

## 近赤外分析計による混合飼料の成分分析

秋田 勉\*・森 登\*\*

### 要 約

トウモロコシサイレーズ主体及び乾草主体の混合飼料を用いた乳牛の全ふん採取法による消化試験を行い、混合飼料のリグニンによる消化率、栄養価及び成分含有率を近赤外分析計で推定する方法を検討した。

- 1 混合飼料の乾物消化率、中性デタージェント繊維消化率及び栄養価は混合飼料及びふん中のリグニン含量から推定可能である。
- 2 ふん及び混合飼料中の水分、粗蛋白質、粗脂肪、酸性デタージェントリグニンは近赤外分析計で高い精度で推定可能である。また混合飼料中蛋白質分画成分の溶解性蛋白質、結合性蛋白質含量は同様に推定可能である。しかし、粗灰分、細胞壁物質、低消化性繊維の推定精度は低かった。

### Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Determining Components of Feedstuffs in a Total Mixed Ration

Tutomu AKITA and Noboru Mori

### Summary

This study was made up of two experiments. In one experiment, two kind of rations used for *in vivo* digestibility were composed of combinations of corn silage or timothy hay and concentrates. Lignin content in these rations and feces collected from digestion trials using dairy cattle were analyzed to estimate digestibility and Total Digestible Nutrient (TDN) based on a lignin indicator method. In the other experiment, Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) was used to estimate the components of feedstuffs in the Total Mixed Ration (TMR) and feces of dairy cattle.

- (1) The dry matter digestibility, neutral detergent fibre digestibility and TDN of TMR were estimated from the lignin content of the feces and feed.
- (2) The contents of moisture, crude protein, crude fat and acid detergent fiber in TMR and feces were estimated precisely by NIRS. Also the soluble protein and combined protein in protein were estimated. But precision of the estimation for crude ash, cell wall substance and lower digestible fiber were slightly lower.

キーワード：混合飼料、近赤外分析計、飼料成分、栄養価

### 緒 言

今日、酪農では粗飼料、濃厚飼料の個別分離給与方式から、両者を混合して給与する混合飼料 (Total Mixed Ration, TMR) 方式に移行する農家が増えてきている。TMR は①給与労力の大幅な低減、②栄養的に均一な飼料の給与が可能、③粕類飼料等の食品及び農業副産物の有効利用など多くの利点がある。また、肉牛肥育農家でも TMR を導入しており、繁殖和牛飼育農家も共同の飼

料配合所 (TMR センター) 等からの TMR 供給体制が整えば利用可能であり、TMR は今後、大家畜飼養の中心的な給与方式になる可能性が高い。しかし、TMR 普及上問題となるのが、TMR の栄養価の評価方法で、現状の飼料成分表を利用した可消化粗蛋白質 (DCP)、可消化養分総量 (TDN) だけの表示システムでは情報不足である。そのため、第一胃での発酵を考慮に入れた蛋白質の溶解度や細胞内容物、細胞壁物質の消化特性を取り込んだ TMR の評価手法が求められている。今井ら<sup>1)</sup>は混合サイレーズ及び混合飼料の TDN (綿羊) はいずれも酸性デタージェント繊維 (ADF) 含量で推定可能

2001年8月30日受理

\* 中央農業技術センター \*\* 現神戸農林水産振興事務所

表1 トウモロコシサイレーズ主体のTMR

飼料名		飼料名	
トウモロコシサイレーズ	19.4	配合飼料	0.9
ビートパルプ	12.5	大豆粕	8.2
ハイキューブ	5.9	魚粉	1.3
チモシー	12.6	トウモロコシ	23.6
綿実	4.2	大麦	8.9
コーングルテンミール	1.2	ミネラル他	1.4

乾物中%、配合飼料 (CP 7.6%、TDN 130%)

表2 乾草主体のTMR

飼料名		飼料名	
チモシー	29.0	トウモロコシ	25.0
ビートパルプ	12.4	大豆粕	7.3
ハイキューブ	7.9	魚粉	1.3
綿実	4.1	大麦	8.8
Calory 130	1.7	ミネラル他	1.4
コーングルテンミール	1.2		

乾物中%

表3 トウモロコシサイレーズ主体TMRの設計値と分析値(乾物中%)

	乾物	粗蛋白質	粗脂肪	NDF	ADF	ADL	TDN
設計値	60.00	15.64	4.35	32.90	20.58	-	74.11
分析値	52.36	15.26	3.51	31.89	19.08	2.47	69.61

であり、また秋田<sup>1)</sup>は分離給与での飼料全体のTDNは近赤外分析計(Near Infrared Reflectance Spectroscopy, NIRS)で推定可能と報告している。そこで大家畜のTMRの栄養価及び蛋白質溶解度を簡易且つ迅速に測定するため、全ふん採取法による消化試験のふん及びTMRを用いてその成分含有率並びに蛋白質分画成分の溶解性蛋白質、結合蛋白質をNIRSで迅速に測定する方法を検討した。

### 材料及び方法

#### 1 全ふん採取法による消化試験

供試飼料はトウモロコシサイレーズ及び乾草主体の2種類のTMRを用い、その構成は表1と表2に示した。供試家畜はホルスタイン種乾乳牛4頭を用い、飼料は朝夕2回給与し、飽食させた。消化試験は*in vivo*法により予備期7日、試験期3日とし、供試牛にふん尿分離ハーネスを介してふん採取用袋の装着により全ふんを採取した。採取ふんは縮分して、60℃、1昼夜通風乾燥後粉碎(1.0mmメッシュ)し、分析に供した。酸性デタージェントリグニン(ADL)法による消化率は100-(飼料

表4 乾草主体のTMRの設計値と分析値(乾物中%)

	乾物	粗蛋白質	粗脂肪	NDF	ADF	ADL	TDN
設計値	59.90	16.78	4.57	32.16	21.40	-	73.97
分析値	55.87	17.58	4.22	33.67	19.84	3.20	74.33

表5 トウモロコシサイレーズ主体TMRの消化率(1)

牛 No.	体重 (kg)	乾物摂取量 体重比 (%)	ADL 回収率 (%)	乾物消化率 (%)		
				<i>in vivo</i> 法	ADL法	差
1	595	3.1	101.9	68.9	68.2	-0.7
2	612	2.9	101.8	70.9	70.4	-0.5
3	520	3.0	94.7	71.4	72.9	1.4
4	484	3.6	89.1	64.1	67.6	3.5

表6 トウモロコシサイレーズ主体TMRの消化率、栄養価(2)

牛 No.	NDF消化率 (%)			TDN		
	<i>in vivo</i> 法	ADL法	差	<i>in vivo</i> 法	ADL法	差
1	51.8	50.8	1.0	69.4	68.9	-0.5
2	55.4	54.6	0.8	71.7	71.3	-0.5
3	56.1	58.3	-2.2	72.4	73.7	1.3
4	43.0	48.6	-5.6	64.8	68.1	3.3

中ADL含量/ふん中ADL含量) × (ふん中成分含量/飼料中成分含量) × 100から算出した。

#### 2 TMR及びふん中飼料成分のNIRSによる測定

NIRSの検量線作成用標準試料は本県でTMRを給与している酪農家25戸からTMRとふんを2回採取し、各々51サンプルを収集した。また別途バリデーション用試料はTMR 21サンプル、ふん12サンプルを収集した。TMR及び生ふんは60℃、1昼夜乾燥した。粉碎は微粉碎機を用い1.0mmメッシュ(成分分析用)及び0.5mmメッシュ(NIRSへの読みみ)で行った。分析用及びNIRS用試料の水分は105℃、16時間通風乾燥で求めた。化学分析は①水分、粗蛋白質(CP)等の一般成分、②中性デタージェント繊維(NDF)、酸性デタージェント繊維(ADF)、③酵素分析による細胞壁物質(OCW)、OCWのセルラーゼ不溶部分(Ob)、④蛋白質分画部分の溶解性蛋白質(CPs)及び結合性蛋白質(CPb)を測定した。なお、酸性デタージェントリグニン(ADL)は試料の酸性デタージェント処理残さを72%硫酸で加水分解して得た。使用したNIRSはニレコ社製Model 6500型である。検量線作成はNIRSへの光学値の読みみ及び成分値を入力後、2次微分処理を行い、蛋白質分画成分はPLS法(Partial Least Squares 回帰分析)、その他の成分はMLR法(線形重回帰分析)で行った<sup>6)</sup>。

表7 乾草主体 TMR の消化率 (1)

牛 No.	体重 (kg)	乾物摂取量 体重比 (%)	ADL 回収率 (%)	乾物消化率 (%)		
				<i>in vivo</i> 法	ADL法	差
1	630	2.5	90.2	68.6	68.4	-0.2
2	559	2.9	99.5	68.6	70.2	1.6
3	524	3.0	84.9	73.0	70.4	-2.6
4	754	2.2	110.6	65.7	69.4	3.7

表8 乾草主体 TMR の消化率, 栄養価 (2)

牛 No.	NDF消化率 (%)			TDN		
	<i>in vivo</i> 法	ADL法	差	<i>in vivo</i> 法	ADL法	差
1	57.6	57.3	-0.3	73.8	73.6	-0.2
2	57.1	59.3	2.1	74.0	75.1	1.1
3	65.1	61.8	-3.3	78.3	76.3	-2.0
4	53.6	57.1	3.5	71.2	74.3	3.1

表9 TMR 及びふんの成分含有率

(乾物中%)

項目		水分	粗蛋白質	粗脂肪	粗灰分	ADF	NDF	OCW	ADL	Ob	CPb	CPs
TMR	最大	8.89	19.18	7.37	8.76	35.01	56.78	61.0	5.34	47.58	2.43	5.68
	最小	2.36	10.00	2.34	5.86	19.32	32.37	34.56	2.58	25.86	0.96	2.61
ふん	最大	11.08	17.43	4.38	17.49	45.14	66.70	73.74	13.72	72.30	-	-
	最小	2.78	8.64	1.52	8.51	29.04	43.97	48.65	8.34	47.94	-	-

OCW: 細胞壁物質 Ob: 低消化性繊維 CPb: 結合性蛋白質 CPs: 溶解性蛋白質

表10 TMR 及びふんの飼料成分検量線精度

	TMR						ふん					
	波長	R	SEC (%)	r	SEP (%)	波長	R	SEC (%)	r	SEP (%)		
水分	1960, 1406, 1872	0.99	0.25	0.97	0.31	1466, 2042, 2108	0.96	0.26	0.82	0.33		
粗蛋白質	2160, 2202	0.89	0.77	0.97	0.36	2162, 1616, 2062, 1560	0.92	0.38	0.78	0.76		
粗脂肪	1714, 2412	0.95	0.32	0.93	0.36	2148, 2002, 1710, 2128	0.92	0.30	0.90	0.28		
粗灰分	1458, 1600	0.56	0.51	0.26	0.91	2126, 2402, 1454	0.79	1.03	0.50	1.27		
ADF	1614, 2290	0.90	1.38	0.90	1.94	2294, 2350, 2452	0.90	1.20	0.90	2.19		
NDF	2042, 2292	0.93	1.69	0.87	2.96	2296, 2346, 1766	0.94	1.69	0.91	2.51		
OCW	1672, 1628, 2456	0.91	1.97	0.89	2.74	2296, 2346, 2302	0.93	1.96	0.80	2.49		
ADL	2346, 2064, 1614	0.84	0.32	0.83	0.81	1898, 2456, 1162	0.81	0.67	0.81	0.91		
Ob	2136, 2268, 2290	0.85	2.20	0.87	1.66	2296, 2346, 1688	0.93	1.74	0.95	1.60		
CPb	1150-2450	0.92	0.10	0.85	0.45	-	-	-	-	-		
CPs	1150-2400	0.90	0.30	0.86	1.35	-	-	-	-	-		

波長は nm, R: 相関係数 SEC: 検量線の標準誤差 CPb 及び CPs は PLS 法 r: 単相関係数 SEP: 検量線検定時の標準誤差

## 結 果

## 1 指示物質による TMR の消化率及び TDN

2 種類の TMR の設計値と分析値を表 3 及び表 4 に示した。両種の乾物率は大きく異なったが、他の成分ではほぼ一致した。またトウモロコシ主体 TMR の TDN 分析値は設計値と大きく異なったが、流通乾草主体の TDN ではほぼ一致した。

トウモロコシサイレージ及び流通乾草主体 TMR の乾物消化率, NDF 消化率及び TDN を表 5, 表 6, 表 7 及び表 8 に各々示した。ADL 法で算出した乾物消化率, TDN は No. 4 の牛で *in vivo* 法に比べ ADL 法がやや過大

に推定されたが、他の 3 頭はほぼ一致した。一方, NDF 消化率はトウモロコシサイレージ主体の TMR では No. 4 の牛でのみ *in vivo* 法に比べ ADL 法の方がやや過大に推定され、流通乾草主体の TMR では No. 3 の牛で ADL 法の方がやや過小に、No. 4 の牛では反対にやや過大に推定されたが、他の 2 頭はほぼ一致した。

## 2 TMR 及びふん中飼料成分の検量線作成

化学分析による TMR 及びふんの成分含有率は表 9 に示した。

TMR の粗灰分, ADL, CPb 及び CPs の範囲は水分, 粗蛋白質, 粗脂肪等他の成分に比べて狭く、ふんでは粗

脂肪の範囲が他の成分に比べて狭かった。ADF等繊維成分の範囲は広がった。得られた検量線の波長、相関係数(R)、標準誤差(SEC)並びにバリデーションで得られた単相関係数(r)、標準誤差(SEP)を表10に示した。Rは粗灰分を除いてTMR、ふんともに0.8以上の高い相関を示した。SECはTMRのObを除いて2.0%以下であった。推定精度のSEPはTMRでは水分、粗蛋白質、粗脂肪、ADL及びCPbが0.31%~0.81%に対して、繊維分画成分のADF、NDF、OCW及びObは1.66%~2.96%であった。ふんでは水分、粗蛋白質、粗脂肪及びADLは0.28%~0.91%で小さかったが、繊維成分は1.60%~2.51%であった。

### 考 察

飼料の消化率及びTDNを求める方法は一般に *in vivo* 法が用いられているが、他方酸化クロム、リグニン、クロモゲン等の消化率指示物質を用いた方法も行われている。特に飼料中の不消化成分であるリグニンを示した。SECはTMRのObを除いて2.0%以下であった。推定精度のSEPはTMRでは水分、粗蛋白質、粗脂肪、ADL及びCPbが0.31%~0.81%に対して、繊維分画成分のADF、NDF、OCW及びObは1.66%~2.96%であった。ふんでは水分、粗蛋白質、粗脂肪及びADLは0.28%~0.91%で小さかったが、繊維成分は1.60%~2.51%であった。

飼料の消化率及びTDNを求める方法は一般に *in vivo* 法が用いられているが、他方酸化クロム、リグニン、クロモゲン等の消化率指示物質を用いた方法も行われている。特に飼料中の不消化成分であるリグニンを示した。SECはTMRのObを除いて2.0%以下であった。推定精度のSEPはTMRでは水分、粗蛋白質、粗脂肪、ADL及びCPbが0.31%~0.81%に対して、繊維分画成分のADF、NDF、OCW及びObは1.66%~2.96%であった。ふんでは水分、粗蛋白質、粗脂肪及びADLは0.28%~0.91%で小さかったが、繊維成分は1.60%~2.51%であった。

特に飼料中の不消化成分であるリグニンを示した。SECはTMRのObを除いて2.0%以下であった。推定精度のSEPはTMRでは水分、粗蛋白質、粗脂肪、ADL及びCPbが0.31%~0.81%に対して、繊維分画成分のADF、NDF、OCW及びObは1.66%~2.96%であった。ふんでは水分、粗蛋白質、粗脂肪及びADLは0.28%~0.91%で小さかったが、繊維成分は1.60%~2.51%であった。

特に飼料中の不消化成分であるリグニンを示した。SECはTMRのObを除いて2.0%以下であった。推定精度のSEPはTMRでは水分、粗蛋白質、粗脂肪、ADL及びCPbが0.31%~0.81%に対して、繊維分画成分のADF、NDF、OCW及びObは1.66%~2.96%であった。ふんでは水分、粗蛋白質、粗脂肪及びADLは0.28%~0.91%で小さかったが、繊維成分は1.60%~2.51%であった。

以上の結果から、飼料中に天然に存在するADLを用いたNIRSによる消化率、TDNの評価法は各個体の消化率を簡易且つ迅速に測定する方法として有効な方法と考えられる。

NIRS分析は森ら<sup>9)</sup>や水野ら<sup>7,8)</sup>は水分、粗蛋白質は近赤外領域での吸収が明瞭なため高い精度で分析が可能であると報告しており、本試験でも高い精度であった。一方森ら<sup>9)</sup>は粗脂肪については粕類等の高い含量の試料の場合は精度は高くなり、乾草等低い含量の場合は精度は低くなると報告しているが、TMR及びふんの粗脂肪含

量は比較的高く、推定精度から測定可能と考えられる。ADF、NDF、OCW及びObの繊維成分はセルロース等の複雑な有機物から構成されており、他の報告<sup>6,7,8)</sup>同様推定精度は低かった。しかしADLは高い精度で測定が可能であった。梶<sup>5)</sup>はイネ科サイレージ、トウモロコシサイレージのCPsはNIRSで推定可能としており、Hoffmanら<sup>3)</sup>はマメ科及びイネ科牧草サイレージ中の蛋白質分画のCPb及びCPsのNIRSによる分析を行い、検量線の相関係数及びその標準誤差がCPに比べて悪かったと報告している。本試験ではCPb及びCPsの推定精度はCPより低かった。

以上のようにNIRSによるTMR及びふんの成分は粗灰分及び一部の繊維成分分画を除いて高い精度で分析可能である。

### 謝 辞

本試験の遂行にあたり、消化試験及びTMR、ふんの採材にご協力を頂いた淡路農業技術センター並びに酪農家、宝塚、神戸、加西及び南淡路の各農業改良普及センターの関係諸氏また、検量線作成にご尽力頂いた(株)ニレコの三留 肇氏に深謝いたします。

### 引用文献

- (1) 秋田勉(1995):近赤外分析による混合飼料の成分推定:平成7年度近畿中国研究成果情報 269-270
- (2) 甘利雅弘(1996):近赤外分析法によるTDN推定:畜試資料 9-15
- (3) Hoffman, P. C., N. M. Brehm, L. M. Bauman, J. B. Peters, and D. J. Undersander (1999): Prediction of Laboratory and In Situ Protein Fractions in Legume and Grass Silages Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy: J Dairy Sci 82 (4), 764-770
- (4) 今井明夫・木部文夫・小林清四郎・川瀬鎮夫・吉川稔(1990):総混合飼料(オールイン飼料)の調製と利用に関する研究 第1報 オールイン飼料の栄養価と飼料成分相互の関係:新潟畜試研報 9, 5-9
- (5) 梶孝幸(1996):十勝農協連における蛋白質分画法と情報提供内容の紹介:畜試資料 31-39
- (6) 改訂 粗飼料の品質評価ガイドブック(2001):自給飼料品質評価研究会編 53-71
- (7) 水野和彦・石栗敏機・近藤恒夫・加藤忠司(1988):近赤外線反射率測定法による乾草の成分および栄養価の推定 I 成分および栄養価の推定精度とその評価:草地試研報 38, 35-46

- (8) 水野和彦・石栗敏機・近藤恒夫・加藤忠司(1988) : 近赤外線反射率測定法による乾草の成分および栄養価の推定Ⅱ 推定精度に及ぼす草種構成の影響および推定に有効な波長の検討：草地試研報 38, 48-54
- (9) 森登・黒瀬誠・森岡正・玉井洋明・井上文夫・椿昇・土井寿美(1995) : 流通乾草の近赤外分析計検量線の共同作成：日草近中支報 24, 19-24
- (10) Purnomoadi A, Kurihara M, Nishida T, Terada F, Abe A and Hamada T (1996) : Two Methods of Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Determining the Digestibility and Energy Value of Feeds : Anim. Sci. Technol. (Jpn.) 68 (4), 351-359
- (11) Purnomoadi A, Kurihara M, Nishida T, Sibata M, Abe A and Kameoka K (1996) : Application of Near Infrared Reflectance Spectroscopy to Predict Fecal Composition and its Use for Digestibility Estimation : Anim. Sci. Technol. (Jpn.) 67 (10), 851-861