

## アンモニア処理乾草の飼料価値の推定

|       |   |
|-------|---|
| 誌名    | 日本草地学会誌   |
| ISSN  | 04475933  |
| 著者    | 小川, 増弘<br>箭原, 信男<br>増淵, 敏彦<br>押部, 明德<br>加茂, 幹男<br>中川西, 弘之 |
| 巻/号   | 32巻4号   |
| 掲載ページ | p. 408-413  |
| 発行年月  | 1987年1月   |

## アンモニア処理乾草の飼料価値の推定

小川増弘\*・箭原信男\*\*・増淵敏彦\*  
押部明德\*・加茂幹男\*・中川西弘之\*

### 要 旨

小川増弘・箭原信男・増淵敏彦・押部明德・加茂幹男・中川西弘之 (1987): アンモニア処理乾草の飼料価値の推定. 日草誌 32, 410-415.

アンモニア処理乾草を主体にし、稲わらを含む乾草 14 点について、綿羊を用いた消化試験によって実測された TDN, DCP 含量と各成分の含量との関係から、TDN 及び DCP 含量の推定式を検討した。

OCC + Oa と Ob, OCC と Oa あるいは粗蛋白質含量と DMD を用いた、それぞれの TDN 含量に対する重回帰式、OCC + Oa の 1 次と 2 次の回帰式、DMD, OMD の 2 次回帰式などは、いずれも寄与率が高く、標準誤差は小さな値を示した。そのため、これらの回帰式は TDN 含量の推定式として有効であると認められた。その中で、特に、OCC + Oa を独立変数とする 2 次回帰式、 $Y = 16.651 + 1.494 X - 0.012 X^2$  (Y: TDN 含量, X: OCC + Oa) は寄与率が最も高く ( $R^2 = 0.951$ )、標準誤差が最も小さく ( $Se = 1.184$ )、優れた推定式と判断された。

DCP 含量の推定では粗蛋白質含量を独立変数とする 1 次回帰式、 $Y = -2.100 + 0.684 X$  (Y: DCP 含量, X: 粗蛋白質含量) は寄与率が高く ( $R^2 = 0.949$ )、標準誤差が小さかった ( $Se = 0.708$ )。

これらの回帰式はアンモニア処理乾草と無処理乾草のどちらについても、その TDN 及び DCP 含量を高い精度で推定可能な式であると判断された。

キーワード: アンモニア処理乾草, 酵素分析法, TDN 含量, DCP 含量.

### 緒 言

わが国では、乾草調製時期が降雨量の多い時期と重なりがちで、自然乾燥法による良質乾草の調製が困難である。一方、火力乾燥法は経費が高いという問題がある。

このような事情を背景とするところから、近年、アンモニア処理による高水分乾草 (水分 20~40% 程度) 調製保存法の研究が展開され、技術として一部普及し始めている。この方法は、アンモニアの防黴剤としての性質を利用して貯蔵中の変敗による乾物、養分の損失を防止する事を第一義的な目的としている。しかし、同時にアンモニアのアルカリとしての性質に由来する飼料価値改善の効果にも大きな期待がかけられている。

乾草、わら類をアンモニア処理する事によってその乾物消化率、TDN 含量などが上昇するという知見も多く得られている<sup>4-6,9)</sup>。そして、その場合の栄養価の向上の程度はアンモニア濃度、処理対象の性質等によってそれぞれ異なり一定ではない。

そこでアンモニア処理乾草やわら類の栄養価を簡易に

\* 草地試験場, 西那須野町千本松 (〒329-27)。

\*\* 北海道農業試験場, 札幌市豊平区羊ヶ丘 (〒061-01)

評価する方法が処理の効果の判定及び飼料給与計算のために必要である。

通常の乾草に対する簡易な栄養価の査定法は、従来から多くの提案がされており、近年、阿部ら<sup>1)</sup>は酵素分析法をもとにした TDN 含量の推定法を提案している。しかし、アンモニア処理乾草については検討されていない。

今回、アンモニア処理乾草と無処理乾草について、その TDN 含量と DCP 含量を 1 因子または 2 因子から成る回帰式によって推定する方法を検討したので報告する。

### 材料及び方法

1) 供試試料: 供試した試料はオーチャードグラス乾草 12 点 (アンモニア処理乾草 7 点, 無処理乾草 5 点, このうちに、同一材料から調製した処理乾草と無処理乾草 4 組を含む) とアンモニア処理した稲わら 2 点の計 14 点である。これらはいずれも箭原らが東北農業試験場で調製し、消化試験を実施したものであり、アンモニア処理効果についての報告<sup>11)</sup>などに用いたサンプルである。消化試験は綿羊を用いて実施されている。

2) 試料の分析：供試した試料を蛋白質分解酵素（アクチナーゼ）と繊維分解酵素（セルラーゼ）を用いて培養し、乾物及び有機物消化率（DMD 及び OMD）を測定<sup>1)</sup>した。また、酵素分析法によって<sup>12)</sup> 飼料の有機物を細胞内容物質（Organic cellular contents, OCC）及び細胞壁物質（Organic cell wall, OCW）とに分画し、更に、OCW はセルラーゼ可溶性区分（Organic 'a' fraction, Oa）と不溶性区分（Organic 'b' fraction, Ob）とに分画した。

なお、試料の有機物、粗蛋白質含量は箭原らが常法<sup>7)</sup>によって定量したデータを用いた。

3) TDN 及び DCP 含量の推定法：酵素を用いて測定した乾物の消化率及び各種成分含量と in vivo（綿羊）の消化試験で得られた TDN, DCP 含量の間に回帰式の設定を試みた。

### 結 果

#### 1) TDN 含量の推定

##### (1) 1次回帰式による推定

試料の個々の成分の含量と TDN 含量の実測値との1次回帰式とその寄与率（ $R^2$ ）、標準誤差（Se）を表1に示した。

DMD と OMD を因子とする回帰式はともに高い寄与率を示した（それぞれ、 $R^2=0.854, 0.853$ ）。また、酵素分析による成分では、OCC + Oa を因子とする回帰式は、今回調査した成分の中で最も高い寄与率（ $R^2=0.904$ ）と最も小さな標準誤差（Se = 1.658）を示した。

DMD 及び OCC + Oa と TDN 含量の相関図を図1、図2に示した。アンモニア処理乾草（稲わらを含む、以下同様）と無処理乾草を合せて、DMD 及び OCC + Oa と TDN 含量は相関性の強い分布を示した。しかし、DMD が60% 以上の場合、あるいは OCC + Oa が50% 以上の含量の場合、TDN 含量はそれ以上は上昇しないという傾向を示した。なお、OMD と TDN 含量の相関図は DMD とのそれと同様の傾向を示した。

Table 1. Estimation of TDN content by single regression equation

| Component | Regression equation | $R^2$ | Se    |
|-----------|---------------------|-------|-------|
| DMD       | $Y=35.833+0.431X$   | 0.854 | 2.045 |
| OMD       | $Y=36.678+0.434X$   | 0.853 | 2.057 |
| OCC       | $Y=36.335+8.845X$   | 0.696 | 2.955 |
| OCW       | $Y=115.132-0.883X$  | 0.657 | 3.139 |
| Oa        | $Y=42.980+0.771X$   | 0.740 | 2.739 |
| Ob        | $Y=78.547-0.450X$   | 0.767 | 2.586 |
| OCC+Oa    | $Y=35.533+0.510X$   | 0.904 | 1.658 |

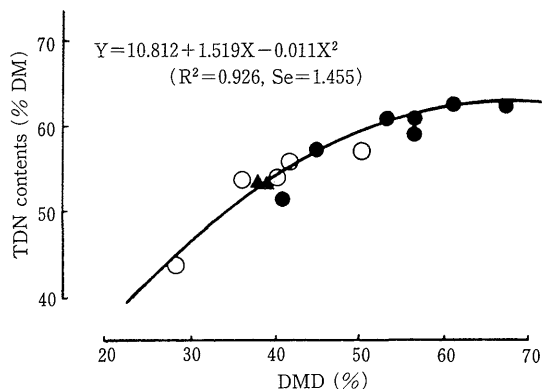


Fig. 1. Relation between DMD contents and TDN contents in hay.

- : Ammoniated hay.
- ▲ : Ammoniated rice straw.
- : control hay.

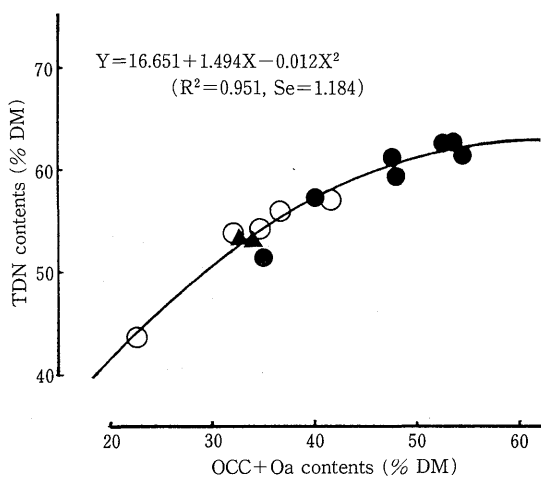


Fig. 2. Relation between OCC + Oa contents and TDN contents in hay.

- : Ammoniated hay.
- ▲ : Ammoniated rice straw.
- : control hay.

Table 2. Estimation of TDN content by quadrate regression equation

| Component | Regression equation         | $R^2$ | Se    |
|-----------|-----------------------------|-------|-------|
| DMD       | $Y=10.812+1.519X-0.011X^2$  | 0.926 | 1.455 |
| OMD       | $Y=18.517+1.268X-0.009X^2$  | 0.914 | 1.569 |
| OCC       | $Y=56.562-1.013X+0.041X^2$  | 0.733 | 2.788 |
| OCW       | $Y=-32.637+3.595X-0.034X^2$ | 0.668 | 3.085 |
| Oa        | $Y=38.487+1.399X-0.019X^2$  | 0.767 | 2.584 |
| Ob        | $Y=62.613+0.207X-0.007X^2$  | 0.784 | 2.491 |
| OCC+Oa    | $Y=16.651+1.494X-0.012X^2$  | 0.951 | 1.184 |

Table 3. Estimation of TDN content by multiple regression equation

| Component      |                | Regression equation                               | R <sup>2</sup> | Se    |
|----------------|----------------|---|----------------|-------|
| X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> |   |                |       |
| OM             | DMD            | Y=33.221-0.006X <sub>1</sub> +0.433X <sub>2</sub> | 0.855          | 2.132 |
| OM             | OMD            | Y=37.357-0.010X <sub>1</sub> +0.437X <sub>2</sub> | 0.854          | 2.136 |
| CP             | DMD            | Y=36.334-0.403X <sub>1</sub> +0.546X <sub>2</sub> | 0.906          | 1.715 |
| CP             | OMD            | Y=37.380-0.313X <sub>1</sub> +0.520X <sub>2</sub> | 0.886          | 1.886 |
| OCC            | OCW            | Y=73.752+0.522X <sub>1</sub> -0.447X <sub>2</sub> | 0.762          | 2.727 |
| OCC            | Oa             | Y=35.617+0.507X <sub>1</sub> +0.507X <sub>2</sub> | 0.904          | 1.732 |
| OCC            | Ob             | Y=60.554+0.437X <sub>1</sub> -0.294X <sub>2</sub> | 0.861          | 2.089 |
| OCC+Oa         | Ob             | Y=26.181+0.612X <sub>1</sub> +0.104X <sub>2</sub> | 0.909          | 1.691 |
| OCW            | Ob             | Y=69.497+0.203X <sub>1</sub> -0.541X <sub>2</sub> | 0.771          | 2.680 |

## (2) 2次回帰式による推定

次に、個々の成分含量と TDN 含量の実測値との 2 次回帰式とその寄与率及び標準誤差を表 2 に示した。

各成分とも 2 次回帰式の寄与率は 1 次回帰式のそれより高く、特に DMD, OMD 及び OCC + Oa を因子とする回帰式では大きな上昇を示した。2 次回帰式のうちで OCC + Oa を因子とするものが、今回調査した中で最も高い寄与率 (R<sup>2</sup>=0.951) と最も小さな標準誤差 (Se = 1.184) を示した。また DMD と OMD についても R<sup>2</sup>=0.9 以上の高い寄与率を示す回帰式が得られた。

このように、OCC + Oa, DMD 及び OMD を因子とする 2 次回帰式によって、TDN 含量の推定は極めて高精度で可能なが示された。

## (3) 重回帰式による推定

2 種類の因子の各含量と TDN 含量の実測値との重回帰式を求めて、その寄与率と標準誤差を合せて表 3 に示した。

有機物あるいは粗蛋白質含量と DMD あるいは OMD との組み合わせの中では、粗蛋白質含量と DMD を因子とする重回帰式が最も高い寄与率 (R<sup>2</sup>=0.906) を示し、回帰式の係数は粗蛋白質含量が負、DMD が正であった。

酵素分析による成分についてみると、OCC と Oa の組み合わせと OCC + Oa と Ob の組み合わせによる重回帰式が高い寄与率 (それぞれ、R<sup>2</sup>=0.904, 0.909) を示し、後者の寄与率は今回検討した重回帰式の中で最も高かった。

以上のように、粗蛋白質含量と DMD, OCC と Oa 及び OCC + Oa と Ob の組み合わせによる 3 種類の重回帰式は、いずれも寄与率は 0.9 以上で、標準誤差は 2.0 以下であったことから、これらの式によって、TDN 含量は高精度に推定出来ることが示された。

## 2) アンモニア処理による OCW の変化

次にアンモニア処理が OCW の構成成分に及ぼす影響を TDN 含量との関連で検討するために、同一原料草から調製した 4 組のアンモニア処理乾草と無処理乾草について、OCC, Oa, 及び Ob の有機物中の含量と TDN 含量の変化を図 3 に示した。

OCC と Oa は各組ともアンモニア処理によって上昇し、特に Oa の上昇は顕著で OCC + Oa の上昇は有機物当たりで 5~14% に達した。また、TDN 含量も処理乾草の方が 2~7% 高く、OCC + Oa の上昇が大きい乾草ほど TDN 含量の上昇が大きかった。

## 3) DCP 含量の推定

1 因子としての成分含量と DCP 含量の実測値との 1 次回帰式を、その寄与率並びに標準誤差とあわせて表 4 に示した。

DCP 含量は粗蛋白質含量との回帰式が高い寄与率

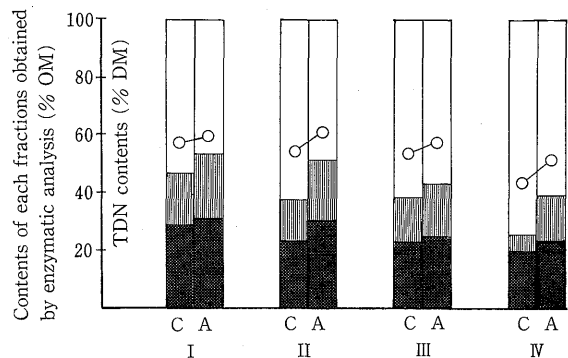


Fig. 3. Effects of ammonia treatment on the contents of each fractions obtained by enzymatic analysis and TDN content of orchardgrass hays.

I: First cutting, heading stage.

II: First cutting, blooming stage.

III: First cutting, heading stage, exposed to rain.

IV: Third cutting, exposed to rain.

C: Control hay. A: Ammoniated hay.

■: OCC. ▨: Oa. □: Ob.

○—○: TDN contents.

Table 4. Estimation of DCP content by single regression equation

| Component | Regression equation   | R <sup>2</sup> | Se    |
|-----------|-----------------------|----------------|-------|
| DMD       | $Y = -2.183 + 0.215X$ | 0.621          | 1.926 |
| OMD       | $Y = -1.269 + 0.205X$ | 0.558          | 2.080 |
| OCC       | $Y = -3.517 + 0.488X$ | 0.681          | 1.765 |
| OCW       | $Y = 36.239 - 0.424X$ | 0.444          | 2.331 |
| Oa        | $Y = 3.087 + 0.283X$  | 0.292          | 2.631 |
| Ob        | $Y = 17.238 - 0.187X$ | 0.390          | 2.443 |
| OCC+Oa    | $Y = -1.596 + 0.235X$ | 0.566          | 2.061 |
| CP        | $Y = -2.100 + 0.684X$ | 0.949          | 0.708 |

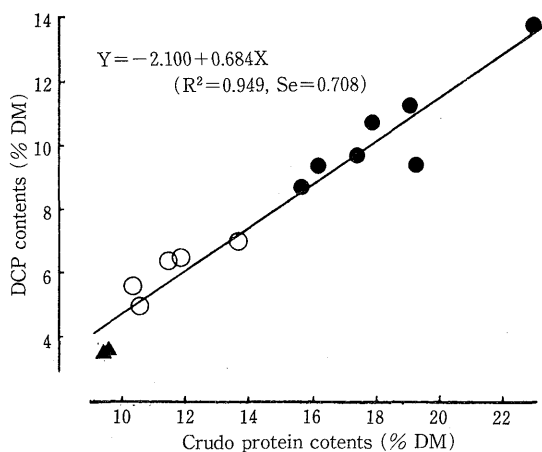


Fig. 4. Relation between crude protein contents and DCP contents in hay.

- : Ammoniated hay.
- ▲ : Ammoniated rice straw.
- : control hay.

( $R^2=0.949$ ) と小さな標準誤差を ( $Se=0.708$ ) を示した。そこで、これらの相関図を図 4 に示した。この図から明らかなように、DCP 含量と粗蛋白質含量はアンモニア処理乾草と無処理乾草に関係なく、極めて高い直線関係を示した。

## 考 察

乾草の飼料価値を化学分析値から簡易に推定する方法は古くから数多く提案されているが、阿部ら<sup>1)</sup>は乾草の有機物を OCC+Oa と Ob に分け、これらを基にした重回帰式によって精度の高い TDN 含量の推定が可能なることを明らかにした。

本報告では、アンモニア処理乾草と無処理乾草について、1 因子の 1 次と 2 次の回帰式では OCC+Oa を X とした場合の寄与率が最も高かった。また、2 因子による重回帰式では、OCC+Oa と Ob の組合せが最も高い寄与率を示し、上記の阿部らの報告と同様の傾向を示

した。

これらの回帰式の回帰定数及び回帰係数を阿部らの報文に示されたオーチャードグラス及び混播牧草の結果と比較すると、本報告における 1 次回帰式が

$$Y = 35.533 + 0.510 X$$

であったのに対して、阿部らの回帰式は

$$Y = 32.9 + 0.563 X$$

(両式とも Y は TDN 含量 % DM, X は OCC+Oa % DM) で両式は類似していた。一方、重回帰式を比較すると、本報告と阿部らの報文の回帰式はそれぞれ、

$$Y = 26.181 + 0.612 X_1 + 0.104 X_2$$

$$Y = -18.8 + 1.111 X_1 + 0.605 X_2$$

(両式とも Y は TDN 含量 % DM,  $X_1$  は OCC+Oa % DM,  $X_2$  は Ob % DM) となり、回帰定数と 2 つの係数は大きく異なった。これらの差異がアンモニア処理乾草を主体としたものの特徴なのか、あるいは供試したサンプルの草種等の差異によるものかは明らかではない。しかし、いずれにしても OCC+Oa を因子とする 1 次と 2 次の回帰式または OCC+Oa と Ob を因子とする重回帰式が、今回調査した回帰式の中で、それぞれ最高の寄与率と最小の標準誤差を示したことは阿部らの報文と共通しており、アンモニア処理乾草においても試料の有機物を易消化性部分と低消化性繊維に分けて考えることの合理性を示していると考えられる。

同一原料から調製したアンモニア処理乾草を無処理乾草と比較すると OCC の増加は小さかったが OCW 中の Oa と Ob の構成は著しく変化し、処理によって Oa は著しく増加し、この変化が大きいほど、TDN 含量は顕著に上昇した。

箭原ら<sup>10)</sup>はアンモニア処理した半乾燥稲わらについて、OCC の増加とヘミセルロースの減少を認め、熊瀬<sup>6)</sup>と伊藤<sup>5)</sup>はアンモニア処理によるヘミセルロースの減少を報告した。

以上の事から、アンモニア処理による TDN 含量の上昇は繊維成分の変化によってもたらされると考える事ができる。そして、繊維成分の構造の変化に対してセルラーゼが鋭敏に反応し、その結果、OCW 中の Oa と Ob の含量の処理による差が拡大したものと判断される。本試験において、OCC+Oa を因子とする回帰式や、これに Ob を組合せた重回帰式が高い寄与率を示した事はその結果と推察してよいであろう。

アンモニア処理乾草と無処理乾草について個別に求めた DCP と粗蛋白質含量の回帰式は統計的に差が無く、ふたつの回帰式は併合して扱かえると判断された。また、TDN 含量と上記の諸因子の 2 次の回帰式については、

統計的にふたつの回帰式は併合しうるとは認められなかったが、両乾草を合わせて求めた回帰式は残差分散に対して有意になったので、TDN 含量についても同様にアンモニア処理乾草と無処理乾草のふたつの回帰式を併合して扱った。

アクチナーゼとセルラーゼの2段階法による DMD について、Toyokawa ら<sup>8)</sup>は稲わらの飼料価値の推定に対して有効性を認めている。また、阿部・堀井<sup>9)</sup>は中性デタージェント、セルラーゼ連続処理における乾物分解率と TDN 含量の相関は高かったと報告し、また、中性デタージェント処理の代りに、アクチナーゼによって加水分解されるアクチナーゼとセルラーゼの2段階法についても同様の報告を行なっている<sup>1)</sup>。

本試験では DMD と OCC + Oa はともに、1次回帰式より2次回帰式の方がはるかに高い寄与率と小さい標準誤差を示した。これは、これらの関係が直線的でなく、曲線的なことを示しており、酵素分析では試料の繊維成分の分解性が高ければそれだけ酵素による分解率が単純に高くなるのに対して、生体内における消化作用はより複雑なことを示唆している。

阿部<sup>9)</sup>は牛用飼料サンプルの218点について、粗蛋白質含量と DCP 含量の相関はきわめて高く、 $r=0.986$ で、その回帰式は

$$Y = -3.5 + 0.924 X$$

(Yは DCP 含量, Xは粗蛋白質含量)であったと報告している。また、Toyokawa ら<sup>8)</sup>は稲わらについて、一般成分、デタージェント分析成分及び DMD と DCP 含量の相関を検討し、その中で粗蛋白質含量との相関が最も高く、(相関係数,  $r=0.976$ )、その回帰式は

$$Y = -2.5 + 0.84 X$$

(Y, X は上式と同じ)であったと報告している。

本試験においても、DCP 含量は粗蛋白質含量との相関が最も高く、上記の報告と同様の結果を示した。また、回帰定数と回帰係数はそれぞれ、 $-2.1$ と $0.684$ であり絶対値は上記報告より小さかった。

前述のように、DCP 含量は、アンモニア処理乾草と無処理乾草を、粗蛋白質含量を独立変数とする一つの回帰式によって推定しうると考える。しかし、粗蛋白質含量は乾燥した試料について分析したものであり、乾燥中のアンモニアの消失量は明らかにできなかった。また、本報告の DCP 含量はあくまでも摂取した粗蛋白質のみかけ上消化された量であり、体内におけるその利用率を示してはいないので、アンモニア処理乾草で推定され

た DCP 含量が無処理のそれと同一の飼料価値を意味するか否かは、本稿とは別次元の問題として残されている<sup>10)</sup>。

以上、稲わらを含むアンモニア処理乾草と無処理乾草の TDN 含量と DCP 含量の推定法を検討した結果、TDN 含量は OCC + Oa と Ob, OCC と Oa あるいは粗蛋白質含量と DMD の重回帰式、OCC + Oa の1次と2次の回帰式、さらに DMD と OMD それぞれの2次回帰式の寄与率が0.9以上と高かったことから、これらの回帰式が TDN 含量の推定式として有効であると考えられ、特に、OCC + Oa を独立変数とする2次回帰式が最も精度の高い推定式であると認められた。

DCP 含量は粗蛋白質含量との2次回帰式で寄与率が極めて高く、本式の有効性が確認された。

これらの推定式は、いずれもアンモニア処理乾草と無処理乾草について一律に適用しうると考えられることから、アンモニア処理乾草の飼料価値を推定できるだけではなく、これらの式を用いてアンモニア処理の栄養価改善効果を簡易に推定しうると判断された。しかし、今回は供試した試料の点数が少なかったことから、今後、より多くの試料について検討し、推定式の精度を高めることが必要と考える。

## 謝 辞

終りに当たり、本稿を御校閲くださった畜産試験場栄養部 阿部亮室長に謝意を表します。

## 引用文献

- 1) 阿部 亮・篠田 満・岩崎 薫・佐藤文俊・須田孝雄・高橋 敏 (1985) 日畜会報 56, 12-19.
- 2) 阿部 亮・堀井 聡 (1974) 日草誌 20, 16-21.
- 3) 阿部 亮 (1975) 畜試年報 14, 143-155.
- 4) 藤田 裕 (1984) 日畜道支部会報 27, 1-12.
- 5) 伊藤 宏 (1983) 日畜会報 54, 487-496.
- 6) 熊瀬 登・出原裕次・佐藤泰子・藤田 裕 (1982) 畜大研報 13, 43-50.
- 7) 森本 宏監修 (1971) 動物栄養試験法. 東京: pp. 280-298.
- 8) TOYOKAWA K., K. HANZAWA, T. Inoue, A. SAKAMOTO & K. TSUBOMATU (1986) Jpn. J. Zootch. Sci., 57, 58-64.
- 9) 箭原信男・沼川武雄 (1987) 日畜会報 49, 648-652.
- 10) 箭原信男・沼川武雄 (1978) 日草誌 24, 別号, 205-206.
- 11) 箭原信男・高井慎二・名久井忠 (1983) 日草誌 29, 別号, 203-204.
- 12) 畜産試験場 (1981) 新しい飼料分析法とその応用. 畜産試験場資料 No. 56-1.

## Estimation of TDN and DCP Contents in Ammoniated Hay

Masuhiko OGAWA, Nobuo YAHARA, Toshihiko MASUBUCHI,  
Akinori OSHIBE, Mikio KAMO and Hiroyuki NAKAGAWASAI

National Grassland Research Institute, Nishinasuno, Tochigi 329-27, Japan  
Hokkaido National Agricultural Experiment Station, Hitsujigaoka, Sapporo 061-01, Japan

## Summary

Convenient method for estimating TDN and DCP contents in ammoniated hay was examined in this report. Feed organic matter was divided into following three fractions ; organic cellular contents (OCC), organic 'a' fraction in cell wall (Oa ; organic matter digested by cellulase) and organic 'b' fraction in cell wall (Ob ; residual organic matter after cellulase digestion) by successive treatments with actinase and cellulase. Regression equations between in vivo TDN (with sheep) and some fractions mentioned above were calculated to estimate TDN and DCP contents. Better estimations were obtained with using various fractions determined by enzymatic analysis.

TDN content was estimated from OCC + Oa fraction with the highest applicability as shown in the following quadratic regression equation ;  $Y = 16.651 + 1.494 X - 0.012 X^2$  ( $R^2 = 0.951$ ,  $Se = 1.184$ ), where  $Y =$  TDN content in % dry matter and  $X =$  organic cellular content (OCC) + high digestible fiber (Oa). DCP content was estimated with the best result from crude protein content as shown in following linear regression equation ;  $Y = -2.100 + 0.684 X$  ( $R^2 = 0.949$ ,  $Se = 0.708$ ) where  $Y =$  DCP content % dry matter and  $X =$  crude protein content.

**Key words :** Ammoniated hay, DCP content, Enzymatic analysis, TDN content.

(J. Japan. Grassl. Sci., 32, 408-413, 1987)