.36	0.99	36.33±0.80	2.21	36.60±0.17	0.47
驴配合饲料 Donkey compound feed	51.49±1.00	1.95	51.65±0.75	1.45	52.01±0.62	1.18	51.15±0.52	1.02

续表 1

项目 Items	国标法 National standard method		聚酯网袋法 Polyester mesh bag method		Ankom 纤维分析仪法 Ankom fiber analyzer method		聚酯网袋仪器法 Polyester mesh bag instrument method	
	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV
	不同方法配对分析 <i>P</i> 值 <i>P</i> -value of pair analysis of different methods							
聚酯网袋法与国标法 Polyester mesh bag method and national standard method							0.605	
Ankom 纤维分析仪法与国标法 Ankom fiber analyzer method and national standard method							0.310	
聚酯网袋仪器法与国标法 Polyester mesh bag instrument method and national standard method							0.225	
聚酯网袋仪器法与 Ankom 纤维分析仪法 Polyester mesh bag instrument method and Ankom fiber analyzer method							0.160	

## 2.2 不同方法测定饲料中 ADF 含量的结果比较

不同方法测定饲料中 ADF 含量的结果比较见表 2。表中数据显示,4 种方法对饲料中 ADF 含量的测定结果基本一致,两两配对分析差异不显著 ( $P>0.05$ )。聚酯网袋法和国标法的测定结果基本一致,2 种方法的测定结果差异不显著 ( $P>0.05$ ),表明聚酯网袋法可以替代国标法测定饲料中 ADF 的含量。Ankom 纤维分析仪法与聚酯网袋仪器法的测定结果基本一致,2 种方法的测定结果差异不显著 ( $P>0.05$ ),表明使用 Ankom 2000 纤维分析仪测定饲料中 ADF 含量时可以用聚酯网袋替代

Ankom F57 滤袋。

国标法、网袋法、Ankom 纤维分析仪法和聚酯网袋仪器法测定饲料中 ADF 含量的数值均较集中, CV 均小于 3%, 分别为 0.29% ~ 2.48%、0.14% ~ 2.60%、0.35% ~ 2.93% 和 0.31% ~ 2.59%, 满足 NY/T 1459—2007 中 ADF 含量  $\leq 10\%$  时, 允许相对偏差  $\leq 5\%$ , ADF 含量  $> 10\%$  时, 允许相对偏差  $\leq 3\%$  的要求。17 个饲料样品中, 有 10 个样品的聚酯网袋法 CV 小于国标法, 表明聚酯网袋法测定饲料中 ADF 含量精密度更好。

表 2 不同方法测定饲料中 ADF 含量的结果比较

Table 2 Comparison of results of different methods for determining ADF content in feeds

%

项目 Items	国标法 National standard method		聚酯网袋法 Polyester mesh bag method		Ankom 纤维分析仪法 Ankom fiber analyzer method		聚酯网袋仪器法 Polyester mesh bag instrument method	
	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV
	能量饲料 Energy feed							
小麦麸 Wheat bran	11.12±0.20	1.80	11.41±0.17	1.49	11.53±0.24	2.12	11.86±0.24	2.06
米糠粕 Rice bran	13.99±0.35	2.48	13.73±0.28	2.06	14.39±0.35	2.41	14.06±0.32	2.30
蛋白质饲料 Protein feed								
豆粕 Soybean meal	7.88±0.15	1.90	7.86±0.03	0.40	8.17±0.14	1.66	8.01±0.10	1.28
粗饲料 Roughage								
白三叶 White clover	21.97±0.28	1.26	21.45±0.14	0.63	22.59±0.49	2.16	22.53±0.38	1.67
葵花籽 Sunflower seed	25.00±0.28	1.13	25.14±0.65	2.59	25.38±0.74	2.93	25.56±0.45	1.76
全株玉米青贮 1 Whole corn silage 1	25.78±0.15	0.57	25.71±0.51	1.99	25.23±0.36	1.42	25.33±0.45	1.79

续表 2

项目 Items	国标法 National standard method		聚酯网袋法 Polyester mesh bag method		Ankom 纤维分析仪法 Ankom fiber analyzer method		聚酯网袋仪器法 Polyester mesh bag instrument method	
	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV	NDF 含量 NDF content	变异系数 CV
	全株玉米青贮 2 Whole corn silage 2	27.50±0.20	0.74	27.41±0.26	0.96	27.70±0.45	1.63	27.09±0.43
玉米苞皮 Corn bract skin	27.53±0.43	1.55	27.43±0.57	1.72	26.34±0.39	1.47	27.33±0.54	1.98
玉米芯 Corn cob	30.02±0.17	0.55	30.40±0.29	0.96	29.41±0.38	1.28	30.95±0.62	2.02
苜蓿 Alfalfa	32.77±0.53	1.63	32.53±0.23	0.70	32.41±0.27	0.84	32.79±0.85	2.59
干玉米秸 Dry corn stover	42.40±0.21	0.49	42.32±0.34	0.81	42.55±0.41	0.95	41.54±0.35	0.84
构树 Paper mulberry	44.83±0.93	2.08	44.74±0.13	0.29	44.50±0.42	0.95	44.51±0.14	0.31
花生秧 Peanut vine	46.74±0.61	1.31	46.66±0.10	0.22	46.03±0.39	0.85	46.20±0.16	0.35
稻壳粉 Rice husk	63.09±0.34	0.53	63.51±0.25	0.40	63.35±0.22	0.35	63.55±0.31	0.49
花生壳 Peanut shell	68.68±0.20	0.29	68.12±0.09	0.14	68.50±0.34	0.50	68.21±0.58	0.85
配合饲料 Compound feed								
猪配合饲料 Swine compound feed	8.18±0.17	2.11	8.09±0.21	2.60	8.00±0.22	2.74	7.84±0.17	2.19
兔配合饲料 Rabbit compound feed	19.57±0.34	1.73	19.45±0.29	1.50	19.58±0.39	1.94	19.32±0.45	2.35
不同方法配对分析 P 值 P-value of pair analysis of different methods								
聚酯网袋法与国标法 Polyester mesh bag method and national standard method							0.331	
Ankom 纤维分析仪法与国标法 Ankom fiber analyzer method and national standard method							0.502	
聚酯网袋仪器法与国标法 Polyester mesh bag instrument method and national standard method							0.860	
聚酯网袋仪器法与 Ankom 纤维分析仪法 Polyester mesh bag instrument method and Ankom fiber analyzer method							0.677	

### 2.3 不同方法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的相关系数

不同方法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的相关系数见表 3。聚酯网袋法测定的饲料中 NDF 含量( $y$ )和国标法测定的 NDF 含量( $x$ )的回归方程为  $y = 0.998 3x + 0.130 5$ ,  $n = 17$ ,  $r = 0.999 7$ ,  $P < 0.01$ , 二者呈强正相关, 说明聚酯网袋法可以替代国标法测定饲料中 NDF 含量。

聚酯网袋法测定的饲料中 ADF 含量( $y$ )和国标法测定的饲料中 ADF 含量( $x$ )的回归方程为  $y = 0.999 0x - 0.034 0$ ,  $n = 17$ ,  $r = 0.999 9$ ,  $P < 0.01$ , 二者呈强正相关, 说明聚酯网袋法可以替代国标法测定饲料中 ADF 含量。

### 3 讨论

国标法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的操作步骤繁琐且难控制, 过滤抽滤太慢, NDF 和 ADF 含量过高的样品容易造成玻璃过滤坩埚堵塞; 准确度或精密度不高, 试样容易沾到烧杯壁上, 影响测定结果; 测定时间长, 抽滤结束后, 装有样品残渣的玻璃过滤坩埚需要在  $(105 \pm 1) ^\circ\text{C}$  的电热恒温箱中干燥 4 h 至恒重; 效率低下, 1 个消煮器只能测定 1 个样品, 不适合批量样品的测定分析。

Ankom 纤维分析仪法目前在上世界上被多个国家所采用, 我国对该法也进行了一些研究<sup>[4-7, 9, 15-18]</sup>, 其主要用于饲料和食品中 CF、NDF、ADF 等纤维含量的测定<sup>[1, 3]</sup>。Ankom 纤维分析仪测定安全, 省去了过滤抽滤的步骤, 煮沸和清洗时

间缩短至 100 min, 烘干时间为 2~3 h。但是 Ankom 纤维分析仪价格昂贵, Ankom F57 滤袋成本较高。聚酯网袋仪器法是用聚酯网袋替代 Ankom F57 滤袋, 使用 Ankom 纤维分析仪对饲料中 NDF 和 ADF 含量进行测定, 结果显示聚酯网袋

仪器法与 Ankom 纤维分析仪法测定结果基本一致, 2 种方法差异不显著; 并且, 聚酯网袋仪器法与国标法测定结果基本一致, 2 种方法差异不显著。使用聚酯网袋替代 Ankom F57 滤袋, 可以降低测定成本。

表 3 不同方法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of NDF and ADF contents in feeds determined by different methods

项目 Items	相关系数 Correlation coefficient		P 值 P-value
	NDF 含量 NDF content	ADF 含量 ADF content	
聚酯网袋法与国标法 Polyester mesh bag method and national standard method	0.999 7	0.999 9	<0.01
Ankom 纤维分析仪法与国标法 Ankom fiber analyzer method and national standard method	0.999 2	0.999 5	<0.01
聚酯网袋仪器法与国标法 Polyester mesh bag instrument method and national standard method	0.999 7	0.999 7	<0.01
聚酯网袋仪器法与 Ankom 纤维分析仪法 Polyester mesh bag instrument method and Ankom fiber analyzer method	0.999 0	0.999 4	<0.01

聚酯网袋法成本低廉, 所用材料是聚酯网袋, 其化学成分是聚对苯二甲酸乙二酯纤维, 这种纤维强度高, 不变形, 熔点高; 孔径为 24  $\mu\text{m}$ , 不吸水, 无灰分, 不破袋, 中性洗涤剂 and 酸性洗涤剂煮沸处理前后质量不变, 符合中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维测定的所有要求; 操作简单, 只需要聚酯网袋、烧杯或消煮器、试剂和加热装置等就可以完成测定; 测定效率高, 可以一次对大批量的样品进行测定; 测定时间短, 包括煮沸、清洗与烘干的全部测定时间不到 2 h 即可完成; 样品消解充分, 在煮沸过程中, 聚酯网袋既不漂浮, 也不沉底, 处于直立状态, 饲料样品全部在液面以下, 溶液可以自由进出网袋内外, 与饲料样品充分接触, 纤维残渣则留在网袋内。该方法已经颁布实施山东省地方标准 (DB 37/T 3372—2018<sup>[19]</sup>, DB 37/T 3371—2018<sup>[20]</sup>), 被广泛使用。

通过对聚酯网袋法、国标法、Ankom 纤维分析仪法和聚酯网袋仪器法进行比较, 我们发现聚酯网袋法具有操作简单、测定时间短、效率高、成本低的优点; 并且聚酯网袋法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的 CV 均小于 3%, 且在多数饲料样品上低于国标法, 表明聚酯网袋法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的精密度更好。因此, 聚酯网袋法具有更高的精密度, 可以替代国标法用于饲料中 NDF 和 ADF 含量的测定。

## 4 结 论

① 国标法、聚酯网袋法、Ankom 纤维分析仪法和聚酯网袋仪器法对饲料样品中 NDF 和 ADF 含量的测定结果基本一致, 两两配对分析差异不显著。

② 聚酯网袋法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的结果与国标法基本一致, 而聚酯网袋法具有测定时间短、效率高、成本低、精密度高等特点, 因此可以替代国标法测定饲料中 NDF 和 ADF 的含量。

③ 聚酯网袋仪器法测定饲料中 NDF 和 ADF 含量的结果与 Ankom 纤维分析仪法基本一致, 使用 Ankom 纤维分析仪测定饲料中 NDF 和 ADF 含量时可以用聚酯网袋替代 Ankom F57 滤袋。

## 参考文献:

- [1] VOGEL K P, PEDERSEN J F, MASTERSON S D, et al. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis [J]. *Crop Science*, 1999, 39(1): 276-279.
- [2] 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.

- [ 3 ] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].4版.北京:中国农业大学出版社,2016:79-86.
- [ 4 ] 王晓娜,徐春城,温定英,等.不同测定方法对青贮饲料中 NDF 和 ADF 含量的影响[J].草业科学,2012,29(1):144-149.
- [ 5 ] 薛红枫,孟庆翔.不同方法测定反刍动物饲料 NDF、ADF 和木质素含量的比较[J].中国畜牧杂志,2006,42(19):41-45.
- [ 6 ] 朱立涛,范志勇,杨丹丹,等.用滤袋测定饲料粗纤维含量的试验研究[J].饲料工业,2012,33(7):56.
- [ 7 ] 闫贵龙,程成,曹春梅,等.煮沸时间对滤袋法测定青贮玉米 NDF 和 ADF 含量的影响[J].畜牧兽医学报,2012,43(3):404-409.
- [ 8 ] 苏玲玲,申煜,张志军.纤维袋法测定饼粕类饲料原料中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量的研究[J].饲料博览,2013(8):1-5.
- [ 9 ] 张桂英.改进饲料中粗纤维的测定方法[J].民营科技,2018(5):10.
- [ 10 ] 苏玲玲,申煜,张志军,等.不同方法测定饲料中 NDF 和 ADF 的比较[J].饲料研究,2013(11):80-82.
- [ 11 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20195—2006 动物饲料 试样的制备[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [ 12 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 14014—2008 合成纤维筛网[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [ 13 ] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20806—2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [ 14 ] 中华人民共和国农业部.NY/T 1459—2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S].北京:农业出版社,2008.
- [ 15 ] 张丽英,王宗义,李德发.滤袋技术在饲料纤维素分析中的应用[J].饲料工业,2001(5):9-10.
- [ 16 ] 姜慧新,柏杉杉,王兆凤,等.粉碎细度与滤袋对饲草 NDF 与 ADF 含量的影响[J].草地学报,2018,26(2):467-473.
- [ 17 ] 魏涛,蒲俊华,王文强,等.Ankom 滤袋法测定粗纤维含量过程中样品脱脂与不脱脂处理的比较[J].黑龙江畜牧兽医,2017(15):275-277.
- [ 18 ] 姜慧新,柏杉杉,刘栋,等.不同方法测定饲草中 NDF 与 ADF 含量的比较[J].山东畜牧兽医,2017,38(8):6-7.
- [ 19 ] 山东省质量技术监督局.DB37/T 3372—2018 饲料中中性洗涤纤维含量的测定—聚酯网袋法[S].济南:山东省市场监督管理局,2018.
- [ 20 ] 山东省质量技术监督局.DB 37/T 3371—2018 饲料中酸性洗涤木质素含量的测定—聚酯网袋法[S].济南:山东省市场监督管理局,2018.



## Feasibility Study of Determination of Neutral Detergent Fiber and Acid Detergent Fiber Contents in Feed Using Polyester Mesh Bag

LI Zemin ZHANG Chen ZHANG Guiguo\* ZHANG Chongyu\*

(Key Laboratory of Animal Biotechnology and Disease Control & Prevention of Shandong Province, College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271000, China)

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the feasibility of the determination of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents in feed using polyester mesh bag. Four different methods, including national standard method, polyester mesh bag method, Ankom fiber analyzer method and polyester mesh bag instrument method, were utilized to determine the contents of NDF and ADF contents from 17 different feeds, respectively, and a comprehensive comparison was conducted to evaluate the differentiation of the results among the different methods. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in the contents of ADF and NDF in feeds that determined by the four methods ( $P>0.05$ ). 2) The content of NDF determined by the polyester mesh bag method was similar to that determined by the national standard method, and the determination results of the two methods exhibited a strong positive correlation:  $y=0.9983x+0.1305$  ( $x$  was the content of NDF determined by the national standard method, and  $y$  was the content of NDF determined by the polyester mesh bag method),  $n=17$ ,  $r=0.9997$ ,  $P<0.01$ . 3) The content of ADF determined by the polyester mesh bag method was similar to that determined by national standard method, and the determination results of the two methods presented a strong positive correlation:  $y=0.9990x-0.0340$  ( $x$  was the content of ADF determined by the national standard method, and  $y$  was the content of ADF determined by the polyester mesh bag method),  $n=17$ ,  $r=0.9999$ ,  $P<0.01$ . In conclusion, the polyester mesh bag method for determining the contents of NDF and ADF contents in feed has some advantages such as shorter analysis time, higher efficiency, lower cost, and improved precision, thus it can replace the national standard method. In addition, the Ankom F57 filter-bag can be replaced by polyester mesh bag when using the Ankom fiber analyzer to determine the contents of NDF and ADF contents in feed. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(12):5967-5975]

**Key words:** polyester mesh bag; neutral detergent fiber; acid detergent fiber

\* Corresponding authors: ZHANG Guiguo, associate professor, E-mail: zhanggg@sdau.edu.cn; ZHANG Chongyu, associate professor, E-mail: 17225122@163.com