

数種のソルガムサイレージの消化性とルーメン内 発酵ならびに血液性状におよぼす影響

川村 修*, 田中重行*, 三秋 尚*, 新海和夫**

Digestibility and Rumen Fermentation of Some Sorghum Silages and the Effect on Blood Profile

Osamu KAWAMURA, Shigeyuki TANAKA, Takashi MIAKI
and Kazuo SHINKAI

(平成 2年9月12日 受理)

The different types of sorghum: *Sorghum bicolor* (L.) Moench (Snow brand hybrid sorgho; Sorgho-common type, Hi-calo sorgho; Dual purpose type, Hi-sugar sorgho; Sorgho-syrup type) were ensiled and their digestibility and rumen fermentation and the effect on blood profile were examined.

The results obtained were as follows; (1) All silages had good fermentative quality. (2) It was remarkable, in the comparison of 3 silages of sorghum sown in spring, that Hi-sugar sorgho was rich in protein and in structural carbohydrate which was low lignified and silicified, and was digestible. (3) Silage of sorghum sown in summer was more digestible, especially in protein, than that sown in spring. (4) It was not observed the difference of digestible nutrient content between the whole crop and the ear-removed silages of hybrid sorgho sown in spring. (5) There were significant correlation among the crude protein content of silage, the crude protein digestibility, the DCP content, the VBN content in the rumen and the serum urea content. (6) The digestible silage tended to make to decrease the serum non-esterified fatty acid.

Key words : Sorghum silage, Digestibility, Rumen fermentation, Blood profile.

ソルガムサイレージの利用性向上に関する研究の一環として、型・タイプ¹⁾の異なるソルガム3品種のサイレージの飼料的特性を消化性、ルーメン内発酵特性および血液性状におよぼす影響の面から調べた。

また、従来ソルガムは、春に播種されて夏に収穫・利用されることが多かったが、最近、前作にトウモロコシの極早生種を作付け、その後作として、ソルガムを7月下旬から8月中旬に播種して晩秋に利用する方法

が注目されている²⁾。当地域においてこの方法を適用した場合の飼料的特性はどのようなものであるか、更に、近年ホールクロップサイレージの利用が普及するにつれて、ソルガムにおいても子実に依拠した飼料価値の向上に期待が高まりつつあるので、ソルガムサイレージにおける子実の飼料価値的意義はどのようなものであるかについてもあわせて検討することとした。

*草類利用学研究室 **雪印種苗(株)
ソルガムサイレージの利用性向上に関する研究 (VII)

材料と方法

1. 供試材料とサイレージ調製

実験に供したソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) の種類は Table 1 のとおりである。これらはいずれも雪印種苗宮崎試験農場で慣行的に栽培し、2~3cmに細切したのち50kg容バックグサイロに埋蔵

した。また5月に播種した雪印ハイブリッドソルゴについては、子実(穂軸も含む)を除去した茎葉部のみのサイレージも同様に調製した。なお、収穫時の生育ステージはいずれも糊熟期であった。以下雪印ハイブリッドソルゴを単にハイブリッド、ハイカロソルゴをハイカロ、ハイシュガーソルゴをハイシュガー、また、5月に播種したものを「春播き」、8月に播種したものを「夏播き」と略称する。

Table 1. Experimental sorghum

Variety (Strain)	Type	Sowing	Harvesting
Snow brand hybrid sorgo (FS401R)	Sorgo-Common	22 May 8 Aug	8 Oct '86 4 Dec '86
Hi-calo sorgo (P956)	Dual purpose	22 May	4 Sep '86
Hi-sugar sorgo (FS304)	Sorgo-Syrup	6 Aug 22 May	4 Dec '86 4 Sep '86

2. 動物試験

消化率は、去勢成綿羊4頭を用い、予備期間7日、本試験期間7日の全糞採取法により査定した。供試サイレージの給与量は、自由摂取量の80~90%量とし、水と鉱塩は自由に与えた。

ルーメン内液と血液は、ルーメンフィステルを装着した去勢成山羊2頭から採取した。サイレージ、水および鉱塩の給与を消化試験と同様にして2週間飼養した後、フィステルを通じてルーメン内容物を、朝食直前、その後3時間および6時間経過後に、また頸静脈より血液を朝食直前に採取した。なお、試料採取日には鉱塩の給与は中止した。

3. 化学分析

1) サイレージおよび糞：一般成分およびサイレージの発酵品質の分析は常法^{3,4)}により行った。全非構造性炭水化物(TNC)はSMITHの方法⁵⁾で定量し、このうち40℃の水に溶ける部分を水溶性炭水化物(WSC)、TNCからWSCを差引いた部分を粗澱粉(STA)とした。細胞壁構成成分の分析は著者らの方法^{6,7)}によったが、サイレージについては、NDF定量前にアミラーゼ処理を施した⁸⁾。

2) ルーメン内液：ルーメン内容物を2重ガーゼで包んで搾り、直ちにpHを測定した。次いで遠心分離し、上清を揮発性塩基態窒素(VBN)および揮発性脂肪酸(VFA)の定量に供した。VBNは減圧蒸留法⁹⁾、

VFAはFID装着のガスクロマトグラフィーで、充填剤としてFAL-Mを用いたクロトン酸内部標準法¹⁰⁾で分析した。プロトゾアの計数は、上記の搾汁をメチルグリーン-ホルマリン-食塩溶液で染色後、プランクトン計算板上で行った¹¹⁾。

3) 血液：分離した血清¹²⁾について、遊離脂肪酸(NEFA；銅-パソクロロイン法)、グルコース(グルコースオキシダーゼ法)、全窒素(ケルダール法)、尿素態窒素(ジアセチルモノオキシム法)、総コレステロール(o-フタルアルデヒド法)、カルシウム(オルトクレゾールフタレインコンプレキソン法)、無機リン(モリブデンブルー法)、およびマグネシウム(キシリジルブルー法)を定量した。この場合、全窒素以外は、各成分とも和光純薬の臨床検査薬キットによった。

結果

1. サイレージの発酵品質

各サイレージの発酵品質を Table 2 に示した。いずれのサイレージもpHが4以下で酪酸を含まず、VBN比も10%以下と良質であった。その他、目立った点を摘記すると、水分はハイシュガーで特に高く、ハイカロの「夏播き」が特に低かった。また「春播き」に比べ、「夏播き」は乳酸の生成量が少なかった。

Table 2. Fermentative quality of silage

Variety	Sowing	Moisture	pH	Acetic Butyric Lactic Total				Flieg index	VBN/TN %
				acid, %	fresh	matter			
Hybrid sorgo	May	74.0	3.78	0.42	0.00	2.14	2.56	99	4.52
	(ER*)	72.6	3.76	0.56	0.00	3.11	3.67	99	4.84
	Aug	73.4	3.94	0.48	0.00	1.89	2.37	98	6.16
Hi-calo sorgo	May	72.6	3.76	0.56	0.00	3.11	3.67	99	5.53
	Aug	67.5	3.96	0.58	0.00	2.47	3.05	98	5.23
Hi-sugar sorgo	May	80.1	3.78	0.48	0.00	1.90	2.38	97	6.76

* Ear-removed

2. サイレージの化学組成

各サイレージの化学組成を Table 3 に示した。「春播き」の3品種を比較すると、ハイシュガーが他の2品種に比べ、一般成分では、粗蛋白質と粗脂肪含量が高く、NFE 含量が低かった。また細胞壁成分では、粗繊維、NDF、ヘミセルロースおよびセルロース含量が高いにもかかわらずリグニンと粗ケイ酸の含量が低か

た。「夏播き」は粗蛋白質含量が高く、細胞壁構成成分含量は、ハイブリッドでは「夏播き」のほうが「春播き」より概して高く、ハイカロでは「夏播き」のほうが低かった。茎葉部のみのサイレージはホールクroppサイレージに比べ、粗ケイ酸を除いて、各細胞壁成分含量が高かった。

Table 3. Chemical composition of silage (%DM)

Variety	Sowing	Proximate component					Cell wall component					
		CP	EE	NFE	C. Fib.	C. Ash	NDF	ADF	Hemicel- lulose	Cel- lulose	Lig- nin	Crude Silica
Hybrid sorgo	May	7.4	2.1	51.8	29.4	9.3	56.7	40.9	15.8	29.8	7.1	4.0
	(ER*)	5.9	2.0	51.0	32.8	8.3	61.1	43.0	18.1	32.6	7.4	3.0
	Aug	9.8	2.4	46.6	30.8	10.4	59.3	41.8	17.5	30.5	6.8	4.5
Hi-calo sorgo	May	6.5	2.1	46.8	34.3	10.3	62.4	45.0	17.4	33.0	7.8	4.2
	Aug	9.6	2.4	46.2	31.6	10.2	58.3	42.7	15.6	31.7	7.1	3.9
Hi-sugar sorgo	May	8.6	2.6	42.2	36.9	9.7	63.6	44.6	19.0	35.2	6.2	3.2

* Ear-removed

3. 消化率および可消化養分含量

各サイレージの消化率と可消化養分含量を、「春播き」3品種の比較、ハイブリッドでの「春播き」と「夏播き」の比較、ハイカロでの「春播き」と「夏播き」の比較、およびハイブリッド「春播き」の茎葉サイレージとホールクroppサイレージの比較に区別して、Fig.1に示した。

1) 「春播き」3品種の比較：ハイシュガーが他の2品種に比べてほとんどの成分で消化率が高かった。すなわち、乾物、有機物、粗蛋白質、粗繊維、NDF、ADF、ヘミセルロースおよびセルロースの消化率が

有意に高かった。次いでハイカロの消化率が高く、粗繊維、NDF、ADFおよびセルロースでハイブリッドとの間に有意な差があった。DCP、TDN 含量でも、ハイシュガーが他の2品種に比べて有意に高く、ハイブリッドとハイカロとの間には有意な差が認められなかった。

2) 「春播き」と「夏播き」の比較：概して「夏播き」のほうが高消化性を示した。有意な差が認められたのは、ハイブリッドでは粗蛋白質、粗脂肪、セルロース、DCP、ハイカロでは乾物、有機物、粗蛋白質、粗脂肪、NFE、ADF、DCP、TDNであり、特に、両草種とも、

粗蛋白質消化率とDCP含量の差が著しかった。

3) ホールクロップサイレージと茎葉サイレージの比較:粗脂肪, TNCなど細胞内容物の消化率はホールクロップサイレージのほうが高く, 逆に, 細胞壁成分

の消化率は茎葉サイレージのほうが高い傾向が認められた。可消化養分含量には有意な差が認められなかった。

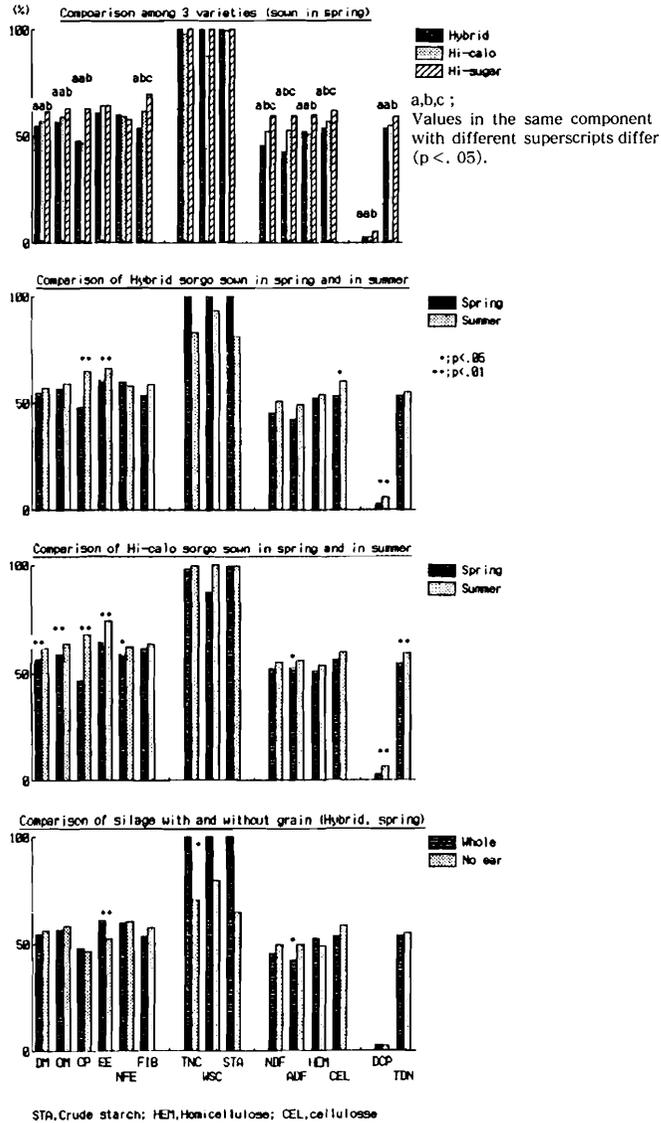


Fig. 1. Comparison of digestibility and digestible nutrient content (% DM)

4. ルーメン内液の性状

Table 4にルーメン内液の調査結果を示した。「春播き」の3品種を比較すると, ハイシュガーが他の2品

種に比べてVFAの濃度とその酢酸比およびVBN濃度がやや高い傾向を示した。また, 「春播き」に比べてVFAの酢酸比およびVBN濃度が高く, 茎葉サイレー

ジはホールクロープサイレージに比べてVBN濃度が低かった。pHとプロトゾア数には一定の傾向を認めなかった。

Table 4. Some characteristics of rumen fluid

Variety	Sowing	pH			VFA						VBN			Protozoa number		
		0	3	6	(mmol/dl)			(C2/C3)			(mk/dl)			(x10 ⁷ /ml)		
		0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6	0	3	6
Hybrid sorgo	May	7.3	6.9	7.2	4.9	7.8	6.7	4.0	2.8	3.1	2.5	3.8	3.1	1.6	2.0	2.1
	(ER*)	7.2	7.1	7.1	5.1	6.8	6.7	4.2	2.8	3.0	1.4	1.2	1.0	0.9	1.3	1.3
	Aug	7.1	7.1	7.0	4.8	7.3	6.9	3.6	3.4	3.3	4.5	6.0	4.5	2.1	2.7	2.3
Hi-calo sorgo	May	7.3	7.2	7.2	6.0	5.7	6.0	3.2	2.5	3.2	3.4	3.6	2.6	1.2	1.7	2.1
	Aug	7.1	7.0	7.1	4.7	6.0	6.2	3.9	3.4	3.4	3.6	5.5	3.2	1.4	1.6	1.5
Hi-sugar sorgo	May	7.2	7.2	7.2	5.3	7.8	7.0	3.6	3.4	3.5	2.9	5.1	2.8	1.8	1.9	1.1

* Ear-removed

5. 血液の性状

血清成分の測定結果をTable 5に示した。NEFAの濃度はハイシュガーが最も低く、また「夏播き」が「春播き」より低かった。グルコース濃度は山羊の全血における平常値¹³⁾よりやや低く、全窒素濃度は牛や山羊での平常値^{12, 14)}よりやや高かった。尿素態窒素濃度

は、「春播き」ではハイシュガーが高かった。また「夏播き」は「春播き」より高く、茎葉サイレージはホールクロープサイレージより低かった。総コレステロールおよびCa, P, Mg濃度はいずれも平常値^{12, 13, 14)}の範囲内にあった。

Table 5. Some characteristics of blood serum

Variety	Sowing	NEFA**	Glucose	Total - N	Urea - N	Choles- terol	Ca	P	Mg
		mEq/l				mg/dl			
Hybrid sorgo	May	0.40	49.4	1476	8.7	83	8.9	4.0	2.7
	(ER*)	0.39	51.5	1484	4.4	70	9.1	5.6	2.9
	Aug	0.27	34.1	1556	11.5	91	8.9	4.2	2.8
Hi-calo sorgo	May	0.44	28.0	1536	7.7	73	8.9	5.7	2.8
	Aug	0.29	30.7	1490	14.0	117	10.0	5.8	2.5
Hi-sugar sorgo	May	0.20	43.0	1591	10.9	88	9.1	3.9	3.2

* Ear-removed

** Non-esterified fatty acid

考 察

1. 「春播き」3品種の比較

細谷ら⁹⁾によれば、本研究に用いたハイブリッドはソルゴ型普通タイプ、ハイカロは兼用型、ハイシュガーはソルゴ型糖蜜タイプに分類される。これら各々の型・タイプの特徴はすでにいくつか報告されており^{1, 2, 15)}、本実験の結果がそれらに反するところは

なかった。しかしながら、3品種の比較の結果、ハイシュガーは際立った性格を有することが認められた。すなわち、他の品種に比べて高蛋白質含量であるにもかかわらず、細胞壁を構成する炭水化物(セルロース、ヘミセルロース)含量が高く、しかし、これらの消化を規制するリグニンおよび粗ケイ酸の含量が低かった。これを反映して消化率はほとんどの成分で高く、可消化養分含量も高かった。また低リグニン・低ケイ酸含量の良質な繊維を多量に含み、ルーメン内VFA

濃度とその酢酸比を高める傾向があるので、たとえば産乳用の基礎飼料としての好条件を備えていると考えられた。

2. 「夏播き」ソルガムサイレージの特徴

「夏播き」は「春播き」に比べて収量や子実の割合が低い、低水分で糖含量が高いので良質発酵サイレージが得られ、しかも可消化養分含量が高いと報告されている^{2, 15)}。本実験で得られたサイレージもこれとその軌を一にしたが、特にDCP含量が目立って高かった。

3. ホールクロープソルガムサイレージにおける子実の役割

「春播き」のハイブリッドから子実部を除去しても可消化養分含量はホールクロープとの間に差は認められなかった。しかし、この結果から、一般にソルガムサイレージの子実は家畜生産に大して役立っていないとは速断出来ないと考えられる。なぜなら、まず第一に、この結果は一例に過ぎず、しかも用いた品種は子実割合の高い型・タイプに属さないの、今後同様の実験を子実のより充実した材料で繰り返す必要がある。因みに本実験で用いたハイブリッドの子実部割合は18%であり、熊井ら²⁾による兼用型ソルガムの41%からみれば明らかに低い。第二に、可消化養分含量は、測定に用いる畜種によって異なることがあるからである。熊井ら¹⁵⁾は兼用型ソルガム・スズホのサイレージの消化試験を乳牛と緬羊を用いて実施したところ、それぞれの可消化養分含量の間に有意な差を認め、緬羊で得られたソルガムホールクロープサイレージの栄養価を乳牛に適用することは望ましくないと報告している。したがって、牛用のホールクロープサイレージにおける子実の役割は牛によって評価する必要がある。ただし彼らはこの報告の中で、子実澱粉の消化率も細胞壁成分の消化率も共に緬羊のほうが乳牛よりも高いが、子実澱粉の消化率の畜種間差が著しいとも述べている。このことからすれば、もし本実験を牛を用いて実施すれば、ホールクロープサイレージも茎葉サイレージも共に可消化養分含量が緬羊の場合より低下するが、その低下度合はホールクロープサイレージのほうが大きいと予想される。すなわち牛においてのほうが子実の割合が更に低く評価されることになる。第三には、TDNの利用効率は飼料の性格によって異なり、たとえば澱粉の多い濃厚飼料は繊維の多い粗飼料と同じTDN含量であっても正味エネルギー価は高い¹⁷⁾。したがって、ホールクロープサイレージと

茎葉サイレージのTDN含量に差が認められなくても家畜生産能力に差がないとは言えない。

4. 化学組成、消化性、ルーメン内液および血液性状の間の相互関係

飼料作物では、一般に、CP含量が高ければその消化率が高まり、その結果としてDCP含量が上昇することが知られ¹⁸⁾、また給与飼料のCP水準を高めるとルーメン内アンモニア濃度が高まり、血清尿素濃度も高まることが知られている¹⁹⁾。本実験でもこれら窒素成分に関する測定値の間に極めて密接な関係が示された。すなわち、Table 6に示すように、サイレージ中のCP含量、CP消化率、DCP含量、ルーメン内液VBN濃度および血清尿素濃度の相互間において有意な正の相関が認められた。

Table 6. Correlation coefficients between the items concerning nitrogen

Item	CP (%DM)	CP digesti- bility	DCP (%DM)	Rumen VBN _(3h)	Serum urea
CP	-	.95**	.97**	.92**	.94**
CP digest.	.95**	-	.99**	.86*	.90*
DCP	.97**	.99**	-	.87*	.91*
VBN	.92**	.86*	.87*	-	.92**
Urea	.94**	.90*	.91*	.92**	-

* ; p < .05, ** ; p < .01

ルーメン内で微生物体蛋白質合成が最大値を得るために最小限必要なアンモニア態窒素濃度は5mg/dlであり²⁰⁾、また血清尿素態窒素濃度が7mg/dl以下は飼料蛋白質の不足を示す¹⁹⁾とされている。本実験では、ハイブリッドとハイカロの「春播き」がルーメン内アンモニア濃度の下限値以下を示した。また、これらの血清尿素濃度は下限値を上回ったもの下限値に近いので、このようなサイレージを主体に家畜を飼養する場合には併給する飼料の窒素含量に十分留意する必要がある。

一方、エネルギー栄養の考察には血清中のグルコースとNEFAの値が参考になる¹⁹⁾。結果の項で述べたように、本実験ではグルコースが文献値よりやや低い値を示したので、採血後血清調製までの時間経過にともなう解糖作用によるのかもしれない¹²⁾と考え、全血による測定¹²⁾を行って本実験の結果と比較したが、ほと

んど差が認められなかった。一方NEFAはハイシュガーがもっとも低く、「夏播き」が「春播き」より低かった。すなわち可消化養分含量の高いものほどNEFAは低い傾向にあった。これらの結果は、エネルギー摂取が不足する時には血糖が低下し、体脂肪がエネルギー源として動員されるためNEFAは上昇すること、またこの反応は血糖よりNEFAのほうが敏感であること¹⁹⁾と大筋において符合するものである。しかし、NEFAとDM消化率やTDN含量およびTDN摂取量との間には統計的に有意な相関は認められなかった。

NEFAとルーメン内VFAの酢酸比との間に統計的に有意な負の相関が認められた ($r = -0.93$, $p < 0.01$)。この関係が、NEFAの低いものが概して高消化性で、かつ高消化性のものが有意に酢酸比が高いことによる間接的なものなのか、あるいは、体内代謝における直接的なものなのかは明らかではない。

要 約

型・タイプの異なる3種のソルガム(ソルゴー型普通タイプ; 雪印ハイブリッドソルゴー, 兼用型; ハイカロソルゴー, ソルゴー型糖蜜タイプ; ハイシュガーソルゴー)を用いてサイレージを調製し、これらの消化性を綿羊で、ルーメン内液および血清性状におよぼす影響を山羊で調べた。

1) 発酵品質はいずれのサイレージにおいても良好であった。

2) 春播きした3種の比較では、高蛋白質含量であるにもかかわらず構造的炭水化物含量が高く、しかしリグニンや粗ケイ酸の含量が低く消化性に優れていたハイシュガーソルゴーの特性が目玉された。

3) 夏播きしたソルガムは春播きしたものより概して消化性に優れ、とくに蛋白質でその傾向が顕著であった。

4) 春播きしたハイブリッドソルゴーから子実部を除去しても、可消化養分含量はホールクロップと殆ど差がなかった。

5) サイレージCP含量, CP消化率, DCP含量, ルーメン内VBN濃度, 血清尿素濃度の間すべてに有意な正の相関が認められた。

6) 高消化性のサイレージほど血清NEFA濃度を低める傾向があった。

キーワード：ソルガムサイレージ, 消化性, ルーメン内発酵, 血液性状

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、白尾伍紀氏(宮崎県三股町酪農家)に多大のご援助を頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 細谷 肇・青木ひかる・三井安磨：ソルガムの型・タイプ別栄養特性と利用法, 関東草飼研誌, **13**, 1-11 (1989).
- 2) 熊井清雄・福見良平：暖地におけるサイレージ用ソルガムの栽培と利用, 自給飼料, **4**, 7-12 (1985).
- 3) 農林水産省：飼料分析基準, p. 4-13, 東京 (1987).
- 4) 須藤 浩：サイレージと乾草, p. 152-157, 養賢堂, 東京 (1970).
- 5) SMITH, D. (上野昌彦訳)：植物組織からの全非構造的炭水化物(TNC)の抽出および分析法, 日草誌, **17**, 75-82 (1971).
- 6) KAWAMURA, O., SENSU, T., HORIGUCHI, M. and MATSUMOTO, T. : Fractionation of orchardgrass tissues by pectinase treatment and digestion of the cell wall by rumen microorganisms. J. Japan. Grassl. Sci., **22**, 280-288 (1976).
- 7) KAWAMURA, O., TANAKA, S. and MIAKI, T. : Simplified fractionation of orchardgrass tissue and the cell wall composition and digestibility by rumen microorganisms. Bull. Facul. Agric. Miyazaki Univ. **27**, 331-336 (1980).
- 8) 農林水産省畜産試験場：新しい飼料分析法とその応用, p. 15-16, 東京 (1981).
- 9) 大山嘉信：動物栄養試験法, p. 320, 養賢堂, 東京 (1971).
- 10) 須藤恒二：ルーメンの検査, 牛の臨床検査法, P. 39-42, 農山漁村文化協会, 東京 (1973).
- 11) 栗原 康・武智辰夫：ルーメンの検査, 牛の臨床検査法, p. 14-17, 農山漁村文化協会, 東京

- (1973).
- 12) 米村寿男：血液医化学的検査，牛の臨床検査法，p. 1 - 74，農山漁村文化協会，東京（1973）。
 - 13) 梅津元昌：家畜の生理学，p. 24 - 29，養賢堂，東京（1958）。
 - 14) 津田恒之：家畜の生理学，p. 45 - 46，養賢堂，東京（1986）。
 - 15) 三秋 尚・田中重行・川村 修・新海和夫：ソルガムの品種，生育段階および播種期がサイレージの発酵品種に及ぼす影響について，ソルガムサイレージの利用性向上に関する研究（第6報），宮大農報，**36**，367 - 372（1989）。
 - 16) 熊井清雄・福見良平・丹比邦保：登熟期別ソルガムサイレージの末消化子実の排泄ならびに消化性における乳牛と綿羊との比較，愛大農紀要，**31**，237 - 246（1986）。
 - 17) 農林水産省農林水産技術会議事務局：日本飼養標準，乳牛，p. 24 - 25，中央畜産会，東京（1987）。
 - 18) 三秋 尚：窒素施肥と飼料作物の品質，飼料作物草地の研究，p. 263 - 376，養賢堂，東京（1971）。
 - 19) 佐藤 博：乳牛における血液成分とその栄養生理的意義，日畜会報，**57**，959 - 970（1986）。
 - 20) 小野寺良次：微生物体タンパク質の合成限界とルーメン内アンモニア濃度，ルーメンの世界，p. 329 - 331，農山漁村文化協会，東京（1985）。