

令和7年度 成績概要書

課題コード（研究区分）： 7103-724152 (受託研究(民間))

1. 研究課題名と成果の要約

- 1) 研究成果名：近赤外分析による *in vitro* 培養 12 時間後の纖維消化率の推定
(研究課題名：粗飼料の *in vitro* 培養 12 時間後の纖維消化率の近赤外分析による推定)
- 2) キーワード：近赤外分光分析、*in vitro* 纖維消化率、牧草サイレージ、とうもろこしサイレージ、乾草
- 3) 成果の要約：牧草サイレージ、とうもろこしサイレージおよび乾草の *in vitro* 培養 12 時間後の未消化 NDF 含量を予測する近赤外分光分析用検量線を開発した。

2. 研究機関名

- 1) 代表試験場・所属・担当者：畜産試験場・畜産研究部・飼料生産技術グループ・研究主任・角谷芳樹
- 2) 分担試験場（協力試験場）：
- 3) 共同研究機関（協力機関）：(フォレージテストミーティング、ホクレン農業協同組合連合会農業総合研究所営農支援センター訓子府実証農場)

3. 研究期間：令和5～7年度（2023～2025年度）

4. 研究概要

1) 研究の背景

飼料設計プログラムには、飼養研究の発展に伴いNDF（中性デタージェント纖維）の消化速度が組み込まれるようになってきており、国内の飼料分析センターは対応が求められている。畜産試験場ではこれまでに、牧草サイレージ(GS)、とうもろこしサイレージ(CS)、乾草および低水分牧草サイレージ(HAY)の*in vitro* 培養 30, 120, 240 時間後の未消化NDF(uNDF)あるいは可消化NDF(dNDF)含量を予測する近赤外分光分析(NIRS)用検量線を開発してきた。NDFの消化速度をより正確に予測するためには上記に加えて*in vitro* 培養 12 時間後の消化率が必要である。

2) 研究の目的

GS、CS および HAY の *in vitro* 培養 12 時間後の未消化 NDF 含量を予測する NIRS 用検量線を開発する。

5. 研究内容

1) ルーメン液ドナー牛（乾乳・泌乳）の違いが粗飼料の *in vitro* 培養 12 時間後の纖維消化性に及ぼす影響 (R5～6 年度)

- ・ねらい：乾乳牛由来のルーメン液を用いて uNDF_{12h} を測定し、その値から NIRS 検量線を作成するにあたり、泌乳牛由来のルーメン液との差異を確認し、必要に応じて補正の要否を検討する。
- ・試験項目等：【試料】GS、CS、HAY 各 10 点。【ドナー牛】泌乳牛および乾乳牛。【ドナー牛の飼養】(泌乳牛) TMR 飽食、(乾乳牛) 乾草飽食、圧ペンとうもろこし 2kg/日、大豆粕フレーク 1kg/日。【*in vitro* 培養条件】尿素を添加し、McDougall(1948)に準じる。【培養時間】12 時間。

2) 牧草サイレージの *in vitro* 培養 12 時間後の NDF 消化率の NIRS 検量線の開発 (R5～6 年度)

- ・ねらい：GS の *in vitro* 12 時間培養後の未消化纖維含量を予測する NIRS 検量線を開発する。
- ・試験項目等：【試料】2014～2024 年に全道各地から収集した GS323 点。【分析項目】水分、NDF 含量、未消化 NDF 含量、近赤外スペクトル（使用機器：XDS）。【ドナー牛】乾乳牛。【*in vitro* 培養条件】1)と同じ。【検量線作成】収集した試料を検量線作成用サンプル群と検証用サンプル群に分割し、検証用サンプル群のうち、検量線作成サンプルと異なる生産年のサンプルを未知試料とした。近赤外スペクトルの 1100～2500nm、0.5nm ピッチの波長域について、ノイズ除去・ベースライン補正の前処理を行い、近赤外拡散反射スペクトルから目的成分を予測する回帰分析で検量線を作成。

3) とうもろこしサイレージの *in vitro* 培養 12 時間後の NDF 消化率の NIRS 検量線の開発 (R5～6 年度)

- ・ねらい：CS の *in vitro* 12 時間培養後の未消化纖維含量を予測する NIRS 検量線を開発する。
- ・試験項目等：【試料】2014～2024 年にかけて全道各地から収集した CS254 点。その他は 2)と同じ。

4) 乾草および低水分牧草サイレージの *in vitro* 培養 12 時間後の NDF 消化率の NIRS 検量線の開発 (R6～7 年度)

- ・ねらい：HAY の *in vitro* 12 時間培養後の未消化纖維含量を予測する NIRS 検量線を開発する。
- ・試験項目等：【試料】2018～2024 年にかけて全道各地から収集した HAY218 点。その他は 2)と同じ。

6. 研究成果

- 1) uNDF_{12h} 測定値は、泌乳牛由来ルーメン液を用いた場合と乾乳牛由来の場合とに高い相関が認められ、回帰係数はほぼ 1 であったが、泌乳牛由来の方が 3.29 ポイント低かった（データ略）。以降の試験では、乾乳牛のルーメン液を用いて得られた uNDF_{12h} の測定値から、3.29 ポイント減じた補正值を解析に用いた。
- 2) GS の検量線作成用サンプル群の測定値は、平均 46.9 ± 9.1 で、最小 23.5、最大 69.9 であった。作成した NIRS 検量線の EI 値による精度判定は「高い (B)」であった（表 1、図 1a）。Bias 値は 0.69 と過大評価傾向であったが、その値は SEP よりも小さく、NIRS 検量線作成用サンプル群の予測誤差の範囲であった。
- 3) CS の検量線作成用サンプル群の測定値は、平均 37.1 ± 5.9 で、最小 24.4、最大 52.1 であった。作成した NIRS 検量線の EI 値による精度判定は「高い (B)」であった（表 1、図 1b）。Bias 値は 0.41 と過大評価傾向であったが、その値は SEP よりも小さく、NIRS 検量線作成用サンプル群の予測誤差の範囲であった。
- 4) HAY の検量線作成用サンプル群の測定値は、平均 54.8 ± 8.7 で、最小 27.4、最大 74.3 であった。作成した NIRS 検量線の EI 値による精度判定は「高い (B)」であった（表 1、図 1c）。Bias 値は -0.35 と過小評価傾向であったが、その値は SEP よりも小さく、NIRS 検量線作成用サンプル群の予測誤差の範囲であった。

本試験で作成した検量線の適用対象外とする基準として、NDF 消化率の予測値が後続の培養時間の値より低くなる等、経時的な消化の進行と矛盾した場合および NDF 消化率の値が負となった場合とを暫定的に定めた。分析機関におけるこのような試料の出現頻度は GS、CS、HAY でそれぞれ 0.2%、0.3% および 0.3% であった。

<具体的データ>

表 1. 粗飼料の *in vitro* 培養 12 時間後の未消化 NDF (uNDF_{12h} 、%DM) を予測する NIRS 検量線の精度

| 種類 ¹⁾ | 項目 ²⁾ (%DM) | 化学分析値 | | | | | 検証用サンプル群の予測精度 ⁴⁾ | | | | | | | | |
|------------------|---------------------------|-------|-----|------|------------------|------|-----------------------------|----------------|-------|-------|-------|------|------|------|------------------|
| | | サンプル群 | n | 平均 | SD ³⁾ | 最小 | 最大 | R ² | Bias | Slope | RMSEP | SDP | SEP | EI | 判定 ⁴⁾ |
| GS | uNDF_{12h} | 検証用 | 183 | 46.9 | 8.0 | 29.0 | 67.2 | 0.89 | 0.69 | 0.94 | 2.85 | 2.76 | 2.74 | 14.4 | B |
| | | (作成用) | 140 | 46.9 | 9.1 | 23.5 | 69.9 | | | | | | | | |
| CS | uNDF_{12h} | 検証用 | 160 | 35.7 | 3.9 | 26.4 | 47.1 | 0.74 | 0.41 | 0.89 | 2.18 | 2.14 | 2.03 | 20.6 | B |
| | | (作成用) | 94 | 37.1 | 5.9 | 24.4 | 52.1 | | | | | | | | |
| HAY | uNDF_{12h} | 検証用 | 102 | 56.6 | 8.1 | 33.3 | 73.8 | 0.86 | -0.35 | 0.89 | 3.06 | 3.04 | 3.06 | 15.0 | B |
| | | (作成用) | 116 | 54.8 | 8.7 | 27.4 | 74.3 | | | | | | | | |

1) GS : 牧草サイレージ, CS : とうもろこしサイレージ, HAY : 乾草および低水分牧草サイレージ. 2) uNDF : 未消化NDF. 3) 標準偏差

4) R² : 寄与率, Bias : 予測残差 (予測値 - 実測値) の平均値, Slope : 予測値 (y) と実測値 (x) の傾き, RMSEP : 予測誤差, SDP : 予測残差の標準偏差, SEP : 予測値 (x) と実測値 (y) の回帰の標準誤差, EI : 200 × SDP / 分析値のレンジ. 4) EI 値による判定.

判定の基準は0.0-12.4 : 非常に高い (A), 12.5-24.9 : 高い (B), 25.0-37.4 : やや高い (C), 37.5-49.9 : 低い (D), 50.0- : 非常に低い (E).

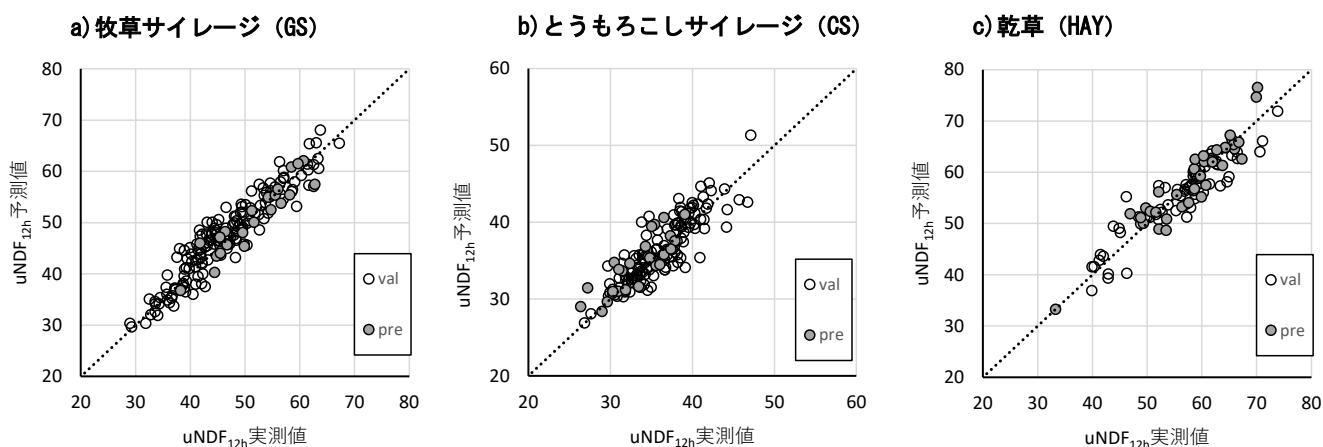


図 1. uNDF_{12h} の化学分析による実測値と NIRS による予測値の関係
(横軸 : 化学分析による実測値、縦軸 : NIRS による予測値)

val : 検証用サンプル群、pre : 未知試料

7. 成果の活用策

1) 成果の活用面と留意点

- 開発した NIRS 検量線は、北海道の粗飼料分析機関 10 機関が参画するフォレージテストミーティング (FTM) に導入される。本検量線を用いた分析値は、FTM の粗飼料分析サービスを通じて、個別農家や TMR センターに提供され、飼料設計や給与診断などに活用される。
- 本検量線で得られた予測値は、CNCPS の理論を基にした飼料設計プログラムの入力値として使用する。
- 本 NIRS 検量線の適用範囲は、多様な産地、草種、品種、調製条件を含むものであるが、適用の対象外として、NDFD の予測値が各培養時間で逆転した場合および NDFD の値が負となった場合は NDF 消化率の分析値を提供できないことがある。
- 本成績は近赤外分析機器 NIRS XDS Master Lab Analyzer (メトローム社) を用いて得られた結果である。

2) 残された問題とその対応 なし

8. 研究成果の発表等 なし

用語および略記 :

NDF 消化率 (NDFD) 、可消化 NDF (dNDF) 、未消化 NDF (uNDF)

試料をルーメン液と一定時間、共培養し、その未消化物の NDF を測定したものを未消化 NDF (uNDF, %DM) 、試料のもとの NDF から未消化 NDF を差し引いた消化した NDF を可消化 NDF (dNDF, %DM) 、試料のもとの NDF 中の可消化 NDF の割合を NDF 消化率 (NDFD, %NDF) とした。培養時間を「dNDF_{30h}」などのように添字として表記するのが一般的である。計算方法は以下の通り

$$\text{dNDF} (\%) = \text{NDF} (\%) - \text{uNDF} (\%) \quad \text{NDFD} (\%) = 100 \times \text{dNDF} (\%) / \text{NDF} (\%)$$

CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System)

コーネル大学が開発している栄養モデル。飼料中の炭水化物やタンパク質の消化・通過動態等から「飼料」と「生産」について、評価する。