

第V章 反芻行動と消化生理

前章まで、反芻行動の測定記録法、飼養条件と反芻行動ならびに飼料の理化学的性質と反芻行動について検討を加えてきた。本章では、反芻行動の消化生理上の役割について検討した。

緒論に記した様に、反芻行動の消化生理上の役割について正面から取り組んだ研究は非常に少なく、不明な点が多く残されている。Pearce and Moir⁵⁷⁾のめん羊の反芻についての研究に加え、自由採食量^{13,81)}や唾液分泌に関する研究^{12,62)}など関連分野の成果をもとに推測すると、反芻の消化生理上の意義は飼料の摩砕とそれによる飼料摂取量の維持および間接的ではあるが、第一胃内環境の調節の二つに大別されよう。

本章では、反芻行動と飼料の摩砕および第一胃内環境との関係について検討した。

1. 反芻行動と飼料の摩砕

反芻動物は採食時にはえん下に必要な程度しかそしゃくせず、そしゃくの主体は反芻時になされるものと言われている。反芻の直接的な作用は飼料の機械的な摩砕にあるとされている。本節では飼料の摩砕の消化生理上の意義を明らかにするため、反芻が飼料の摩砕にあずかる様相について検討を加え、次に飼料の摩砕が反芻家畜の消化生理にどのように関与しているかについて、飼料の粉碎度と第一胃内における飼料の消化速度、飼料の消化管内滞留時間、消化率ならびに飼料摂取量との関係について解析しようとした。

1) 反芻による飼料の摩砕

材料と方法

供試した家畜は第一胃フィステルを装着したホルスタイン種乾乳牛1頭(体重715kg)であった。この牛には試験に先立つ7日間、チモシー1番乾草を飽食させ、試験開始前日より24時間絶食させた。なお、試験当日は第一胃フィステルを通じて、第一胃内容を可能な限り取り出し、固形分をほぼ完全に除去した。次いで、試験開始前に給与して

いた乾草を設定切断長30mmに細切し、その2000gを第一胃フィステルより第一胃内に投入した。また同じ細切乾草300gをナイロン袋に軽く詰め込み、第一胃内につるした。その後6、12ならびに24時間目に第一胃内の固形分を可能な限り取り出し、3mm目の金網製の籠で液状部分を分離し、重量を秤量し、生重量で1000gの試料を採取した。また、ナイロン袋に詰めた乾草からも生重量で100gの試料を採取した。以上の操作の終了後、速やかに取り出した第一胃内容を分離した液状部分とともにフィステルより第一胃内に戻した。同様の操作をさらに24時間繰り返した。

反芻行動の測定は48時間の試験期間を通して実施した。採取した試料は風乾後、ASAE法²⁾に従って粒径分布を測定するとともに、水分含有率を測定した。

供試乾草の化学組成は表29に、粒径分布は表30に示した。

結果と考察

表31に各測定時間の第一胃内乾物重量を示した。また、同表にはナイロン袋内容重量も合せて示した。なお、これらの数値は試料重量に相当する重量を補正した値である。各試料の粒径分布とこれより算出したMFおよびMUは表30に示したとおりである。図20にこの結果の一部を図示した。第1日目には6時間目の第一胃内乾物量は投与量よりも多くなったが、その後12時間、24時間と時間の経過に伴い第一胃内乾物量は減少し、24時間後には投与量の55%であった。2日目には第一胃内乾物量は時間の経過とともに減少し、24時間後には投与量の59%であった。

第一胃内容物の粒度についてみると、1日目には最初の6時間でMFは5.28より4.57に低下し、MUは8:2:0より6:3:1へと変化した。これはCoarse部分が減少し、MediumおよびFine部分の割合が増加したことを示す。以後、時間が経過するにつれて、粗い部分の割合が減少し

Table 29. Chemical composition of the hay used for studying the effect of rumination on particle size of rumen contents

Mois.	C. Prot.	C. Fat	N F E	C. Fib.	C. Ash	N D F	A D F	A D L
8.3	8.1	2.3	48.0	33.6	8.0	67.4	36.8	4.2

Percentage of dry matter except moisture.

Table 30. Particle size distribution of the chopped hay and rumen digesta of the hay at 6, 12 and 24 hours after administration through fistula

		Particle size distribution*						Modulus of	
		4.76	2.40	1.20	0.60	0.30	0.15	Pass	Fineness
		Uniformity							
Chopped hay used		47.6	36.2	12.7	3.2	0.3	—	—	5.28
Digesta in the rumen									
	6 hr	32.7	27.5	17.1	13.2	6.0	3.0	0.5	4.57
1 st day	12 hr	29.6	28.0	16.9	14.0	7.4	4.1	—	4.46
	24 hr	22.2	22.3	19.8	19.7	8.3	5.8	1.9	4.05
	6 hr	49.3	28.7	11.2	6.1	2.9	1.8	—	5.10
2 nd day	12 hr	29.8	32.3	17.5	14.4	5.3	0.7	—	4.65
	24 hr	31.1	31.2	17.3	13.6	4.4	2.4	—	4.64
Contents of the nylon bag									
	6 hr	48.8	32.1	15.1	2.8	1.2	—	—	5.25
1 st day	12 hr	40.1	36.6	18.8	3.6	0.9	—	—	5.11
	24 hr	65.8	27.4	14.2	3.3	1.2	—	—	6.01
	6 hr	51.1	35.3	10.8	2.0	0.8	—	—	5.34
2 nd day	12 hr	46.9	37.5	12.1	2.9	0.6	—	—	5.27
	24 hr	45.8	35.3	14.8	3.7	0.4	—	—	5.22

* Percentage of dry matter retained on sieves with these apertures (mm).

た。2日目には1日目とは異なり、最初の6時間ではMF、MUともに投与した乾草のそれとほとんど変らなかった。

表32に反芻行動の測定結果を示す。第1日目には乾草投与後間もなく反芻が始まり、最初の6時間で約100分間反芻した。その後も6時間目より12時間目までの6時間に約90分、続く12時間に143分間反芻行動が観察された。反芻食塊吐出回数は反芻時間と同様の分布であった。2日目には乾草投与後6時間の反芻時間はわずか7分にすぎなかった。この間、偽反芻に類似した記録が得られた。6時間目から12時間目までの6時間には約160分間の反芻が記録され、その後の12時間には約170分間反芻が認められた。反芻食塊吐出回数の分布は反芻時間と同様であった。

1日目には6時間目の第一胃内乾物量は投与量

を上回った。これは前日からの第一胃内容物が微粒子となって第一胃内容液中に浮遊しており、これを試験開始時に十分除去できなかったことによるものと思われる。乾草投与により、浮遊状態の微

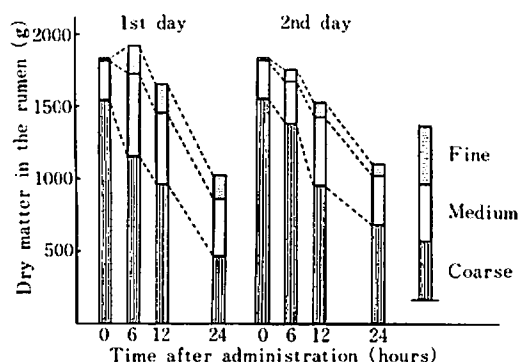
Table 31. Dry matter content of the rumen at 6, 12 and 24 hours after administration through fistula

	Time after administration through fistula			
	0 hr	6 hr	12 hr	24 hr
Rumen content (g)				
1 st day	1834	1913	1651	1006
2 nd day	1834	1755	1515	1084
Nylon bag content (g)				
1 st day	288	287	290	287
2 nd day	288	289	287	286

Table 32. Time spent ruminating, number of boli regurgitated and number of rumination period in a cow administered chopped hay through fistula

	1st day				2nd day			
	0~6*	6~12	12~24	Total	0~6	6~12	12~24	Total
Time spent ruminating (min.)	97	89	143	329	7	161	176	344
Number of boli regurgitated	177	137	201	515	9	247	216	472
Number of rumination period	6	2	5	13	1	3	4	8

* Time after administration (hour).

**Figure 20.** Changes in dry matter content of the rumen and its particle size composition after administration through fistula.

細な飼料片が乾草にからみつき、6時間目に乾草とともに取り出されたものと考えられる。6時間目に採取した第一胃内容物にはそれらしき物の付着が認められた。こうした現象は2日目にはごく軽度であった。

フィステルより第一胃内に乾草を投入すると強く反芻を刺激することが知られている。1日目には乾草投入後間もなく反芻が開始された。2日目には投入直後に偽反芻様の行動が認められたものの、反芻は6時間中わずかに7分間記録されたにすぎない。この原因は不明である。なお、2日目のこの時間帯には第一胃内乾物重量および第一胃内容物の粒径分布の変化は小さかった。反芻が90~140分程度認められた他の時間帯では第一胃内乾物量の減少とともに、粗い部分の比率の減少が認められた。

ナイロン袋に詰め込まれた乾草は口腔に吐き戻されることなく、反芻される機会に恵まれなかった乾草に相当するものと考えられよう。ナイロン袋内の乾草は乾物量、粒径分布とも、ほとんど変

化しなかった。

以上より、第一胃内の乾草片の微細化や第一胃内からの乾物の消失には反芻が大きく関与しているものと考えられる。

2) 消化管各部位内容物の粒径分布

材料と方法

供試した家畜はヘレフォード種の去勢牛2頭で、体重は341kgおよび337kgであった。この牛には1日1頭当たり品質中程度の乾草を約5.5kgと配合飼料を2.5kg給与していた。屠殺前日には水以外何も給与しなかった。屠殺解体の際に、第一胃、第二胃、第三胃、第四胃ならびに大腸(盲腸および結腸)より内容物を採取した。採取した各消化管内容物は4枚重ねのガーゼにくるみ、圧搾した後、微温湯を含ませ、再び圧搾した。この操作を搾汁液から濃い色が消えるまで繰り返した。その後、60℃で3日間送風乾草し、ASAE法²⁾に従い篩分けし、粒径分布を測定した。

結果と考察

各消化管内容物の粒径分布の2頭の平均値を表33に示した。2頭間の差は小さかった。第一胃および第二胃には、2.38mmの篩を通らない試料がそれぞれ18および13%あったが、第三胃以降の消化管にはほとんどなく、1.19mmの篩を通る片が多かった。これを反映して、MF値は第一胃および第二胃内容物では3.0以上の値であったが、第三胃以降の消化管内容物ではいずれも2.5前後の値となった。また、第一胃内容物のMUは2:5:3とCoarse, Medium, Fineの比率がそれぞれ約20%, 50%, 30%であった。第二胃内容物のMUは1:6:3と第一胃内容物に比べてCoarse部分が約10%減少し、Mediumに相当する片が増加

Table 33. Particle size distributions of digesta in the rumen, reticulum, omasum, abomasum and large intestine of steer

	Particle size distribution*							Modulus of	
	4.76	2.40	1.20	0.60	0.30	0.15	Pass	Fineness	Uniformity
Rumen	2.3	16.2	23.4	32.0	17.1	8.2	0.8	3.26	2:5:3
Reticulum	1.2	12.5	20.9	35.2	17.5	9.8	2.9	3.04	1:6:3
Omasum	—	0.6	16.7	41.5	23.3	14.6	3.3	2.56	0:6:4
Abomasum	—	1.1	13.2	45.3	20.6	16.0	3.8	2.51	0:6:4
Large intestine	—	0.9	10.6	44.3	25.9	14.7	3.6	2.46	0:6:4

* Percentage of dry matter retained on sieves with these apertures (mm).

Table 34. Chemical composition of the hay used for studying the effect of fineness of grinding on rate of digestion by the nylon bag technique

Moist.	C. Prot.	C. Fat	N F E	C. Fib.	C. Ash	N D F	A D F	A D L
12.2	7.8	2.1	46.9	34.5	8.7	71.4	38.6	5.1

Percentage of dry matter except moisture.

Table 35. Particle size distribution of the ground hay used for studying the effect of fineness of grinding on rate of digestion by the nylon bag technique

	Particle size distribution*							Modulus of	
	4.76	2.40	1.20	0.60	0.30	0.15	Pass	Fineness	Uniformity
Ground through a 0.5 mm sieve	—	—	—	—	40.1	45.3	14.6	1.26	0:0:10
Ground through a 1.0 mm sieve	—	—	—	40.5	36.9	16.9	5.7	2.12	0:4:6
Ground through a 2.0 mm sieve	—	—	1.6	57.4	26.3	11.0	3.7	2.42	0:6:4

* Percentage of dry matter retained on sieves with these apertures (mm).

した。第三胃以降の消化管内容物の MU はいずれも 0 : 6 : 4 となり、Coarse に相当する片がほとんどなくなり、Fine に相当する片が約 40% 存在した。

第一胃および第二胃には 0.38mm の篩を通らない片が 10% 以上存在するが、第三胃以降では 1% 以下になる。第三胃は摩砕機能を有すると考えられているが、第三胃以降の消化管の内容物の粒径分布には大差が認められなかったところから、第三胃の摩砕機能はそれほど大きなものではないものと思われる。

3) 乾草の粉砕度と第一胃内消化速度

材料と方法

乾草の粉砕度が第一胃内消化速度におよぼす影

響を検討するため、第一胃フィステルを装着しためん羊および乾乳牛をそれぞれ 1 頭ずつ供試し、ナイロン袋法^{33,37)}による消化試験を実施した。供試した乾草はチモシー 1 番乾草であった。これをウィレー粉砕機により 0.5mm, 1.0mm ならびに 2.0mm の篩を通るよう粉砕した 3 種の試料（以下それぞれ 0.5mm 区, 1.0mm 区ならびに 2.0mm 区とする）およびはさみを用いて約 10mm の長さに切断した試料（以下 10mm 区とする）の 4 種の試料を供試した。供試乾草の化学組成は表 34 に、粉砕試料の粒径分布は表 35 に示したとおりである。

ナイロン袋は約 200 メッシュの布地を材料とし、12×6 cm の袋を作り、その一端に長さ 50cm のナ

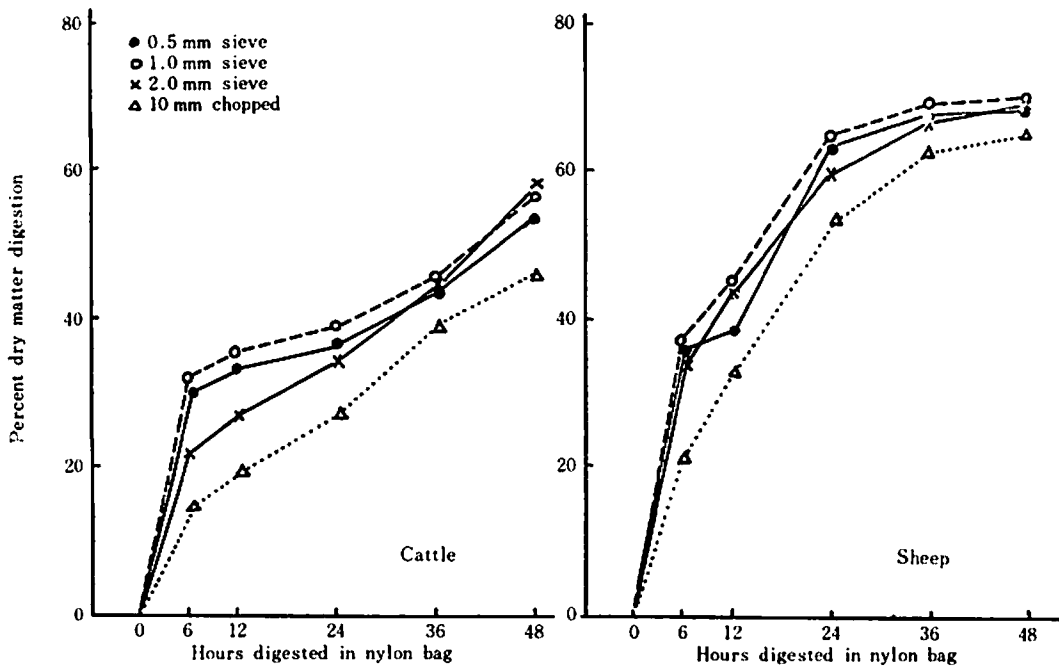


Figure 21. Effect of fineness of grinding on the rate of dry matter digestion in the nylon bag suspended in the rumen.

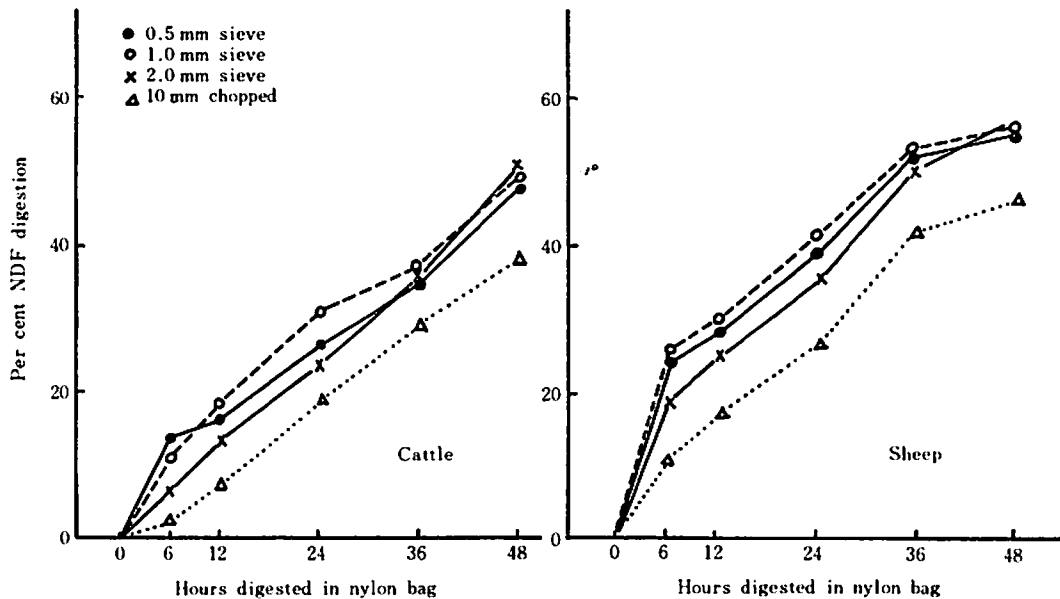


Figure 22. Effect of fineness of grinding on rate of NDF digestion in the nylon bag suspended in the rumen.

イロンテグスを取り付けたものである。ナイロン袋中には、めん羊を供試した際には3.0g、牛を供試した際には4.0gの試料を入れた。ナイロン袋の第一胃内放置時間は6、12、24、36ならびに48時間とし、それぞれ2反復した。設定した時間経過の後、第一胃内から取り出したナイロン袋は、そのまま十分水洗し、搾汁液の色がほとんどなくなるまで繰り返し水洗した。内容物はろ紙上に集めて100°Cで12時間乾燥し、乾物重を求めた。また、これを中性デタージェント液で煮沸抽出し、⁷⁶⁾ NDF量も求めた。

結果と考察

牛およびめん羊の第一胃内に放置したナイロン袋内の乾物消化率の経時的な変化を図21に示した。牛の第一胃内では第一胃内放置後6～12時間には0.5mm区と1.0mm区の乾物消失率は2.0mm区より高かった。24時間目以降は、これら粉碎3区間の差は小さかった。また、10mm区の乾物消失率は各時間とも最も低く推移した。めん羊の第一胃内では粉碎した3試料間の差は小さく、これらはいずれの時間においても10mm区よりも高く推移した。また、第一胃内放置時間が長くなるにつれて、乾物消失速度が小さくなった。めん羊の第一胃内の乾物消失率は牛の第一胃内のそれに比べて高く推移した。

第一胃内におけるNDF消失率の経時的変化を図22に示した。NDF消失率は乾物消失率に比べて常に低く推移した。また、乾物消失速度は第一胃内放置時間により、かなり変化した。NDF消失速度はこれに比べて変化が小さく、各試料とも比較的一定の速度で消失した。牛の第一胃内においてもめん羊の第一胃内においても、第一胃内に放置当初は0.5mm区および1.0mm区のNDF消失率が高く、次いで2.0mm区が高かった。なお、2.0mm区は第一胃内放置36時間目以降は0.5mm区および1.0mm区とほとんど差が無くなった。10mm区は他区に比べて常に低く推移した。

以上の様に乾物およびNDFの第一胃内における消失率は0.5および1.0mm区、2.0mm区、10mm区の順で高かった。ナイロン袋法⁵²⁾や人工ルーメン法¹⁹⁾では試料や基質が細かければ細かいほど

消化率が高くなるといわれている。これは試料の粒度が微細化するにつれて試料と第一胃液との接触面積が拡大することや第一胃内微生物に対する防護壁を形作っている細胞壁構造の破碎などによるものと考えられている。本試験では0.5mm区と1.0mm区との間にはほとんど差は認められなかった。この原因については不明であるが、ナイロン袋法は、特に第一胃内放置時間が短い場合は再現性があまりよくないといわれており³³⁾、家畜の状態により第一胃内消化率は大きな影響を受けるので、これらの要因が関与しているのかも知らない。

4) 乾草の粉碎度と第一胃内発酵

材料と方法

供試した家畜は第一胃フィステルを装着したコリデール種の去勢成めん羊3頭(体重58～66kg)であった。給飼は午前8時および午後8時の1日2回行ない、乾草の給与量はそれぞれ650gであった。これに前章で供試した梱包乾草、ヘイキューブならびにヘイウエファ(以下それぞれ梱包乾草、キューブならびにウエファとする)を3×3ラテン方格法の実験計画に基づいて給与した。供試した3種の乾草の粒径分布は表8に、化学組成は表9に示した。

各試験期とも、8日間の子備飼養の後、3日間反芻行動の測定を実施したが、その次の1日に第一胃内容液の採取を行なった。第一胃内容液は第

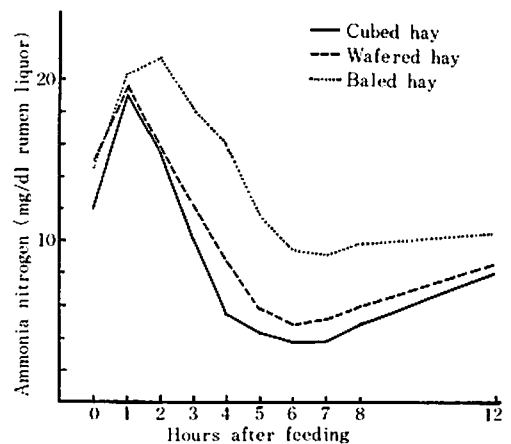


Figure 23. Changes of the ammonia nitrogen concentration in the rumen liquor.

一胃フィステルを通して経時的に採取し、4枚重ねのガーゼでろ過した。第一胃内容液中の揮発性脂肪酸（以下VFAとする）濃度は松岡ら³⁸⁾の水蒸気蒸留法で、VFAの比率はガスクロマトグラフを用いて分析した。また、アンモニア態窒素濃度は減圧蒸留法⁵³⁾により定量した。

結果と考察

梱包乾草、ウェファならびにキューブ給与時の第一胃内容液のアンモニア態窒素濃度の平均値の経時変化を図23に示した。なお、各測定時間とも飼料間に有意な差は認められなかったが、梱包乾草給与時のアンモニア態窒素濃度はウェファやキューブ給与時のそれよりも高く推移する傾向が認められた。表9に示した様に、粗蛋白質含有率はウェファおよびキューブが梱包乾草よりも高く、梱包乾草給与時のアンモニア態窒素濃度が高く推移したのは、粗蛋白質含有率に起因するとは思われない。ウェファやキューブは火力による乾燥過程でかなりの高温にさらされており、その際に蛋白質の変性⁷⁴⁾が起り、溶解性が低下したものとも考えられるが、詳細は不明である。

梱包乾草、ウェファならびにキューブ給与時の第一胃内容液のVFA濃度の平均値の経時変化を図24に示した。乾草間には各測定時間とも有意な差は認められなかった。VFA濃度は採食後上昇し、2～3時間後に最高となった後、徐々に低下して元の水準に近づくように変化した。キューブ給与時およびウェファ給与時には梱包乾草給与時に比べて最高値をとった後の下降速度が速かった。梱包乾草給与時には最高濃度に達した後も高い水準を持続する傾向が認められた。

以上のようなアンモニア態窒素濃度およびVFA濃度の推移より、キューブおよびウェファ給与時には梱包乾草給与時に比べて採食後の第一胃内発酵が急速に起り、数時間の後には鎮静化するのに対し、梱包乾草給与時には採食後の第一胃内発酵は比較的緩慢に開始されるが、これが持続するものと考察した。

これはキューブやウェファなどの加工乾草と梱包乾草との採食速度の違いとともに、両者の粒度の違いを反映したものと考えられる。すなわち、

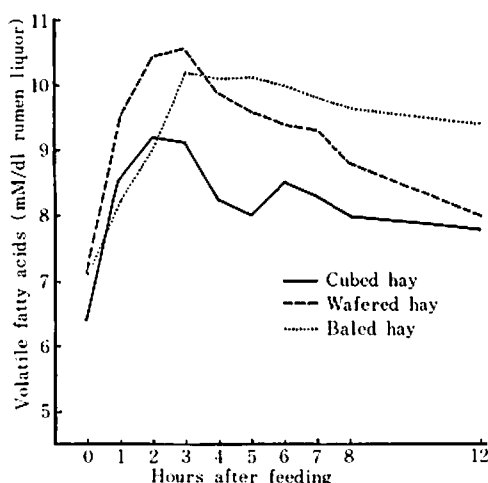


Figure 24. Changes of the total VFA concentration in the rumen liquor.

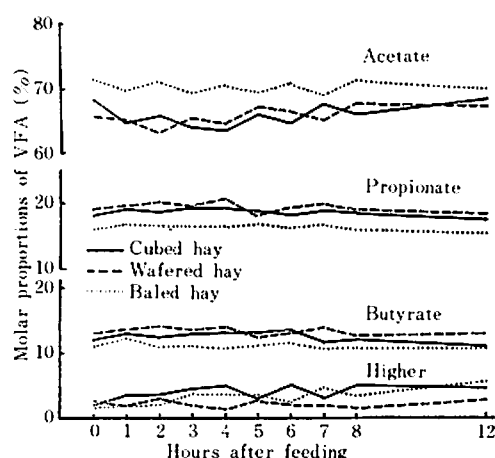


Figure 25. Changes of the molar proportions of ruminal VFA.

比較的細かな乾草片より構成されるキューブやウェファは第一胃内容液にさらされる表面積が大きく、微生物の攻撃を受け易いので採食後速やかに発酵されるものと考えられる。以上の結果は前項で得られた、乾草の粉碎度が高く、細かくなるにつれて第一胃における乾物およびNDFの消失速度が高まる結果を相互に補完するものである。

図25にVFAモル比の経時変化を示した。なお、VFAモル比にも統計的に有意な差は認められなかった。ガスクロマトグラフには酢酸、プロピオン酸、酪酸の外にもイソバレリアン酸、バレ

リアン酸、カプロン酸の存在も認められたが、いずれも微量であったのでまとめて図示した。採食後時間の経過に伴う個々のVFAのモル比の変化はいずれも大きなものではなかったが、キューブおよびウェファ給与時には採食後酢酸モル比が低下し、数時間後に最低となった後、徐々に採食前の水準に復す傾向が認められた。プロピオン酸および酪酸のモル比は採食後の酢酸モル比の変化に伴い、いずれも採食後わずかに上昇し、その後は採食前の水準に復す傾向が認められた。梱包乾草給与時にはいずれの酸のモル比の変動も小さかった。

各酸の比率は乾草の加工形態や給与後の時間にかかわらず、酢酸、プロピオン酸、酪酸の順で高かった。また、キューブやウェファを給与した際は乾草を給与した際に比べて酢酸モル比が低く、プロピオン酸および酪酸モル比が高く推移する傾向が認められた。

従来から、乾草を粉碎したりペレット化することにより、第一胃内容液の酢酸モル比が低下し、プロピオン酸モル比が上昇するという報告が多い⁶⁹⁾が、加工過程に粉碎工程を含まないキューブやウェファ程度の粒度の乾草についてはデータの蓄積も少なく、第一胃内発酵に明確な影響があるかどうかという問題については研究者の意見も必ずしも一致しているとはいえない。本試験の結果はキューブやウェファなどの圧縮成形乾草も粉碎乾草に比べれば程度こそ小さいが、粉碎乾草と類似の影響をおよぼす可能性を否定できないことを示すものと思われる。

5) 乾草の粉碎度と第一胃内容液の緩衝能

材料と方法

乾草の粉碎度と第一胃内容液の緩衝能との関係を検討するため、2つの試験を実施した。

試験 1

供試した家畜は前項と同じコリデール種のめん羊3頭で、いずれも第一胃フィステルを装着したものである。供試乾草は同一圃場のオーチャードグラス1番草から調製した梱包乾草とヘイクューブである。供試した乾草の化学組成は表36に、粒径分布は表37に示した。試験は2期よりなり、第

1期にはキューブを、第2期には梱包乾草を給与した。各期とも7日間の予備飼養の後、8日目に第一胃内容液を経済的に採取した。給飼は午前9時および午後9時の1日2回行ない、1回の給与量は750gであった。第一胃内容液中のVFA濃度の定量法は、松岡ら³⁸⁾の水蒸気蒸留法であった。

採取した第一胃内容液を素早く4枚重ねのガーゼでろ過し、25mlづつ2個のビーカーに取り、それぞれ1規定の水酸化カリウムおよび塩酸溶液で滴定した。pCO₂の変動をさけるため、攪拌は必要最小限になるように心掛けた。なお、稀釈についての補正は行なわなかった。

緩衝能を表わす指標としては、Turner and Hodgetts⁷⁰⁾に従い、Absolute buffer value (β 値とする)および所定のpH値とするために必要な酸の量(δ 値とする)を採用した。すなわち、得られた酸・塩基滴定曲線に接線を引くことにより β 値を、所定のpH値とするために要した塩酸溶液あるいは水酸化カリウム溶液量より δ 値を求めた。なお、pH値の測定にはガラス電極pH計を用いた。

試験 2

第一胃フィステルを装着したコリデール種の去勢成めん羊2頭を供試した。試験は4期より成り、第1期はキューブ、第2期は梱包乾草、第3期はキューブと大麦、第4期は梱包乾草と大麦をそれぞれ給与した。飼料給与は午前9時および午後9時の1日2回行ない、キューブあるいは梱包乾草のみを与えた第1期および第2期には1回に750gを給与し、大麦を合せて給与した第3期および第4期にはキューブあるいは梱包乾草を1回500g、大麦を250gづつ給与した。供試したキューブおよび梱包乾草は試験1と同じであった。大麦の化学組成は表38に示したとおりであった。試験は各期とも7日間の予備飼養の後、8日目に第一胃内容液を経時的に採取した。第一胃内容液の採取法やVFA濃度の分析法ならびに緩衝能の測定法はいずれも試験1と同様であった。

結果と考察

試験1における第一胃内容液中のVFA濃度とpH値の平均値の経時的变化を図26に、試験2におけるこれらの変化を図27にそれぞれ示した。

Table 36. Chemical composition of the hay used for studying the buffering capacity of rumen contents

	Mois.	C. Prot.	C. Fat	N F E	C. fib.	C. Ash	N D F	A D F	A D L
Baled hay	15.1	12.2	4.3	45.0	30.5	8.0	63.1	39.8	4.5
Cubed hay	11.9	14.2	5.3	46.1	25.2	9.2	60.8	38.2	5.2

Percentage of dry matter except moisture.

Table 37. Particle size distribution of the cubed hay used for studying the buffering capacity of rumen contents

		Particle size distribution*					Modulus of	
4.76	2.40	1.20	0.60	0.30	0.15	Pass	Fineness	Uniformity
—	5.6	36.5	37.8	12.2	6.7	1.2	3.19	1:7:2

* Percentage of dry matter retained on sieves with these apertures (mm).

Table 38. Chemical composition of the barley

Mois.	C.Prot.	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash
12.9	12.6	2.4	77.3	4.7	3.0

Percentage of dry matter except moisture.

VFA 濃度は採食後上昇し、数時間後に最高値をとった後、徐々に下降して採食前の水準に復す傾向が認められた。また pH 値は VFA 濃度とは逆に採食後一旦低下するが、その後徐々に上昇し、元の水準に復すようであった。VFA 濃度、pH 値の採食後の変動はキューブ給与時には梱包乾草給与時に比べて急速で、変動幅も大きかった。キューブや梱包乾草とともに大麦を給与した際にも同様の傾向が認められた。大麦を合せて給与した際にはキューブや梱包乾草のみを給与した際に比べて VFA 濃度は高く、pH 値は低く推移した。

酸・塩基滴定曲線の 1 例を図 28 に示した。得られた酸・塩基滴定曲線の一般的な特徴は次の様であった。緩衝能はアルカリに対するよりも酸に対する方が強く、 β 値が最も高くなる、換言すれば、緩衝能が最も高い pH の領域は pH 4.4~5.0 の範囲であり、通常の第一胃液の pH 値よりも低かった。また、 β 値が最小となる、すなわち、緩衝能が最も低い pH の領域は pH 7.5~8.0 の範囲であった。

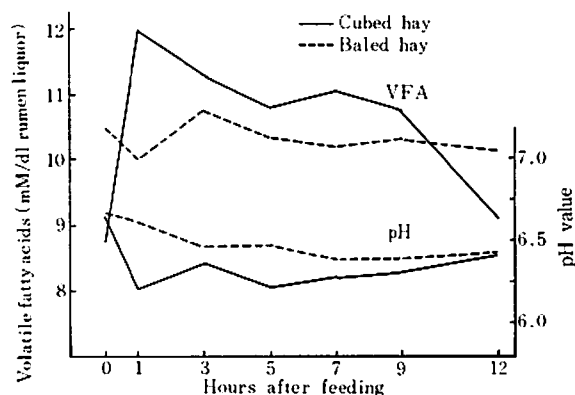
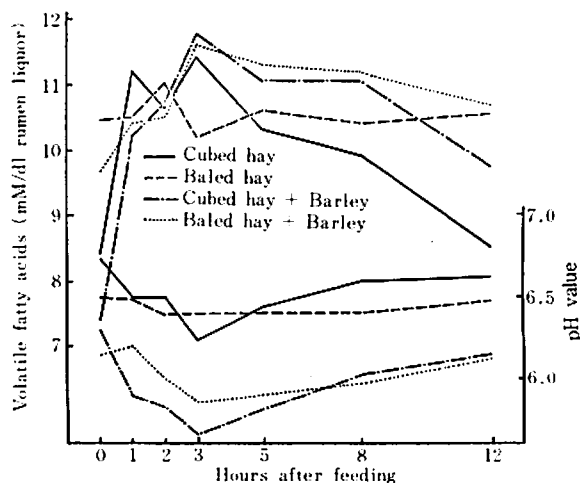
**Figure 26.** Changes in total VFA concentration and pH value of rumen liquor in Experiment 1.**Figure 27.** Changes in total VFA concentration and pH value of rumen liquor in Experiment 2.

図29に試験1における β 値の日内変動を示す。当初 pH 値における β 値は採食後上昇し、数時間後には元の値に復した。変動幅はキューブ採食時に大きかった。最大 β 値(以下 β max. とする)の日内変動は当初 pH 値における β 値の変動よりも大きかった。また、梱包乾草給与時に比べてキューブ給与時に変動が急速で、変動幅も大きかった。最小 β 値(以下 β min. とする)にはあまり大きな変動は認められなかった。

図30には δ 値の日内変動を示した。ここで、 $\delta(5)$ とは試料を pH 5 まで低下させるに要した酸の量を表わす。 $\delta(8)$ とは試料を pH 8 まで高めるに要したアルカリ量であり、酸と区別するため負の符号を付した。梱包乾草給与時の δ 値の変動とキューブ給与時のそれとを比較すると後者において変動が急で変動幅も大きかった。 $\delta(5)$ は採食後低下したが、これは当初 pH 値が低下したため、酸の滴加量が少なくても pH 5 に達したことを示す。また、 $\delta(5)$ と $\delta(4)$ との差は $\delta(4)$ と $\delta(3)$ との差よりも大きかったが、これは pH 4~5 の領域の緩衝能が pH 3~4 の領域のそれに比べて高いことを反映しているものと思われる。

図31に試験2における採食後の β 値の推移を示した。また図32には δ 値の推移を示した。当初 pH 値における β 値および β max. は試験1と同様に

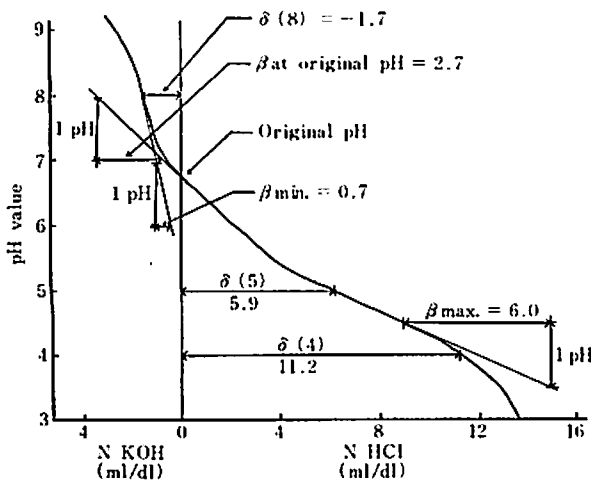


Figure 28. Acid-base titration curves of rumen liquor (Expt. 1, Sheep C-3, immediately before feeding).

採食後上昇し、後に下降して採食前の水準に復す傾向が認められた。 β min. の変動は小さかった。大炭給与の有無にかかわらず、キューブを給与した際は梱包乾草を給与した際と比べて当初 pH 値における β 値および β max. の変動は急で、変動幅も大きかった。梱包乾草給与時には β 値は採食後徐々に上昇し、長く高水準を維持する傾向が認

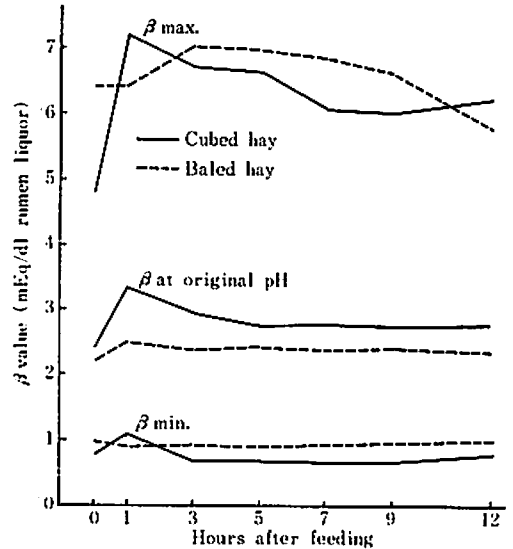


Figure 29. Change in β values of rumen liquor in Experiment 1.

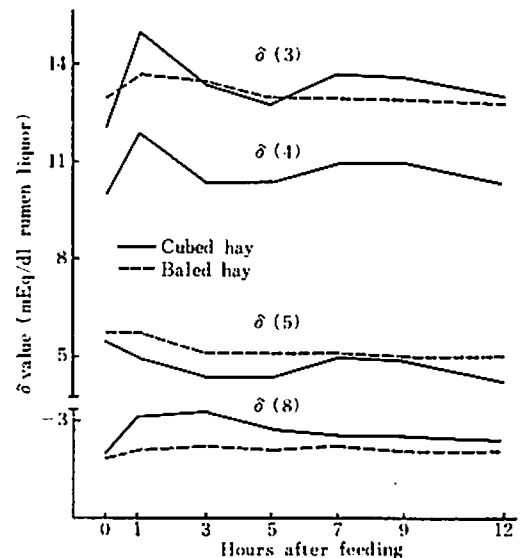


Figure 30. Changes in δ values of rumen liquor in Experiment 1.

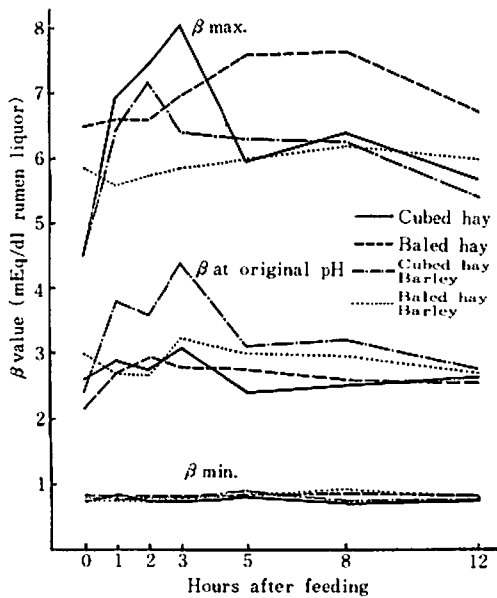


Figure 31. Changes in β values of rumen liquor in Experiment 2.

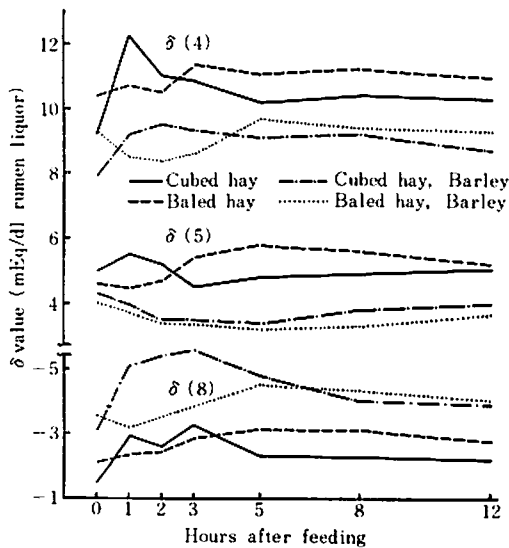


Figure 32. Changes in δ values of rumen liquor in Experiment 2.

められた。この傾向は試験 1 で得られた結果と共通するものである。

大麦を給与することにより、 δ 値は $\delta(4)$ 、 $\delta(5)$ ならびに $\delta(8)$ のいずれも低下した。 $\delta(8)$ は負の値であるため、この低下は第一胃内容液を pH 8 まで上昇させるためにより多くの塩基を必要としたこと

を意味する。

Turner and Hodgetts⁷⁰⁾ はめん羊の第一胃内容液の緩衝能について酸・塩基滴定曲線を描いて研究し、第一胃内容液の緩衝能はアルカリに対するよりも酸に対する方が高いことを確認するとともに、第一胃内容液中の緩衝物質の相対的な重要性について検討している。その結果、絶食中の家畜の第一胃内容液では重炭酸塩が最も重要な緩衝物質であり、発酵が始まり、pH 値が低下するにつれてリン酸塩の重要性が高まり、pH 6 以下の活発に発酵している第一胃内では酢酸が重要な緩衝物質として働くことと報告している。Kaufmann und Hagemeister³⁵⁾ は第一胃内容液の緩衝能は pH 値により大きな影響を受け、pH 6 以上では主に重炭酸塩が、pH 6 以下では酢酸が主要な緩衝物質として働くが、リン酸塩は第一胃内容液中の濃度が低いため、その緩衝作用は小さいと報告している。

試験 1 および試験 2 の大麦無給与の条件下では、第一胃内容液の当初 pH 値はいずれも pH 6 以上であり、当初 pH 値における緩衝作用は重炭酸塩と一部酢酸によるものと思われる。また、大麦を加えた飼養条件では当初 pH 値が低く、当初 pH 値における緩衝能は主に酢酸によるものと考えられる。また、 β 値が最大となる pH 値の領域は pH 4.4~5.0 であり、緩衝物質としては酢酸が最も重要な役割を果たしているものと考えられる。

梱包乾草給与時に比べてキューブ給与時には大麦給与の有無にかかわらず当初 pH 値における β 値および β max. は急激に変動し、変動幅も大きかった。両 β 値の変動の様相は第一胃内容液中の VFA 濃度の変動の様相と類似しており、上記 β 値の変動は VFA 濃度の変動を一部反映したものである。大麦を給与することにより、 $\delta(4)$ および $\delta(5)$ の値が低下したが、これは当初 pH 値の低下により、より少量の酸の滴加により、それぞれ pH 4 および pH 5 に達したと思われる。

前章で明らかにした様に、粗飼料としてキューブのみを給与する条件では梱包乾草を給与する場合に比べて反芻時間および反芻食塊吐出回数が著しく減少する。反芻中の唾液分泌速度は休息時よりも高まることが知られている。^{12,62)} 従って、梱

包乾草給与時にはキューブ給与時に比べて多量の唾液が分泌されたものと考えられ、より多くの重炭酸塩が分泌されたものと推測されるが、本実験ではこの影響を β 値、 δ 値の変化として検出できなかった。しかし、大麦無給与条件では当初pH値は梱包乾草給与時には重炭酸塩が緩衝物質として働くpH領域にあり、キューブ給与時には酢酸が緩衝物質として働くpHの領域にあった。これには反芻量の大小が一部反映されているものと考えられ興味深い。

6) 乾草の粉碎度と消化管内滞留時間および消化率

材料と方法

乾草の粉碎度が消化管内滞留時間および消化率におよぼす影響について検討しようとして、2つの試験を実施した。

試験 1

供試した家畜はコリアール種の去勢成めん羊3頭（体重64～69kg）であった。供試した乾草はチモシー1番乾草で、その化学組成は表39に示したとおりであった。この乾草を設定切断長30mmに細切し、試験に先立つ7日間、1日1頭当たり1000gを午前9時および午後5時の1日2回それぞれ半量ずつ給与した。また、この細切乾草をフクシンおよびブリリアントグリーンを用いて、それぞれ紅色および緑色に煮沸染色した。染色後、残余の染料を除去するため、清水で2回煮沸洗浄した。2色に染色した乾草のうち、ブリリアントグリーンで緑色に染色した乾草をウィレー粉砕機で1mm篩を通るよう粉砕した。

試験第1日目の午前9時に給与した飼料には紅および緑色に染色された乾草をそれぞれ25gずつ混合し、容器に入れて給与した。なお、飼料給与後1時間目にはこの容器を取り除き、飼料箱内に染色乾草片が残らないよう清掃した。この時点で残食はほとんどなかった。糞の採取は飼料給与後6, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132, 144, 156ならびに168時間目に行ない、糞重量測定後、生重で、0.5gの糞塊を採取し、水中に懸濁し、2枚重ねのガーゼ上に均一に広げ、紅および緑色に染色された不消化乾草片数

を計数した。この操作を2回反復した。なお、染色片数は糞乾物0.2g中の値に補正し、平均値をとって平均染色片数とした。染色片排泄曲線はBalch⁸⁾の方法に準じて求めた。すなわち、平均染色片数に各時間帯に排泄された糞乾物量を掛け、各時間の染色片排泄数を算出し、総計に対する各時間毎の累積染色片数の百分率をグラフにプロットし、線で結び染色片排泄曲線を作図した。染色片排泄曲線より、Castle¹⁴⁾の方法に従い、平均滞留時間(Mean retention time)を算出した。すなわち、5%染色片排泄時間より95%染色片排泄時間まで、10%間隔に排泄時間を求め、この和を10で除し、平均滞留時間とした。

試験 2

試験2で供試した家畜、乾草ならびに実験計画はいずれも前章の乾草の粉碎度、切断長と反芻行動の項と同じである。すなわち、雑種雄めん羊4頭を供試し、チモシー1番乾草を2mmの篩を通るよう粉砕したもの(粉砕乾草)、篩を装着しない状態で粉砕した乾草(粗粉砕乾草)、設定切断長9mmおよび30mmに細切した乾草(それぞれ9mmおよび30mm乾草とする)を供試した。この4種の乾草の一部をそれぞれブリリアントグリーンで染色した。供試乾草の粉碎度および化学組成はそれぞれ表1および表2に示したとおりであった。試験は4×4ラテン方格法で実施したが、第Ⅲ期に供試しためん羊のうちの1頭が粉砕乾草の採食を拒否し、欠測値となった。また、このめん羊は第Ⅳ期には正常に採食したが、手違いにより第Ⅳ期の採糞に失敗した。従って、ラテン方格法としての解析が不可能となったため、このめん羊のデータを除外し、4×3ユーデン方格法⁸⁶⁾として解析した。各試験期とも、7日間の予備飼養に続く5日間採糞したが、採糞を開始する前日の午前9時の飼料給与時に緑色に染色した乾草25gを25gの乾草と置換え給与した。染色乾草片の消化管内滞留時間の測定法は試験1と同様であった。消化率は全糞採取法により求めた。

結果と考察

試験1における細切乾燥染色片(紅色)および粉砕乾草染色片(緑色)の排泄曲線を図33に示し

Table 39. Chemical composition of the hay used for studying the rate of passage of digesta through the digestive tract (Expt. 1)

Mois.	C. Prot.	C. Fat	N F E	C. Fib.	C. Ash	N D F	A D F	A D L
11.4	8.8	3.7	50.1	31.2	6.2	68.5	46.1	6.8

Percentage of dry matter except moisture.

Table 40. Mean retention time and digestibilities of ground and chopped hay (Expt. 2)

	Finely ground	Coarsely ground	Chopped at 9 mm	Chopped at 30 mm
Mean retention time (hours)	50.8 ^A	52.4 ^A	73.3 ^B	67.5 ^B
Digestibility (%)				
Dry matter	51.2	52.9	58.4	58.5
Crude protein	46.6	52.3	56.8	55.8
Crude fat	60.7	58.0	63.7	63.8
N D F	58.6	62.2	66.6	65.2

A, B Values having different superscripts are significantly different ($P < .01$).

た。染色片が最初に糞中出现したのはいずれの動物においても給与後24時間以降であり、30時間目には粉碎乾草片は10%弱が排泄されたのに対し、細切乾草片はわずかに2%以下が排泄されたにすぎなかった。また、80%の染色片が排泄されたのは粉碎染色片では給与後70~76時間であったのに対し、細切乾草染色片では112~118時間後であった。図33より平均滞留時間を算出したが、めん羊C-11, C-12, C-13の粉碎乾草染色片の平均滞留時間はそれぞれ56.0, 53.8, 56.0時間であり、細切乾草染色片のそれは、それぞれ83.1, 81.4, 82.6時間であった。Balch and Campling⁹⁾は染色飼料片が最初に糞中に現われる時間は第三胃、第四胃ならびに腸管を通過するに要する最低時間を意味するものとしている。本実験では、これは粉碎乾草染色片および細切乾草染色片のいずれにおいても給与後24時間以降、30時間以前であった。平均滞留時間と最初に染色乾草片が糞中に現われた時間との差が反芻胃内の平均滞留時間に相当するものと考えられるが、本実験ではこれは粉碎乾草染色片では24~32時間であったのに対し、細切乾草染色片では51~59時間で、細切乾草は粉碎乾草より19~35時間程度長く反芻胃内に滞留したこ

とが示唆される。

図34に試験2における粉碎乾草、粗粉碎乾草、9 mm 乾草、ならびに30mm 乾草の染色片排泄曲線を示す。染色乾草片が最初に糞中に現われたのは粉碎乾草および粗粉碎乾草では染色乾草を給与してから24時間後であったが、9 mm 乾草では30時間後であり、30mm 乾草では36時間後であった。粉碎乾草と粗粉碎乾草の不消化残渣が排泄される様相は類似していた。細切乾草の不消化残渣の排泄は粉碎された乾草のそれよりも遅い。30 mm 乾草は最初に染色片が糞中に現われた時間は9mm乾草よりも遅かったが、その後の染色乾草片排泄速度は9 mm 乾草より速かった。表40に供試した4種の乾草の平均消化管内滞留時間と飼料成分の消化率を示した。粉碎乾草および粗粉碎乾草の平均滞留時間はいずれも50時間程度であったのに対し、9 mm 乾草および30mm 乾草のそれは70時間前後であり、両者の差は有意($P < .01$)であった。

試験1では細切乾草を給与しているめん羊に粉碎した染色乾草と細切した染色乾草とを同時に与えたところ、粉碎乾草染色片の排泄は細切乾草染色片に比べて速やかであった。試験2では乾草を4段階の細かさに粉碎ないしは細切して給与する

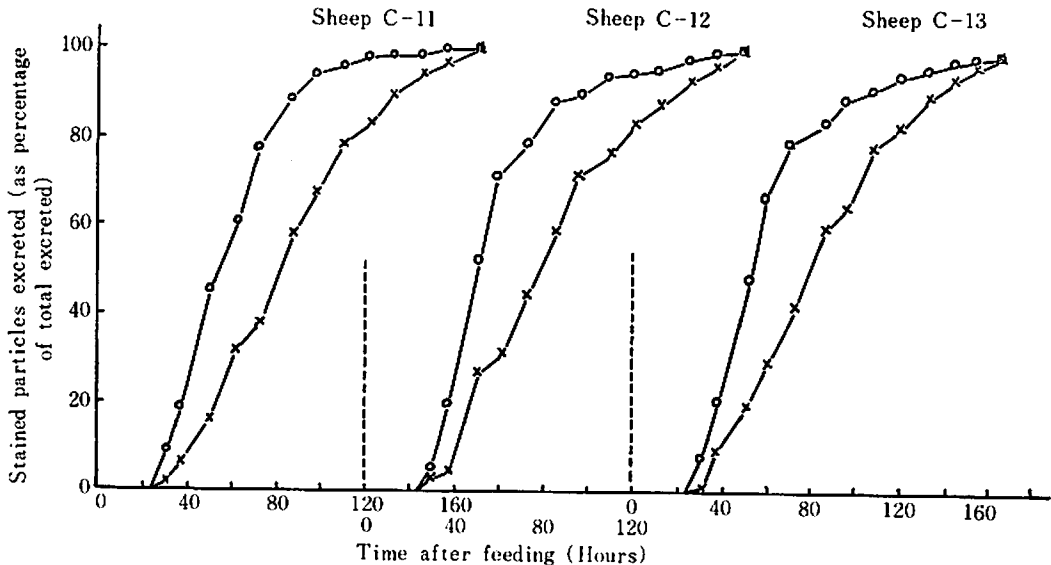


Figure 33. Excretion of stained chopped hay, ×, and stained ground hay, ○, in sheep receiving a diet of chopped hay.

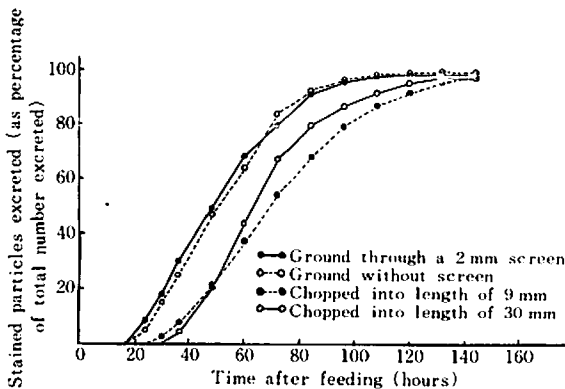


Figure 34. Mean values for the excretion of stained hay particles.

条件で試験したが、前述の様に粉碎した乾草は細切した乾草に比べて速やかに排泄された。これは英国酪農研究所における一連の研究^{8,9)}の結果と一致する。消化管内滞留時間の差は主に反芻胃内滞留時間の差を反映するものと考えられている⁹⁾。

試験2では消化率も測定した。粉碎した乾草の乾物消化率は51～53%であったのに対し、細切した乾草のそれは58%程度であった。粗蛋白質の消化率は粉碎乾草で47%、粗粉碎乾草で52%、細切した乾草では56%程度であった。粗脂肪の消化率は粗粉碎乾草を除き、いずれも60%台であった。

NDFの消化率は粉碎乾草が最低で約59%、次いで粗粉碎乾草、30mm乾草と続き、最も高かったのは9mm乾草であった。各成分の消化率は消化管内滞留時間が長くなるほど高くなる傾向があるようであったが、差はいずれも有意ではなかった。

乾草を粉碎することにより、消化率が低下することはよく知られている^{41,43,63)}。しかし、粉碎の度合と消化率との関係についてはWilkinsら⁸⁴⁾がMF3.0以下の微粉碎乾草についてMFと乾物消化率とが直線的な相関関係にあると報じている程度である。本試験ではMF2.2の粉碎乾草からMF5.2の30mm乾草までのもう少し粗い片より成る乾草を含めて検討した。その結果、9mm乾草(MF4.6)と30mm乾草(MF5.2)との各成分の消化率の差は非常に小さかった。MF3.1の粗粉碎乾草では消化率は低下するようであった。MFと消化率との関係はWilkins⁸³⁾が指摘した様にMF3.0以下では、MF値が低下するにつれて消化率が直線的に低下するが、MF3.2程度を境にして勾配が緩み、MF4.6以上ではMFの影響はほとんど受けられないものと思われる。

乾草が微細化するにつれて消化率が低下するのは消化管内滞留時間、特に反芻胃内滞留時間が短

Table 41. Voluntary dry matter intake, dry matter digestibility and NDF digestibility of hay used

Hay	Voluntary dry matter intake*	Digestibility (%)	
		Dry matter	N D F
A	45.6	60.5	65.3
B	54.2	67.8	73.7
C	48.2	64.1	66.8
D	42.2	60.9	64.5
E	48.6	66.5	74.8
F	38.2	55.0	58.0

* g/W⁷⁵

縮されるため、十分な発酵・分解を受けないまま後部消化管へ移動することによるものと考えられている^{41,43,83}。先項で明らかにした様に、乾草を粉碎すると第一胃内における消化速度を増すが、それ以上に消化管内通過速度が増すことによる消化率の低下の方が大きいようである。

本実験では粉碎度を異にする4種の乾草間の消化率の差は有意ではなかったが、これはラテン方格法として計画した実験をユーデン方格法として解析せざるを得なくなり、誤差の自由度が小さくなって検出力が低下したことも原因の一つと思われる。

7) 乾草の粉碎速度と自由摂取量および消化率 材料と方法

供試した乾草、ウィレー粉碎機ならびに家畜はいずれも前章の乾草の粗剛性と反芻行動の節で供試したのと同じであった。家畜には供試した6種の乾草をアルファベット順に給与し、いずれも飽食させた。各乾草の自由摂取量の測定は7日間の予備飼養期に続く7日間に実施した。

乾草粉碎速度の測定値は表15および表16に示した。また、乾物摂取量は表19に示したとおりであった。

結果と考察

供試した6種の乾草のメタボリックボディサイズ当りの乾物摂取量、乾物およびNDF消化率を表41に示した。乾物摂取量は本項ではすべてメタボリックボディサイズ当りのg量で論じる。供試した6種の乾草の乾物摂取量は55～68%、NDF消化率は58～75%の範囲であった。

Table 42. Correlations obtained between the rate of grinding and digestibility of dry matter and NDF

Rate of grinding	Voluntary dry matter intake*	Digestibility (%)	
		Dry matter	N D F
% of grinding at			
2 minutes	0.95**	0.86*	0.83*
3 minutes	0.93**	0.88*	0.87*
5 minutes	0.94**	0.88*	0.87*

+ g/W⁷⁵

* Significant on a probability of 0.05.

** Significant on a probability of 0.01.

乾草の粉碎速度と乾物摂取量および消化率との関係を検討するため、乾草の粉碎速度を表わす3つの指標（2分間粉碎率、3分間粉碎率ならびに5分間粉碎率）と乾物摂取量および乾物・NDF消化率との相関係数を算出し表42に示した。乾物摂取量と乾草の粉碎速度を表わす3つの指標との相関はいずれも有意（ $P < .01$ ）であった。また乾草の粉碎速度を示す指標と乾物およびNDF消化率との間にも有意（ $P < .05$ ）な相関が認められた。

2分間粉碎率と乾物摂取量との関係を図35に、2分間粉碎率と乾物消化率との関係を図36に示した。両図および表42に示した様に、ウィレー粉碎機による乾草の粉碎速度が高くなるにつれて乾物自由摂取量が増し、乾物およびNDF消化率が高くなることが明らかになった。

ウィレー粉碎機による乾草の粉碎速度は乾草を物理的に碎き、細かな片にすることの難易性を示す指標と考えることができる。粉碎速度の速い乾草は採食時、反芻時のそしゃくや再そしゃくにより、比較的容易に微細な片となり、消化管内滞留時間が短いために乾物自由摂取量が多いものと思われる。粉碎速度の低い乾草ではこの逆になる。

前章で明らかにしたように、ウィレー粉碎機により乾草を粉碎する際、時間の進行に伴い粉碎機より排出される試料のNDF含有率およびADF含有率は増大する。従って、乾草の粉碎速度の高い乾草ほど消化性の高い非細胞壁構成物質の含有率が高く、消化性の低いリグノセルロースの含有率が低いことが示唆される。乾草の粉碎速度と消

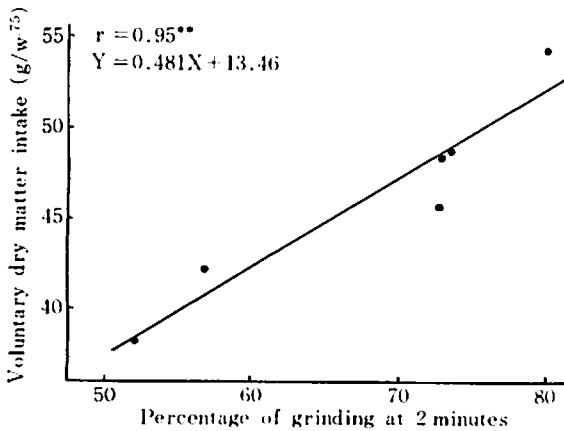


Figure 35. Relationship between rate of grinding and voluntary dry matter intake.

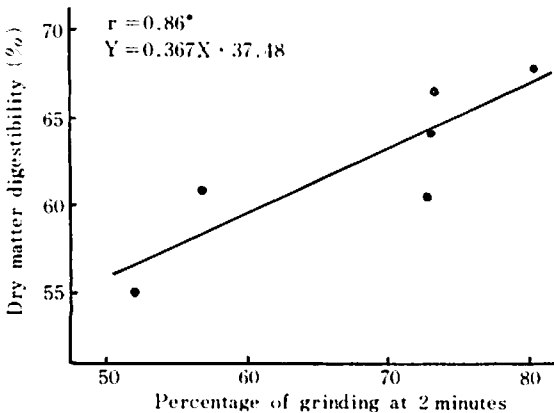


Figure 36. Relationship between rate of grinding and digestibility of dry matter.

化率との間に有意な相関が認められたことはこれを裏付けるものである。

なお、乾草の微細化の難易度を示す指標として Troelsen and Bigsby⁶⁰⁾ は人工そしゃく機による人工そしゃく後の Particle size index を, Chenost¹⁵⁾ は粉碎に要する電気エネルギーを指標とした Fibrousness index をそれぞれ提唱し、前者は自由摂取量と、後者は自由摂取量および有機物の消化率との間に有意な相関を得ている。

2. 反芻行動と反芻胃内環境

前節では反芻の直接的な消化作用である飼料の機械的な摩砕とその消化生理上の意義について検討したが、本節では反芻行動が間接的ながら深く関与していると思われる反芻胃内環境について検

討した。

反芻胃内の環境調節は連続発酵槽としての反芻胃の機能を保障するための要であり、反芻家畜の消化生理上最も重要な機能の一つである。本節では第一胃運動、第一胃内 pH 値ならびに第一胃内温度など第一胃内の主要環境におよぼす反芻行動の影響について検討した。

1) 反芻行動と第一胃運動頻度

材料と方法

供試家畜はコリデール種の去勢めん羊2頭で、いずれも第一胃フィステルを装着したものであった。体重は52kg および55kg であった。これらのめん羊に第1期には1日1頭当りヘイキューブを1500g、第2期にはヘイキューブと同一原料草より調製した梱包乾草1500gをそれぞれ給与した。いずれの試験期においても午前9時および午後9時の1日2回、それぞれ半量ずつ給与した。

第一胃収縮回数の測定は第II章に示したニューモグラフ・タンブール法を応用した。ニューモグラフとしては二連球の握り部分を利用した。第一胃フィステルのコルク栓に穴をあけ、これに塩化ビニール管を差し込み接着剤で固定し、これに二連球握り部分を脱落しないように取り付けた。塩化ビニール管の他端にはプラスチック製の管を取り付け、タンブールと連結した。実験当初はタンブールに取り付けたペン軸に信号リレーを取り付け、自記電接计数器による記録を試みたが、第一胃の運動に伴う圧力変化と鳴き声を発する際に起る内圧変化とを区別することができなかったため、タンブールのペン軸の動きを記録しつつ、鳴き声による記録は聞き分け除外した。

なお、反芻行動の測定はラジオバイオテレメトリにより、記録機としてはポリグラフを用いた。

供試したヘイキューブと梱包乾草の化学組成は表36に、粒径分布は表37に示した。

結果と考察

図37に15分毎の第一胃収縮回数と反芻行動を示した。第一胃収縮回数は採食開始直後より著しく増加し、採食終了後減少した。また、反芻中には前後の休息時よりも第一胃収縮回数が増える傾向を認めた。また、梱包乾草給与時とヘイキュー

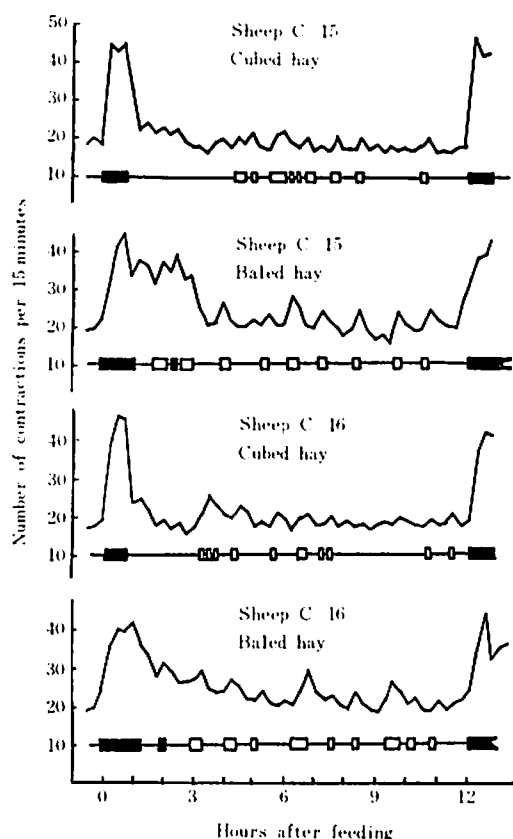


Figure 37. Changes in frequency of rumen contraction in relation to jaw movements.

■ Eating period, □ Ruminating period, — Resting period.

ブ給与時とを比較すると、全体的に梱包乾草給与時の方が第一胃収縮回数が多いようであった。

そこで、キューブ給与時および梱包乾草給与時の第一胃収縮間隔を採食時、反芻時ならびに休息時の別に測定し、表43に示した。なお、表示した中央値と範囲はいずれも60の測定値より求めたものである。反芻中および採食後30分以外の休息中の値は測定時間が片寄らないよう毎時間測定した。各行動型毎の第一胃収縮間隔は分布が異なり、分散が異なることが知られている³⁹⁾。そこで、各行動型間の第一胃収縮間隔の差を検定する際に中央値テスト³⁰⁾を採用し検定した。

第一胃収縮間隔は動物の状態により大きな影響を受け、行動型別では採食中が最も間隔が短かく、反芻中がこれに次ぎ、休息中が最も間隔が長いが分布の範囲は最も広いといわれている³⁹⁾。本実験の結果もこれと一致した。休息中でも採食終了後30分以内の第一胃収縮間隔は反芻中のそれよりも短かった。また、採食中を別にすれば、梱包乾草給与時の第一胃収縮間隔はキューブ給与時よりも短かく、収縮頻度が高かった。Colvin and Daniels¹⁷⁾, Pharr⁵⁸⁾は乾草を粉碎して給与すると、それぞれ牛およびめん羊の絶食24時間後の第一胃収縮間隔が長くなるとともに収縮時の第一胃内圧変化幅が小さくなると報じている。本実験では第一胃収縮回数および間隔を第一胃内圧変化を利用して測定したが、第一胃内圧を測定してないので、第一胃内圧変化幅が梱包乾草給与時とキューブ給与時とで異なるかどうか、また動物の行動型により異なるかどうかについては検討できなかった。

Table 43. Interval of rumen contraction in sheep during eating, ruminating and resting

	Eating	Ruminating	Resting	
			Within 30 minutes after meal	The others
Cubed hay	20 ^a (14~31)	45 ^b (30~65)	37 ^{ab} (19~47)	50 ^b (29~83)
Baled hay	25 ^a (16~33)	37 ^b (27~53)	31 ^{ab} (18~51)	45 ^b (31~74)

Median value for interval of contraction, seconds.

() Range n=60.

a, b Values having different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

以上の結果より、採食中、反芻中には休息中に比べて単位時間当りの第一胃収縮回数、換言すれば第一胃の収縮頻度が増大することが示された。従って、採食中および反芻中には休息中に比べて第一胃の内容はよく攪拌されるものと推測される。

2) 反芻行動と第一胃内 pH 値

材料と方法

供試した家畜は第一胃フィステルを装着したコリデール種の去勢成めん羊1頭であった。体重は55kgであった。2週間の予備飼養の後、表44に示した4種の飼養条件下で試験を実施した。各試験期は13日間で、最初の10日間は予備期とし、反芻行動および第一胃内 pH 値の測定は11日目に実施した。供試飼料は梱包乾草とヘイキューブであった。これらは同一圃場から収穫したもので、いずれもオーチャードグラス主体であった。供試乾草の化学組成は表36に、粒径分布は表37に示した。飲水は採食後1時間に限り許した。

動物には反芻行動と第一胃内 pH 値の測定装置を取りつけた。反芻行動は第II章に示したラジオバイオテレメトリにより測定した。第一胃内 pH

値は標準型の pH 値測定用の複合電極を図38に示した様に加工し、測定した。供試した電極は大倉 GR-221型であるが、リード線は市販標準品より長く5mの長さがあるものを製作してもらい供試した。pH メーターは横河 KPH-51 B 型で、この出力を島津250 A001型電子平衡型自記電圧計に入力し記録した。電極は塩化ビニル管の底部にゴム栓で固定した。これを第一胃フィステルより第一胃内に挿入し、電極が第一胃腹部のうに位置するように固定した。実験当初は pH メーターの読みの再現性が悪かった。これは動物の第一胃と pH メータとが電氣的に絶縁されてないことに起因す

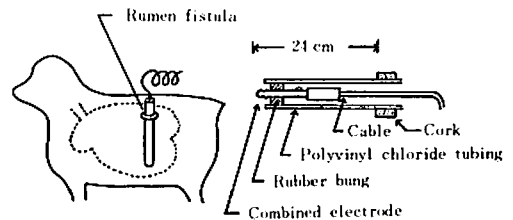


Figure 38. A schematic diagram showing the electrode tubing used for measuring rumen pH value.

Table 44. Feeding treatments used in the experiment

Treatment	Daily food intake*		Physical form of the hay diet	Feeding
	As fed	Dry matter		
A	1025	870	Baled	Once daily
B	990	872	Cubed	Once daily
C	1530	1300	Baled	Twice daily
D	1480	1304	Cubed	Twice daily

* g per day

Table 45. Time spent ruminating and number of boli regurgitated per day

Treatment	Time spent for rumination		Number of boli regurgitated		Number of rumination periods
	min/day	min/kgDM consumed	boli/day	boli/kgDM consumed	
A	461	530	547	629	33
B	189	217	168	193	18
C	407	313	495	381	21
D	348	267	351	269	27

ることが判明したので、動物を収容している木製代謝檻の下にゴムマットを敷き、pH メータをフロウティング状態にし、記録計のアースを取ることで克服できた。pH メータは測定開始前に39°CでpH 4とpH 7の標準液を用いて調整した。24時間の連続記録後にも標準液によりチェックしたが、ゼロ点の変動も電極の感度変化もほとんどなかった。

24時間の第一胃内 pH 値の変化と反芻行動の分布とを図示し、これら2つの時系列間の相関を検定するため、小波の相関検定²³⁾と呼ばれる符号検定法を適用した。ある時点の両者の変化方向（上向または下向）が同方向の際は符号はプラス、反対方向の際にはマイナスの符号を与えた。いずれか片方が変化しない時には符号はゼロとし、計算から除外した。相関係数は推計紙を用いて求めた²³⁾。

結果と考察

1日当りの反芻時間、反芻食塊吐出回数ならびに反芻期数を表45に示した。反芻時間および反芻食塊吐出回数は梱包乾草を給与した際とヘイキューブを給与した際では大きく異なり、いずれも梱包乾草給与時に大きな値であった。これは第IV章で得た結果と一致する。飼料片の大きさが小さくなるにつれて反芻時間が減少することは一般に認められているところである^{25,51)}。

表46に第一胃内 pH 値の平均値と範囲を示した。第一胃内 pH 値の平均値は梱包乾草給与時よりもキューブ給与時に低い値であった ($P < .01$)。キューブ給与時の第一胃内 pH 値の最小値は pH 6 を大きく下回った。また、1日2回給与時に比べて1日1回給与時には第一胃内 pH 値の変動幅

が大きいようであった。この傾向はキューブ給与時において顕著であった。

図39に第一胃内 pH 値の日内変動を示した。15分毎の pH 値をプロットし、これを結ぶことにより作図した。第一胃内 pH 値は飼料摂取後低下し始め、採食後数時間ないし8時間程度で最小値をとり、その後徐々に回復した。これは飼料摂取後の第一胃内 pH 値の変化の典型的な様相として広く認められている傾向³⁴⁾である。図39に示した第一胃内 pH 値には短時間の変動もかなり認められる。そこで、この様相を詳細に検討するため、記録の一部をトレースして図40に示した。図中の水平の線は反芻期を表わす。図40における pH 値の変動には2つの種類が認められる。第1に、30秒ないし数分の周期の短期の変動で、図中では刺状に見えるものである。この現象の原因は不明であるが、これは第一胃の運動に同期している様に観察された。Wheaton ら⁸²⁾は、第一胃内の pH 値は部位によりかなり変動すると報告している。

他の1つは反芻行動と関係深い様に思われる変動であり、反芻開始後数分して pH 値が上昇し、反芻終了後しばらくして低下する。

ここに記した2種の短期間の変動については他に報告がない。こうした短期の変動は pH 値の連続測定以外の方法では記録できないであろう。Johnson and Sutton³⁴⁾は牛の第一胃内 pH 値を連続記録したが、短期の変動を認めていない。同氏らが使用した電極は直径5 mm の穴のあいた金属製のケースに入れられ、さらに絹製の袋に収容されていた³⁴⁾ため、こうした速い変化を検出することができなかったのかもしれない。

図39には15分毎の反芻食塊吐出回数も示した。

Table 46. Effect of physical form of hay on the mean pH value in the rumen

Treatment	Mean* with S. D.	Range of pH values	
		Maximum	Minimum
A	6.40 ^a ± 0.16	6.76	6.01
B	6.05 ^b ± 0.35	6.64	5.42
C	6.54 ^a ± 0.13	6.79	6.10
D	6.04 ^b ± 0.15	6.43	5.76

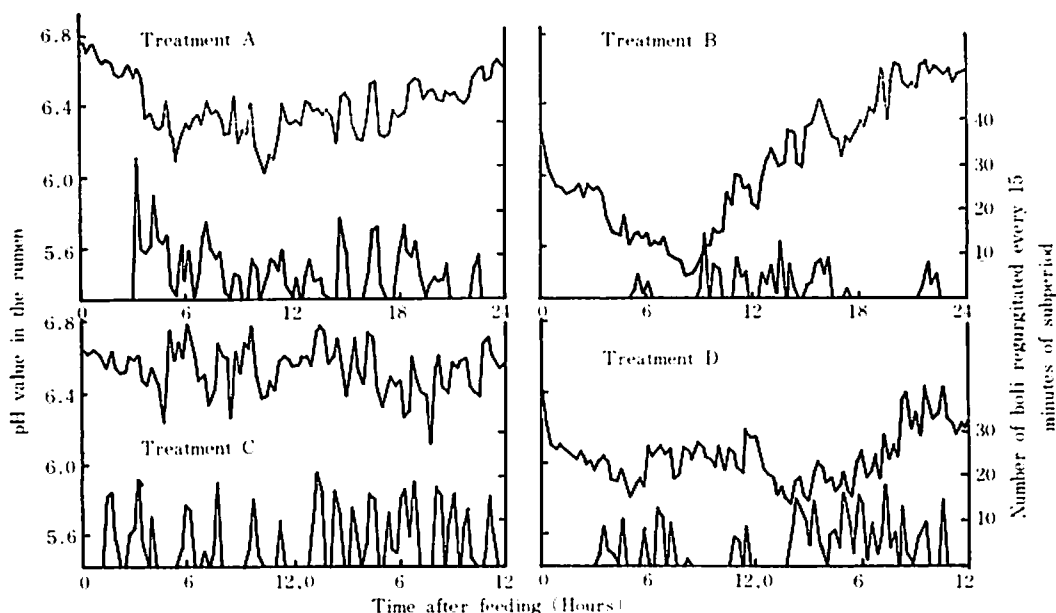
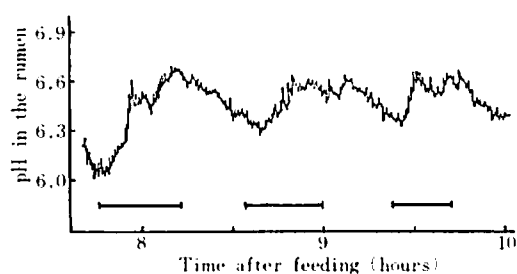
* Mean figure has been calculated by integrating the values obtained every 15 minutes.

a, b Values having different superscripts are significantly different ($P < .01$).

Table 47. Sign test adopted to test correlation between the number of boli and rumen pH value

Treatment	Number of signs			d. f.	χ^2	Probability	Correlation coefficients*
	plus	minus	expected				
A	46	19	32.5	1	11.2	< .001	0.59
B	31	6	18.5	1	16.9	< .001	0.86
C	44	16	30.0	1	13.1	< .001	0.68
D	39	16	27.5	1	9.6	< .001	0.60

* Correlation coefficients obtained using square root paper.

**Figure 39.** Diurnal variation in the rumen pH value and distribution of rumination.**Figure 40.** Typical pH value recording in the rumen of sheep. The marked lines indicate the periods of rumination (Treatment C).

第一胃内 pH の変動と反芻食塊吐出回数の変動との関係を明らかにするため、小波の相関検定と呼

ばれる符号検定法を適用した。その結果を表47に示した。15分毎の第一胃内 pH 値の変動と反芻食塊吐出回数の変動との間に有意な相関関係が認められ、15分毎という比較的短期の第一胃内 pH 値の変動の原因として、反芻行動が関与していることが示された。推計紙を用いて求めた相関係数より、決定係数を算出したところ、第一胃内 pH 値の分散の34%（処理A）～74%（処理B）を反芻食塊吐出回数で説明できることが示された。Pearce⁵⁵⁾ は第一胃内容物を pH5.1から pH7.0までの緩衝液と混合し、再び第一胃内に投入し、第一胃内 pH 値が反芻開始におよぼす影響を検討したが、第一胃内 pH 値は反芻の開始にはほとんど影響しなかったと報告している。従って、第一胃内 pH 値が

反芻行動に影響するのではなく、反芻行動が第一胃内 pH 値に変化をもたらすものと理解される。しかし、反芻行動が認められず、反芻食塊が吐き戻されない場合においても第一胃内 pH 値の変動が起ることがあり、他の要因も関与しているものとも考えられる。

第一胃内の pH 値は、主にそこに発生する有機酸の量と流入する唾液の量により変化するものと考えられている。有機酸の量は飼料の性質や採食後の時間により変動する。採食時から次の採食時までを周期とした第一胃内 pH 値の変動は主に第一胃内の有機酸の量を反映したものと思われる。

一方、分泌される唾液の量は飼料の物理的性質や反芻時間および反芻食塊吐出回数で表わされる反芻量により影響されることが知られている^{12, 16, 43, 62)}。Brüggemann ら¹²⁾は反芻中の唾液分泌速度は休息中の約3.5倍にも達すると報告している。従って、本試験で認められた、反芻前後の第一胃内 pH 値の変動は主に唾液の分泌速度を反映したものと考えられよう。

以上より、反芻行動は第一胃内 pH 値の極度の低下を防ぐ上で重要な役割を果たしていることが明らかにされた。

3) 低温飼料の採食行動と第一胃内温

寒冷地においてはサイレージ等の多汁質飼料の凍結は通常見受けられる現象である。反芻家畜は採食時にはえん下するために必要なだけしかしゃくしないといわれているが、第Ⅳ章のサイレージの物理的性質と反芻行動の節で明らかにしたように、凍結状態のサイレージを給与した際には採食時間が延長される。この様に凍結多汁質飼料を採食する際には第一胃内温度の激変を防止する様に採食行動が変化する可能性がある。採食行動も反芻行動と同じくしゃく行動を含み、両者は深く関連している。そこで本項では低温多汁質飼料の採食行動とその第一胃内環境の恒常性維持に果たす役割について検討した。

材料と方法

第一胃フィステルを装着したコリデール種の去勢めん羊3頭(体重58~65kg)を供試した。供試したサイレージはオーチャードグラスを主とし

た牧草を原料として調製したものであり、化学組成および総エネルギー含量は表48に掲げたとおりである。

実験期は実験順に10℃期、3℃期ならびに-10℃期とし、牧草サイレージの温度がそれぞれ10℃、3℃ならびに-10℃となった時点で採食を開始させた。サイレージの温度調節には大型冷蔵庫および大型冷凍庫を使用した。実験期は各期とも6日間で、計18日間であった。なお、実験期間中の実験室温は7~13℃であった。いずれの実験期においても、1日目より3日間、第一胃内温、直腸温を隔測温度計で自記し、心拍数および呼吸数も測定した。4日目より6日目までの3日間には採食速度およびサイレージ温の変化を測定した。6日目には第一胃内容物の経時的採取も合わせて行なった。給飼は午前9時と午後9時の1日2回とし、1回の給与量は1.5kgであった。なお、測定は午前9時からの給飼に関してのみ行なった。

第一胃内温の測定には銅・コンスタンタン熱電対を装置したポリエチレン棒、冷接点補償函、微少電圧計ならびに記録計よりなる隔測温度計を使用した。直腸温の測定には前記のポリエチレン棒の代わりにボールペンのプラスチック製支持部を使用した。測温の際には、ポリエチレン棒およびプラスチック棒を図41のごとくめん羊に装置した。これにより、第一胃フィステル開口部より第一胃内部へ12cm および24cm の2点ならびに肛門より約14cm 内部の直腸の測温が可能となり、それぞれ第一胃内温(中部および下部)、および直腸温とした。採食速度は飼料箱を経時的(10分間隔)に秤量することにより測定した。心拍数および呼吸数の測定には聴診器を用いた。

サイレージの一般成分の分析は AOAC 法⁵⁾により、総エネルギー含量の測定には自記熱量計を用いた。第一胃内容物の VFA 濃度および組成の測定は松岡ら³⁰⁾の方法で、アンモニア態窒素濃度の測定は減圧蒸留法⁵³⁾によった。

なお、めん羊個体、実験期、測定時間を要因とした3元配置法として分散分析を行なった。

結果と考察

採食開始時より採食を終了するまでの間、10分

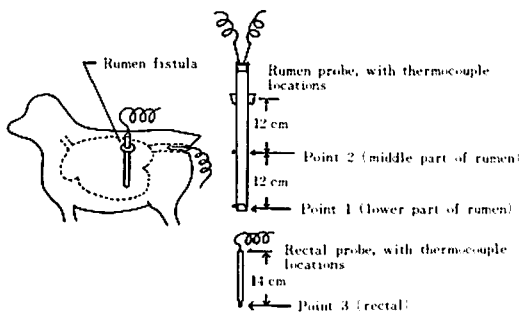
Table 48. Chemical composition and energy content of silage used

% of fresh silage		% of dry matter					kcal/gDM
Moisture	VFA	C.Prot.	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash	Gross energy
81.2	1.2	11.9	3.7	37.1	38.9	8.4	4.56

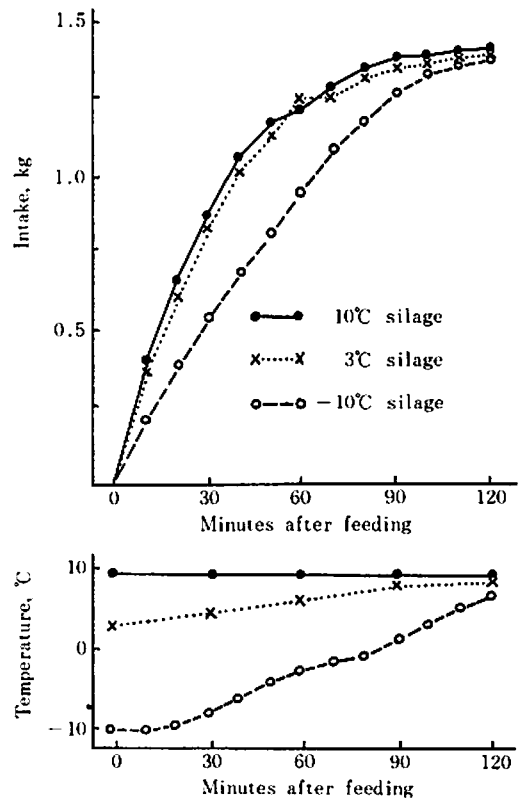
Table 49. Calculated heat of warming*

Silage temperature (°C)	Heat of warming (kcal/1.5 kg silage)			
	Below the freezing point	Heat of fusion	Above the freezing point	Total
10	—	—	39.0	39.0
3	—	—	44.0	44.0
-10	3.4	76.8	49.8	130.0

- Heat of warming is given the symbol Hw (Blaxter).
- When calculating Hw, specific heat and heat of fusion were assumed as follows : specific heat ; ice : 49×10^{-2} cal/g·deg, water : 1 cal/g·deg, silage (DM) : 30×10^{-2} cal/g·deg and heat of fusion ; 80 cal/g·ice.

**Figure 41.** A schematic diagram showing the rumen and rectal probe used for measuring intraruminal and rectal temperature.

毎の平均採食量を加算することにより採食曲線を求め、図42に示した。また、同図には採食時間の経過に伴うサイレージの温度変化も下半に示した。10℃期および3℃期における採食の様相はほぼ同様であり、採食開始時より約40分間は採食速度に大きな変化は認められず、その値は10分当り270~287gであった。-10℃期においては採食開始後約80分間は採食速度に大差は認められず、その値はおよそ10分当り177gであり、10℃期および3℃期に比べて有意に小さかった。凍結サイレージを採食する様子を観察したが、口唇や舌を使ってサイレージをよく噛め、これにかなりの時間を

**Figure 42.** Accumulative silage intake and changes in temperature of the silage.

費やす。家畜は凍結状態のままえん下せず、解凍してからえん下するものと思われる。また、1回に採食する量が少ない様にも観察された。採食中のそしゃくは温度緩衝の役割をも果たすものと考えられる。第IV章において、高水分凍結サイレージを給与した際に採食時間が延長することが明らかにされたが、これは採食速度の低下を反映したものと考えられる。

図42に掲げた採食曲線およびサイレージ温の変化をもとに、めん羊1頭が1回の採食（採食量1.5kg）において飼料を体温まで温めるに要した熱量（Heat of warming, Hw）¹¹⁾を算出し、表49に示した。すなわち、供試したサイレージは81%の水分と19%の乾物から成っているものとみなし（表48）、10分毎に採食された水分の量と乾物の量を求め、これと、その際のサイレージ温と体温（39℃とした）との差より、10分毎のHwを算出し、これを加算してHwとした。水分は氷点以下、融解熱ならびに氷点以上の3段階に分けて計算した。氷点以下の温度の水分は氷とみなした。計算に際しては氷の比熱を $49 \times 10^{-2} \text{ cal/g} \cdot \text{deg}$ 、水の比熱を $1.0 \text{ cal/g} \cdot \text{deg}$ 、氷の融解熱を 80 cal/g とみなした⁶⁵⁾。なお、サイレージ乾物の比熱は文献から見出すことができなかったため、紙や木材など化学

成分が類似した物質の比熱が $30 \times 10^{-2} \text{ cal/g} \cdot \text{deg}$ であること⁶⁵⁾から、サイレージ乾物の比熱を $30 \times 10^{-2} \text{ cal/g} \cdot \text{deg}$ とみなした。

10℃期および3℃期におけるHwと-10℃期におけるHwとの間には大きな差が認められたが、これは大部分融解熱であり、約77kcalに達した。従って、凍結状態にあるか否かがHwの大小を決定する重要な要因であるものとする。

第一胃内温は採食を開始させる30分前より180分間にわたり、10分間隔で測定したが、各実験期毎の平均値を経時的に図43に示した。第一胃中部温と第一胃下部温の経時変化の様相はほぼ同様であり、第一胃中部温と下部温の間に差は認められなかった。採食開始後の150分間の測定値について検定したところ、10℃期および3℃期と-10℃期との間に有意な差（ $P < .05$ ）が認められた。10℃期において、第一胃中部温が採食開始時より約40分間にわたり、採食前の水準を維持したことを除けば、第一胃内温は中・下部とも採食開始時より一時的に低下し、その後回復した。10℃期および3℃期においては採食前の水準に回復した後も第一胃内温は上昇を続けた。これは第一胃における発酵熱によるものと推察される。第一胃内温の低下の度合および採食前の水準に復すために要した時間は10℃期および3℃期と-10℃期とは異なり、いずれも後者が大きな値であった（ $P < .05$ ）。この現象は採食されたサイレージの温度と第一胃内温との温度差と直接比例関係にあるものではなく、Hwの大小との関係が深いものと推察される。

第一胃内容液を採食直前から採食開始後7時間目まで1時間毎にフィステルを通して採取した。各試験期の平均アンモニア態窒素濃度を経時的に図44に示した。いずれの試験期においても、飼料給与後2時間目に最高値に達し、その後は徐々に低下して4～5時間目にはほぼ採食前の水準に復した。なお、アンモニア態窒素濃度には各試験期間に有意な差は認められなかった。

各試験期の平均VFA濃度を経時的に図45に示した。いずれの試験期においても、VFA濃度は飼料給与後上昇し、10℃期および3℃期においては

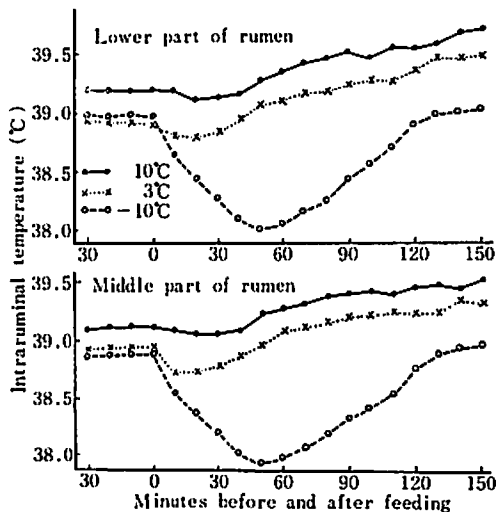


Figure 43. Changes in the intraruminal temperature following eating 1.5kg silage at various temperature.

飼料給与の1時間後に、 -10°C 期においては飼料給与後2時間後に最高値に値し、その後は漸次減少した。各試験期間に VFA 濃度の差は認められなかった。

第一胃内容液の VFA モル比を図46に示した。なお、図中の Higher VFA とはイソバレイアン酸、バレイアン酸ならびにカブロン酸モル比の和である。いずれの試験期においても、サイレージ給与後1時間目までに酢酸モル比の低下と酪酸モル比の上昇が認められ、2～3時間目以降はそれぞれ増加または減少して、徐々に採食前の水準に復した。Higher VFA のモル比は飼料給与後やや増大したが、4～5時間目以降は採食前と同様に低い水準であった。採食後の Higher VFA モル比の上昇は主としてカブロン酸およびバレイアン酸モル比の上昇によった。プロピオン酸モル比はほとんど変化しなかった。また、各試験期間に VFA モル比の差は認められなかった。

-10°C 期においては他の2期に比べて第一胃内温の低下の度合いが大きく、最低値は採食前の水準より約 1°C 低い値であった。人工ルーメンにおいては培養温度の 0.5°C の差は結果に重大な影響を与えるといわれているが⁴³⁾、本試験においてはアンモニア態窒素濃度、VFA 濃度ならびに VFA の

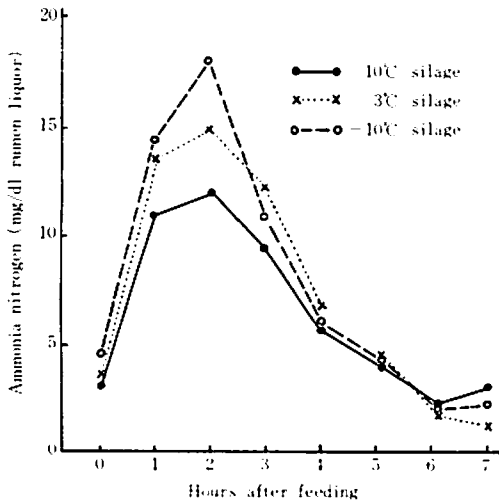


Figure 44. Changes of the ammonia nitrogen concentration in the rumen liquor following eating 1.5kg silage at various temperature.

組成に関する限り各試験期間に有意な差は認められなかった。*In vitro*と*in vivo*では第一胃微生物の温度に対する感受性に差があるのかもしれない。

直腸温は第一胃内温と同様にサイレージを給与する30分前より180分間にわたり、10分毎に測定し、各試験期の平均値を経時的に図47に示した。

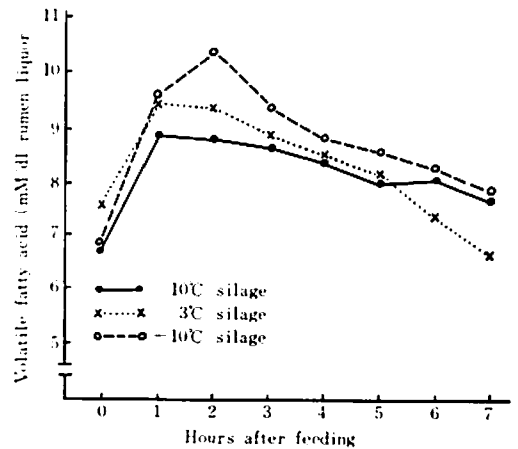


Figure 45. Changes of total VFA concentration in the rumen liquor following eating 1.5kg silage at various temperature.

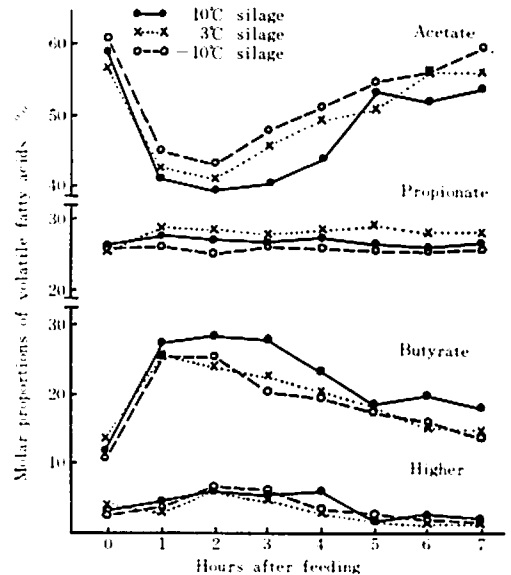


Figure 46. Changes of the molar proportions of ruminal VFA following eating 1.5kg silage at various temperature.

採食を開始する前には各試験期間に差は認められなかった。10℃期および3℃期においては採食を開始した後、直腸温は上昇したが、-10℃期においては逆に低下し、採食開始後の150分間の測定値を用いて検定したところ、-10℃期と他の2期との間の差は有意 ($P < .05$) であった。10℃期および3℃期における採食開始後の直腸温の上昇は、採食に伴う運動量の増加によるものと考えられ⁷¹⁾、後には第一胃内温も影響したものと推察される⁷¹⁾。-10℃期においても、採食行動に伴う運動量は他の2期と同様に増加したものと推察されるが、これにより発生した熱量以上に口腔および第一胃において奪われた熱量、すなわち Hw が大きかったものと考えられる。ちなみに、-10℃期において、直腸温が上昇を開始したのは採食後90分の時点であり、ほぼ採食を終了した時点およびサイレージが氷点以上の温度に達した時点と一致し、Hw がほとんど問題とならなくなった時点である。

心拍数および呼吸数は飼料給与の1時間前、5分前、5分後ならびに飼料給与時より1時間毎に7時間目まで測定し、各期毎の平均値を経時的に図48の上および下にそれぞれ示した。いずれの試験期においても心拍数は採食開始5分後までに増加し、その後は漸次減少した。特に-10℃期において採食後の心拍数の増加が著しく、採食開始後3時間にわたり、他の2期より高い水準であった ($P < .05$)。心拍数はエネルギー代謝との相関が高いことから⁸⁵⁾、-10℃期においては他の2試験期よりも採食開始後3時間にわたり採食に伴う代

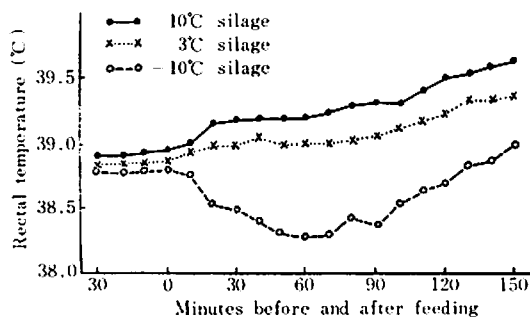


Figure 47. Changes of the rectal temperature following eating 1.5kg silage at various temperature.

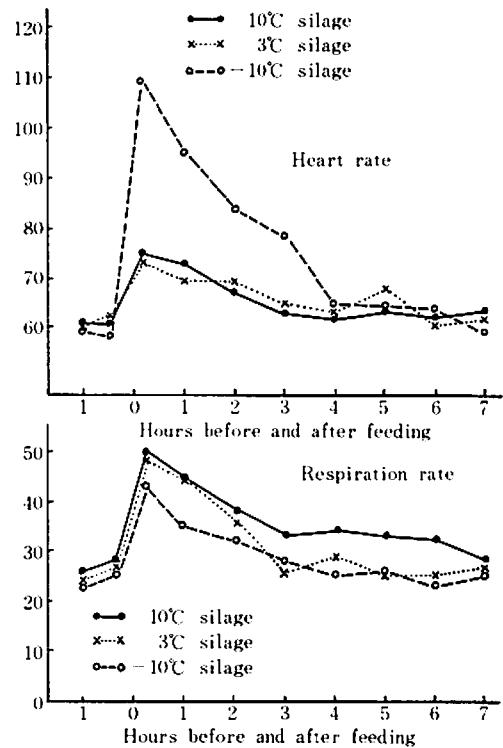


Figure 48. Changes of heart rate and respiration rate following eating 1.5kg silage at various temperature.

謝の増加の度合いが大きかったものと考えられる。これはサイレージの採食により、口腔あるいは第一胃において多量の熱が Hw として奪われ、熱平衡が負の方向に傾き、代謝を増大させたことを意味するものと考えられる。

呼吸数には各試験期間に差は認められず、低温環境にばく露したり、第一胃内温を降下させても呼吸数には変化が認められないという梅津⁷¹⁾の報告と一致した。

以上の様に、10℃期および3℃期と-10℃期との間には採食速度、第一胃内温、直腸温ならびに心拍数に差が認められた。本実験では、試験期は処理としてのサイレージの温度と時期とが交絡しているが、試験を通して実験室温度がほぼ一定であったこと、めん羊の健康状態に異常が認められなかったこと(平均体重:試験開始時61kg,試験終了時63kg)などから時期の影響は小さかったものと推察され、試験期間に認められた差は給与

したサイレージの温度の差によるものと、おおむね解することができよう。

凍結状態のサイレージを採食する際には家畜はこれを口腔において溶解し、採食速度を低下させ時間をかけて採食する。この際、動物の代謝は亢進し、直腸温は低下する。これは凍結したサイレージにより奪われる熱量 H_w を体全体で緩衝することを意味し、凍結飼料による第一胃の負担をで

きるだけ軽減するために大きな意義があるものと考ええる。その結果、第一胃内温の最大低下幅はわずかに約 1°C で、第一胃内発酵にもほとんど影響は認められなかった。

H_w の大きな飼料を採食する際には、動物は採食行動を変化させるが、これは体温の恒常性を保つ上からも大きな意義があるものと考ええる。

第Ⅵ章 総合論議および結論

本研究は反芻家畜の反芻行動の測定法を確立し、これを使いこなすことにより飼料の理化学的性質が反芻行動におよぼす影響を明確にするとともに反芻行動が反芻家畜の消化生理にいかに関与しているかを追究することを目的とした。

第Ⅱ章で試作した反芻行動の測定記録法はニューモグラフ・タンブール法およびラジオバイオテレメトリの2種であるが、これらはいずれも従来の直接観察法の主な欠点を克服することができた。直接観察法に代わる測定記録法は新たに、家畜に装着する装置や通信媒体が家畜に与える影響が無視できる程度でなければならない。この点、ニューモグラフ・タンブール法は家畜のあごの動きを多少とも束縛するし、ニューモグラフとタンブールの連結管はかなり邪魔な存在であった。ラジオバイオテレメトリは、この点ほぼ満足できた。また、送信機Bを使用すれば、本ラジオテレメトリシステムは心拍数のラジオテレメトリシステムとしても十分な機能を持つものである⁴⁸⁾。現在のところ、本ラジオテレメトリシステムは反芻行動や採食行動の測定記録法としては最も優れた方式の1つと確信する。

反芻時間や反芻食塊吐出回数などの指標で表わされる、いわゆる反芻量の日内変動は大きいことが、日間変動は比較的小さいこと、反芻時間は飼料摂取量が増すにつれて増加するが、その増加幅は逆減し、1日当り500~600分でプラトーに達すること、さらに絶食・再給飼という飼養条件の激変の残効は比較的短いことが明らかになった。従って、反芻行動を測定する際には24時間以上の連続測定が必要で、測定値は1日を単位とすることが妥当であり、飼料給与量は梱包乾草や細切乾草給与時の反芻時間が1日当り500~600分程度となる量とし、家畜の体重や月齢をできるだけそろえて試験する必要がある。また、予備飼養期はあまり長くとる必要はないものと思われる。

本論文の各節で実施した試験は、初期に実施し

た一部を除き、以上の諸点を考慮して設計した。

加工等により、乾草片が微細化するにつれて、これを食する動物の反芻量は減少するが、MF 4.6程度まではほとんど影響なく、MF 3.2程度では反芻量は減少するが、反芻の質には影響しない。しかし、MF 3.0程度以下になると微弱な反芻や偽反芻の発現など反芻行動に質的な変化が生ずることが判明した。また、サイレージにおいても、設定切断長5 mmで切断したサイレージを給与した際の反芻量は設定切断長15 mmに切断したサイレージを給与した際に比べて減少した。

この様に、反芻胃内の粗い繊維質の量が減少することにより、反芻量が減少する。反芻は延髄反射の一種で、食道溝周辺の反芻胃壁にある接触受容器が、粗い粒子によって刺激されることによって起るとされている³⁹⁾。これは換言すれば反芻胃内容物の摩砕の必要性により、反芻が刺激されるとも考えられよう。

第Ⅴ章の反芻行動と飼料の摩砕の項で明らかにした様に、反芻は飼料の摩砕効果が非常に高く、飼料の摩砕による微細化に果す反芻の役割は極めて重要である。

飼料の微細化は第一胃内発酵を活性化する。これに伴い、第一胃液中のVFA濃度が高まり、pH値は低下する。また、飼料の微細化は第一胃内における消化速度を高める効果がある。これは飼料の表面積の拡大により、第一胃内容液や第一胃内微生物との接触面積の拡大や、微生物に対して物理的な障壁を形成している木化、クチクラ化あるいは珪酸化した細胞壁の破壊などによりもたらされるものであろう。飼料を人工的に粉碎して給与すると、上記の効果が採食直後から大きく現われるため、第一胃内発酵が急速に起り、第一胃内のVFA濃度やpH値は急激かつ大きく変動し、最大あるいは最低値をとった後は比較的速やかに鎮静化する。乾草を粉碎しないまま給与すると、採食後の第一胃内発酵は比較的緩慢に開始されるが、長時

間高水準で持続される。採食された長い乾草は、必要に応じて反芻され、高水準の発酵が維持される。こうした意味で、第一胃内発酵は高度に調節されており、これには反芻が大きく関与している。

また、本研究により、反芻は第一胃からの固形物の消失にも大きく関与していることも明らかにされた。これは、一部には、第一胃内発酵の活発化により発酵分解が促進されることに起因するものと考えられるが、第一胃内での不消化残渣の第三胃以降の後部消化管への流出の促進にも大きく依存しているものと考えられる。飼料の摩砕による微細化は第二胃と第三胃間の狭い孔の通過を容易にする。消化管各部位の内容物の粒径分布を調べたところ、粒径分布は第一胃および第二胃内容物と第三胃以降の消化管内容物とは大きく異なり、第三胃以降には2.4 mmの篩を通過しない飼料片はほとんどなく、大部分は1.2 mmの篩を通る大きさであった。また、第三胃以降の消化管では内容物の粒径分布には大きな変化はなかった。飼料は第三胃においても摩砕されるといわれているが、これはあまり大きなものではないようである。以上より、2.4 mmの篩を通る程度に小さな粒子となったものに限り第三胃に移行していくものと考えられる。これには第二胃の収縮運動およびこれと協調的になされる第三胃頸部の運動頻度が関係するものと推定されるが、Freerら²²⁾は第二胃の運動頻度よりも、その収縮毎に運搬移行される食塊の量、つまり食塊の摩砕度の方が、はるかに重要だとの見解をとっている。また、Pearce and Moir⁵⁷⁾は口輪により、反芻を阻止することにより、飼料の消化管通過速度の大幅な低下を認めている。これらのことから、反芻による飼料の摩砕は第二胃・第三胃孔の通過を容易にし、反芻胃内の不消化残渣を後部消化管へ送り出す上でも重要な役割を果たしているものと考えられる。

Balchを中心とした英国における研究⁹⁾により、反芻家畜の自由意志による摂取量を調節する主要な要因は、粗飼料では反芻胃の物理的な充満度および第一胃内発酵後の食塊の通過速度、換言すれば、採食された飼料の第一胃および第二胃滞留時間であることが明らかにされている。本研究にお

いて、乾草の粉碎機による粉碎速度と自由摂取量との間に有意な相関が得られたが、これは飼料の微細化の難易度により自由摂取量が影響を受けることを示す。飼料を人工的に粉碎するなど、極端な飼料の微細化は摂取された飼料の消化管内滞留時間を著しく短縮し、消化率の低下を招く。これは反芻胃における発酵・消化が不十分なまま、後部消化管へ流れ去るためと考えられている^{41,43,83)}。

この様に、採食時および反芻時の飼料の摩砕は第1胃内の発酵・消化を促進するとともに、反芻胃からの食塊の流出を促し、飼料摂取量の確保、換言すれば必要な栄養素の取り込みの確保に大きく寄与しているものと解される。

次に、反芻行動と第一胃内環境との関係について考察すると、採食時および反芻時に第一胃の運動が活発になることが知られ、本研究においても確認されている。これは間接的ながら、採食行動および反芻行動が第一胃内容物の攪拌に大きな役割を果たしていることを示唆する。容積の大きな第一胃において、効率の良い発酵を持続するためには効果的な攪拌は不可欠であろう。

採食時および反芻時には唾液の分泌速度が高まることが知られている^{12,62)}。採食時にはえん下食塊の形成やえん下を容易にする効果があるといわれている¹⁶⁾。また、反芻時の唾液分泌速度は休息時の2.5⁶²⁾ないし3.5倍¹²⁾に達するといわれ、混合唾液分泌日量を支配するのは採食および反芻にどれほどの時間を費やすかという点にあるともいわれている⁶²⁾。反芻動物の唾液のpH値は約8で、他の動物の唾液に比べてアルカリ性が強い⁶²⁾。また、反芻動物の唾液の無機成分の主体を成すものは重炭酸ナトリウムであり⁶²⁾、これは第一胃内のpH値の低下を抑制するとともに、嫌気性の保持にも役立っているものと考えられている⁶²⁾。本研究第V章で明確に示した様に、反芻食塊吐出回数と第一胃内pH値の短期変動との間には高い相関が存在し、反芻行動は唾液分泌速度の増大を通して、第一胃内pH値の調節に大きな役割を果たしている。これは反芻中に分泌速度が高まるアルカリ性の唾液の中和作用と唾液中の重炭酸イオンの緩衝作用によるものと考えられる。

ところで、弱酸性領域においては第一胃内容液中の重炭酸塩は緩衝作用を営むことが知られている^{35,70)}。本研究の乾草の粉碎度と第一胃内容液の緩衝能の項の実験では重炭酸塩の緩衝作用を当初 pH 値における β 値や $\delta(5)$ の変化として明確にとらえることはできなかった。これは当初 pH 値における β 値や $\delta(5)$ の値には重炭酸塩の緩衝作用とともに酢酸の緩衝作用も一部反映されたことによるものと思われる。反芻行動が活発な梱包乾草給与時の第一胃内容液の pH 値はこれより反芻量の減少する粉碎乾草やキューブ給与時のそれよりも高く、それぞれ重炭酸塩および酢酸が主な緩衝物質として働く pH 値の領域にあることは興味深い。

本研究により、濃厚飼料、粉碎粗飼料ならびにヘイキューブの様に、採食後急速に発酵され、有機酸濃度の上昇とともに第一胃内 pH 値の低下を招き易い飼料は、いずれも反芻を刺激することが弱い飼料であることが確認された。幸い、第一胃内容液の pH 値を低下させる主要因である VFA のうち酢酸は低い pH 域では高い緩衝能を持ち³⁵⁾、pH 値の異常低下に抵抗するが、この作用が最も強く働く pH 領域は、正常値の下限を越える低い pH 値の領域であることが確認された。易発酵性飼料を併給すると簡単に pH 5 以下に低下してしまう。第一胃内 pH 値が低水準に推移すると種々の生理障害を招くこともあるので、易発酵性の飼料には反芻を強く刺激するような飼料を併給し、唾液の分泌を促す必要があるものと考えらる。

Gordon²⁷⁾は反芻中に唾液分泌が増大することの効用の一つとして、第一胃に水分を補給することをあげているが、これが第一胃内の水分調節に大きく関与しているかどうかは疑問である。第一胃内の水分調節は飲水の外に、第一胃壁を通してもなされることが知られていることや、反芻の消滅を導く絶食によっても第一胃内水分量の極端な減少は観察されていないからである。また、反芻中に唾液分泌速度が高くなることは歯とほほの間にはさまった飼料片を食道の方へ洗い流すのに役立つともいわれている²⁷⁾。

他に、反芻の効用の一つとして、反芻により食塊を吐き戻し、えん下することは第一胃内に酸素

を導入することをあげる説もある²⁷⁾。

本研究では、従来ほとんど研究されてなかったサイレージの温度や凍結状態の有無と採食行動および反芻行動との関係についても検討した。凍結状態にある高水分サイレージを給与すると、家畜はこれを良くなめ、解凍してからえん下する。従って、採食速度は低下し、採食時間は延長される。これはサイレージを解凍する際に奪われる熱量を体全体で緩衝し、えん下された食塊が最初に貯留される第一胃の温度衝撃の緩和に大きな役割を演じ、第一胃内温の恒常性維持に役立っている。また、凍結したサイレージを解凍して給与することにより、反芻量が減少すると成績を得た。これは凍結・解凍の過程でサイレージの細胞壁構造を一部破壊したことによるものと想像される。

以上、本研究はラジオバイオテレメトリによる反芻行動の測定法を確立し、飼養条件および飼料の理化学的性質が反芻行動におよぼす影響を明らかにした。特に、サイレージの切断長や凍結・解凍が採食および反芻行動に影響するという知見は新しいものである。また、飼料の摩砕にあずかる反芻の重要性を確認するとともに、飼料の微細化の消化生理上の意義を追究した。その結果、反芻による飼料の摩砕は第一胃における飼料の消化速度を増し、第一胃発酵を促進するとともに飼料の消化管内滞留時間を短縮することを示した。これは反芻が飼料の自由摂取量を維持し、栄養素の必要量を確保する上で極めて重要な役割を担っていることを示唆する。さらに、採食および反芻行動との関係については、従来推測の域を出なかった反芻行動と第一胃内 pH 値の変化との直接関係について一つの証拠を得ることができた。そして、反芻行動は第一胃内容物の攪拌や第一胃内 pH 値の調節を通して、第一胃内発酵に都合の良い環境を維持する点でも大切な働きをしていることが明らかにされた。以上の様に反芻は反芻家畜にとって基本的な消化活動の一つであり、その消化生理上の意義は極めて重要であることが示された。

また、本研究の成果は反芻家畜の飼養上、反芻を強く刺激する粗飼料の意義や粗飼料加工の功罪を考える上でも重要な示唆を与えるものである。

要 約

本研究は反芻家畜の反芻行動の測定法を確立し、これを使いこなすことにより、飼養条件および飼料の理化学的性質と反芻行動との関係を明らかにし、さらに、反芻が反芻家畜の消化生理上果す役割を追究した。

得られた結果は次の様に要約される。

1. 反芻家畜における採食および反芻行動の測定法として、ニューモグラフ・タンブール法とラジオバイオテレメトリの両法について、必要な装置の試作と家畜への応用を試みた。本研究で開発したラジオテレメトリは現在のところ、最も優れた方法の1つである。
2. 一定の飼養条件下では、反芻が活発となる時間帯は日によってかなり変動するが、1日当りの反芻時間や反芻食塊吐出回数の変動は比較的小さい。
3. 飼料摂取量が増大するにつれて、反芻時間および反芻食塊吐出回数は増大するが、その増加幅は逆減し、反芻時間は1日当り600分前後でプラトーに達した。
4. 家畜を絶食させることにより、反芻量は激減し、偽反芻が発現した。3日間程度の絶食では反芻が消滅することはなく、再給飼により反芻は量的にも質的にも速やかに回復した。
5. 乾草を粉碎して給与すると反芻量の大幅な減少とともに、微弱な反芻や偽反芻が誘起された。また、乾草の圧縮成形加工は反芻量を減少させたが、細切は反芻の量や質にはほとんど影響しなかった。
6. 乾草の粗剛性をウィレー粉碎機による粉碎速度を指標として表わした。乾草の粉碎速度と乾物摂取量100 g 当りの反芻時間および反芻食塊吐出回数との間に負の相関が認められた。
7. とうもろこしサイレージの切断長も反芻量に影響を与える。設定切断長5 mm 程度のサイレージは反芻時間および反芻食塊吐出回数を減少させた。
8. 高水分サイレージが凍結状態にあると、採食時間が延長された。予乾サイレージでは凍結の影響は小さかった。高水分サイレージを凍結後、解凍して給与すると反芻量の減少が認められた。
9. 第一胃内の乾草片の微細化および第一胃からの乾物の消失には反芻が大きく関与していることが確認された。
10. 消化管内容物の粒径分布は第一胃および第二胃と第三胃以降の消化管とは大きく異なり、第三胃以降の消化管内容物はほとんどが2.4 mm の篩を通った。
11. 乾草片は微細化するにつれて第一胃内の消化速度が高まり、第一胃内発酵は促進された。
12. 第一胃内容液の緩衝能には日内変動があるが、これはVFA 濃度と関係が深いようであった。VFA 濃度が高いと酸の滴加に対する緩衝能が高かった。
13. 乾草片が微細化するにつれて消化管内滞留時間が短縮された。粉碎乾草は消化率が低下する傾向があった。
14. 乾草の粉碎機による粉碎速度が高まるにつれ、乾物自由摂取量が増し、乾物消化率が高まった。
15. 第一胃の運動頻度は家畜の行動により異なり、採食中が最も頻度が高く、反芻中がこれに次ぎ、休息中が最も頻度が低かった。
16. 第一胃内 pH 値は飼料給与時から次の飼料給与時までを周期とした変動の外に、より短期の変動が存在することを明らかにし、これと反芻食塊吐出回数の分布との間には高い相関関係があることを認めた。
17. 高水分の凍結サイレージを採食する際、家畜は採食速度を落とし、時間をかけて採食した。第一胃内温は低下するが、その低下幅は小さく、第一胃内発酵にもほとんど影響がなかった。
18. 以上の結果より反芻行動は消化管内通過速度や第一胃内環境の調節に大きく関与しており、摂取量の維持や第一胃内発酵の調整など反芻家畜の消化生理上重要な意義を持つものと考察した。

謝

辞

本論文をとりまとめるに当り、北海道大学教授 広瀬可恒博士、同助教授朝日田康司博士には、懇篤なるご指導とご校閲を賜わり、同教授八戸芳夫博士、同助教授池内義則博士には、校閲の労をおとり下さり、有益なご助言を賜わった。

本研究の遂行に当っては、富村牛小中学校教諭 田口礼造氏より電子工学および工作のご指導を頂いた。また、北海道大学助教授上山英一博士、同助手大久保正彦氏、同関根純二郎氏には有益なご助言と文献収集に多大なご援助を頂いた。ヘイキューブの調製には十勝農業協同組合連合会およ

び鹿追町農業協同組合のご協力を、凍結サイレージに関する試験の一部には土谷特殊農機具製作所のご協力を頂いた。

なお、本研究の当初から今日まで、北海道立新得畜産試験場の渡辺寛研究部長・和泉康史氏（現根釧農業試験場）、裏悦次氏、工藤卓二氏を始め、飼養科、乳牛科、馬産科、衛生科、総務課の上司、同僚ならびに臨時職員の各位には、絶大なるご指導とご支援を頂いた。

ここに、以上の各位に衷心より感謝の意を表する次第である。

引用文献

- 1) Allen, G.W. 1968.
Rate of herbage intake and grazing time in relation to herbage availability. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 4: 163-166.
- 2) American Society of Agricultural Engineers. 1967.
Methods of determining modulus of uniformity and modulus of fineness of ground feed. *A. S. A. E. Yearbook* 301.
- 3) 安藤 滋. 1972.
バイオテレメトリ—野性動物の遠隔測定. 自然27巻6号(通巻315) 80-88.
- 4) Arnold, G.W. 1968.
Measurment of behavioral adaptaion, in *Adaptation of domestic animals*. Hafez, E. S. E. editor. 367-373. Lea and Febiger, Philadelphia.
- 5) Association of Official Agricultural Chemists. 1960.
Official methods of analysis, 9th ed. Washington, D. C.
- 6) Bailey, C.B. 1962.
Rates of digestion of swallowed and unswallowed dried grass in the rumen. *Canad. J. Anim. Sci.* 42: 49-54.
- 7) Bailey, C.B. and C.C. Balch. 1961.
The digestion of hay administered to cows through rumen fistulas. *Brit. J. Nutr.* 15: 183-188.
- 8) Balch, C.C. 1950.
Factors affecting the utilization of food by dairy cows. I. The rate of passage of food through the digestive tract. *Brit. J. Nutr.* 4: 361-388.
- 9) Balch, C.C. and R.C. Campling. 1965.
Rate of passage of digesta through the ruminant digestive tract, in *Physiology of digestion in the ruminant*. Dougherty, R. W. editor. 108-123. Butterwarths, London.
- 10) Barnett, A.J.G. and R.L. Reid. 1961.
Reactions in the rumen. Edward Arnold Ltd., London.
- 11) Blaxter, K.L. 1962.
The energy metabolism of ruminants. 1st ed. 116-148. Hutchinsonson Sci. and Tech., London.
- 12) Brüggemann, J., K. Walser-Kärst und D. Giesecke 1965.
Untersuchungen über die Parotissekretion bei Schafen. *Zeit. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelkde.* 20: 295-305.
- 13) Campling, R.C. and M. Freer. 1966.
Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 8. Experiment with ground, pelleted roughages. *Brit. J. Nutr.* 20: 229-244.
- 14) Castle, E.J. 1956.
The rate of passage of foodstuffs through the alimentary tract of the goat. I. Studies on adult animals fed on hay and concentrations. *Brit. J. Nutr.* 10: 15-23.
- 15) Chenost, M. 1966.
Fibrousness of forages: Its determination and its relation to feeding value. *Proc. 10th Int. Grassld. Congr. Helsinki.* 406-411.
- 16) Church, D.C. 1969.
Digestive physiology and nutrition of ruminants. Vol. 1. 39-57. O. S. U. Book Stores, Inc., Corvallis.
- 17) Colvin, H.W. Jr. and L.B. Daniels. 1965.
Rumen motility as influenced by physical form of oat hay. *J. Dairy Sci.* 48: 935-941.
- 18) Cook, H.M. and J.L. Riley. 1970.
Radio telemetering capsule for recording stomach motility in ruminants. *Cornell Vet.* 60: 317-329.
- 19) Dehority, B.A. 1961.
Effect of particle size on the digestion rate of purified cellulose by rumen cellulolytic bacteria in vitro. *J. Dairy Sci.* 44: 687-692.
- 20) Dracy, A.E. and W.O. Essler. 1964.
Some ruminal reticular pressures recorded by radio telemetry. *J. Dairy Sci.* 47: 1428-1429.
- 21) Freer, M. and R.C. Campling. 1965.
Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 7. The behaviour and reticular motility of cows given diets of hay, dried grass, concentrates and ground, pelleted hay. *Brit. J. Nutr.* 19: 195-207.
- 22) Freer, M., R.C. Campling and C.C. Balch. 1962.
Factors affecting the voluntary intake of food by cows. IV. The behaviour and reticular motility of cows receiving diets of hay, oat straw and oat straw with urea. *Brit. J. Nutr.* 16: 279-295.
- 23) 藤代 侑宏. 1968.

- ステップ式による統計的方法, 195-201, 日科技連, 東京.
- 24) Gill, J., R.C. Campling and D.R. Westgarth. 1966.
A study of chewing during eating in the cow.
Brit. J. Nutr. 20: 13-23.
- 25) Gordon, J.G. 1958.
The act of rumination. J. Agric. Sci. 50: 34-42.
- 26) Gordon, J.G. 1965.
The effect of water deprivation upon the rumination behaviour of housed sheep. J. Agric. Sci. 64: 31-35.
- 27) Gordon, J.G. 1965.
The relationship between rumination and the amount of roughage eaten by sheep. J. Agric. Sci. 64: 151-155.
- 28) Hafez, E.S.E. and M.W. Schein. 1962.
The behaviour of domestic animals. Hafez, E.S.E. editor. 247-296. Bailliere, Tindall and Cox Ltd., London.
- 29) Hogan, J.P. 1965.
The digestion of food by the grazing sheep, IV. The effect of mastication on the release of soluble plant nitrogen. Aust. J. Agric. Res. 16: 855-862.
- 30) 岩原信九郎, 1964.
新しい教育・心理統計, ノンパラメトリック法, 50-63, 日本文化科学社, 東京.
- 31) 岩原信九郎, 1964.
新しい教育・心理統計, ノンパラメトリック法, 236-266, 日本文化科学社, 東京.
- 32) Janick, J., C.H. Noller and C.L. Rhykerd. 1976.
植物と動物の栄養サイクル, サイエンス, 6: (11), 54-66.
- 33) Johnson, R.R. 1967.
Techniques and procedures for in vitro and in vivo rumen studies. J. Anim. Sci. 25: 855-875.
- 34) Johnson, V.W. and J.D. Sutton. 1968.
The continuous recording of the pH in the bovine rumen. Brit. J. Nutr. 22: 303-307.
- 35) Kaufmann, W. und H. Hagemeister. 1969.
Das Puffersystem in den Vormägen von Rindern. Zeit. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelkde. 25: 157-168.
- 36) Kuck, A., F.M. Liebman and L. Kussick. 1963.
A miniature transmitter for telemetering muscle potentials. I E E E Trans. Bio-Med. Electron. BME-10, 117-119.
- 37) Lusk, J.W., C.B. Browning and J.T. Miles. 1962.
Small-sample in vivo cellulose digestion procedure for forage evaluation. J. Dairy Sci. 45: 69-73.
- 38) 松岡 栄・上山英一・広瀬可恒, 1969.
人工ルーメン法による第1胃内発酵に関する研究, I. 基質の性質と揮発性脂肪酸(VFA)生成との関係, 日畜会報, 40: 160-165.
- 39) 松本英人, 1966.
乳牛の科学, 56-79, 梅津元昌編, 農山漁村文化協会, 東京.
- 40) Mayer, J. 1976.
飢餓の状態, サイエンス, 6: (11), 22-31.
- 41) Minson, D.J. 1963.
The effect of pelleting and wafering on the feeding value of roughage—a review. J. Brit. Grassld. Soc. 18: 39-44.
- 42) 宮下昭光, 1975.
トランスミッターによる放牧家畜の行動調査について, 北海道草地研究会報, 9: 79-82.
- 43) Moore, L.A. 1964.
Nutritive value of forage as affected by physical form. Part I. General principles involved with ruminants and effect of feeding pelleted or wafered forage to dairy cattle. J. Anim. Sci. 23: 230-238.
- 44) 森本 宏・橋爪徳三・増淵敏彦・海塩義男, 1965.
乳牛の飼養標準に関する研究, IX. わが国の乳牛飼養標準, 畜試特報, 6: 81-94.
- 45) 中丸輝彦・穴戸弘明・小林 剛・佐藤 博・大森昭一郎, 1976.
ビートパルプ給与が反すう及びルーメン内発酵に及ぼす影響, 第65回日畜学会, 講演要旨集, 45.
- 46) Nichols, G.D. 1965.
Radio transmission of sheep's jaw movements. N. Z. J. Agric. Res. 9: 468-473.
- 47) Nichols, G.D. and E.D. O'reilly. 1965.
Transmission and reception of sheep heart-rate. N. Z. J. Agric. Res. 9: 460-467.
- 48) 岡本全弘, 1977.
反すう家畜の心拍数およびそしゃく行動の遠隔測定用小型送信機, 新得畜試研報, 8: 41-44.
- 49) 岡本全弘・広瀬可恒, 1972.
人工ルーメンによる牧草の消化に関する研究, I. 牧草の生育にともなう in vitro ルーメン消化の変化について, 日畜会報, 43: 499-505.

- 50) 岡本全弘・広瀬可恒. 1972.
人工ルーメンによる牧草の消化に関する研究. II. 中性デタージェント抽出. 脱リグニンおよびリグニン添加処理が *in vitro* 消化・発酵におよぼす影響. 日畜会報. 43 : 554-560.
- 51) Oltjen, R.R., R.J. Sirny and A.D. Tillman. 1962.
Purified diet studies with sheep. *J. Anim. Sci.* 21 : 277-283.
- 52) 大森昭一郎・川端麻夫. 1965.
第1胃内における稲わらの消化について. 畜試研報. 8 : 107-113.
- 53) 大山嘉信. 1971.
動物栄養試験法. 森本宏監修. 320. 養賢堂. 東京.
- 54) Pearce, G.R. 1965.
Rumination in sheep. II. The circadian pattern of rumination. *Aust. J. Agric. Res.* 16 : 635-648.
- 55) Pearce, G.R. 1965.
Rumination in sheep. III. Experimentally induced variations in the circadian pattern of rumination. *Aust. J. Agric. Res.* 16 : 649-660.
- 56) Pearce, G.R. 1965.
Rumination in sheep. IV. The investigation of some possible control mechanics. *Aust. J. Agric. Res.* 16 : 837-853.
- 57) Pearce, G.R. and R.J. Moir. 1964.
Rumination in sheep. I. The influence of rumination and grinding upon the passage and digestion of food. *Aust. J. Agric. Res.* 15 : 635-644.
- 58) Pharr, L.D., H.W. Colvin, Jr. and P.R. Noland. 1967.
Rumen motility of sheep as affected by the physical form of oat hay. *J. Anim. Sci.* 26 : 414-417.
- 59) Popescu, F. and S. Foescu. 1959.
Cited from Church, D. C. 1969. Digestive physiology and nutrition of ruminants. Vol. 1. O. S. U. Book Stores, Inc. Corvallis.
- 60) Reece, F.N. and J.W. Deaton. 1968.
A radio transmitter for telemetering body temperatures of chickens. *Poultry Sci.* 47 : 424-428.
- 61) Riley, J.L. 1970.
Radio telemetry system for transmitting deep body temperatures. *Cornell Vet.* 60 : 265-273.
- 62) 佐々木康之. 1966.
乳牛の科学. 梅津元昌編. 79-89. 農山漁村文化協会. 東京.
- 63) Stattleman, A. and W. Buck. 1965.
A transmitter for telemetering electrophysiological data. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 119 : 352-356.
- 64) Suzuki, S., H. Fujita and Y. Shinde. 1969.
Change in the rate of eating during a meal and the effect of the interval between meals on the rate at which cows eat roughages. *Anim. Prod.* 11 : 29-41.
- 65) 玉川百科大辞典. 1962.
2. 物理 (1). 358-364. 誠文堂新光社. 東京.
- 66) Thomson, D.J. 1972.
Physical form of the diet in relation to rumen fermentation. *Proc. Nutr. Soc.* 31 : 127-134.
- 67) 戸尾祺明彦・沢野公孝・小国親久. 1972.
小型テレメーター装置による家畜の生理現象の観察. I. 装置の考案および心拍数計測に対する基礎試験. 北獣会誌. 16 : 63-66.
- 68) Troelsen, J.E. and F.W. Bigsby. 1964.
Artificial mastication - a new approach for predicting voluntary forage consumption by ruminants. *J. Anim. Sci.* 23 : 1139-1142.
- 69) 坪松戒三・斉藤久幸. 1963.
サイレージの凍結とそれが貯蔵中の栄養分の損耗におよぼす影響. 北海道立農試集報. 10 : 160-165.
- 70) Turner, A.W. and V. Elizabeth Hodgetts. 1955.
Buffer systems in the rumen of the sheep. II. Buffering properties in relationship to composition. *Aust. J. Agric. Res.* 6 : 125-144.
- 71) 梅津元昌. 1965.
ルーメンの機能および微生物に関する研究. 15-22. 農林水産技術会議事務局. 東京.
- 72) Van Soest, P.J. 1963.
Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid methods for the determination of fiber and lignin. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.* 46 : 829-835.
- 73) Van Soest, P.J. 1964.
New chemical procedures for evaluating forages. *J. Anim. Sci.* 23 : 838-845.
- 74) Van Soest, P.J. 1965.
Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. *J. Assoc. Off. Agric. Chem.* 48 : 785-790.

- 75) Van Soest, P.J. and L.H. Jones. 1968.
Effect of silica in forages upon digestibility. *J. Dairy Sci.* 51: 1644-1648.
- 76) Van Soest, P.J. and R.H. Wine. 1967.
Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J. Assoc. Off. Analytical Chem.* 50: 50-55.
- 77) Welch, J.G. and A.M. Smith. 1968.
Influence of fasting on rumination activity in sheep. *J. Anim. Sci.* 27: 1734-1737.
- 78) Welch, J.G. and A.M. Smith. 1969.
Influence of forage quality on rumination time in sheep. *J. Anim. Sci.* 28: 813-818.
- 79) Welch, J.G. and A.M. Smith. 1969.
Effect of varying amounts of forage intake on rumination. *J. Anim. Sci.* 28: 827-830.
- 80) Welch, J.G. and A.M. Smith. 1970.
Forage quality and rumination time in cattle. *J. Dairy Sci.* 53: 797-800.
- 81) Weston, R.H. and J.P. Hogan. 1967.
The digestion of chopped and ground roughages by sheep. 1. The movement of digesta through the stomach. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 789-801.
- 82) Wheaton, H.N., N.W. Bradley, G.E. Mitchell, Jr., C. O. Little and J.A. Boling. 1971.
Distribution of volatile fatty acids in rumen ingesta of steers fed concentrate and roughage diets. *J. Anim. Sci.* 30: 601-604.
- 83) Wilkins, R.J. 1973.
The effects of processing on the nutritive value of dehydrated forages. *Proc. 1st Int. Green Crop Drying Congr. Oxford.* 119-134.
- 84) Wilkins, R.J., C.R. Lonsdale, R.M. Tetlow and T.J. Forrest. 1972.
The voluntary intake and digestibility by cattle and sheep of dried grass wafers containing particles of different size. *Anim. Prod.* 14: 177-188.
- 85) 山本植紀・松岡邦裕・山田英俊・三村 耕, 1977.
乳用種去勢牛の心拍数と熱発生量の関係について—雄子牛との比較. *日畜会報.* 48: 138-143.
- 86) 吉田 実, 1975.
畜産を中心とする実験計画法. 101-237. 養賢堂. 東京.

Studies on the Ruminating Behavior and the Digestive Physiological Significance of Rumination

by

Masahiro OKAMOTO

Summary

"Rumination", or cud chewing, is one of the features most characteristic of ruminant animals. A number of factors influencing rumination and the significance of rumination to the animal remain unelucidated due to the lack of scientific evidence. The delay in the physiology of rumination may be partly attributed to the insufficient technique of measuring ruminating behavior.

The purpose of these studies is to develop a technique for measuring and recording ruminating behavior and to clarify the influence of feeding conditions and physical and chemical characteristics of feeds on ruminating behavior. Further purpose is to investigate the digestive physiological significance of rumination to the ruminant animals.

1. Continuous recording techniques suited to measurement of ruminating behavior

Visual observation has been used in the past to study ruminating behavior. The main limitations of visual observation are : a) lack of objectivity, b) lack of recall, and c) long time required to make sufficient observations.

It was therefore decided to develop a continuous recording technique for measuring ruminating behavior. In order to record ruminating behavior continuously under conditions of the least restraint and stress, a pneumograph-tambour method and a radio bio-telemetry system were designed and applied.

Both recording methods were found suitable for measuring ruminating behavior. Chewing during rumination at regular intervals by short pauses, is readily distinguished from irregular chewing during eating. The radio bio-telemetry system has an advantage of being able to record both faint rumination and pseudo rumination that are difficult to record by other methods, if not impossible.

2. Influence of feeding conditions on ruminating behavior

Circadian distribution of rumination activities and daily amounts of rumination of housed sheep fed twice daily were studied. Effects of dietary changes such as the varying amounts of hay intake and fasting on rumination activity were also investigated.

Active time of day in rumination altered considerably day by day, but variation in the amount of rumination per day as expressed by the time spent ruminating and the number of boli regurgitated was relatively small.

Increase in the amounts of hay feeding produced a curvilinear increase in the ruminating time and number of boli regurgitated, with a maximum around 600 minutes per day and about 680 boli per day, respectively. Fasting produced a rapid decline in normal rumination activity : normal rumination was partially replaced with faint rumination or pseudo rumination. Fasting for less than 3 days did not

result in an entire cessation of rumination. Normal rumination levels was resumed within 24 hours of refeeding.

3. Influence of physical and chemical characteristics of feeds on ruminating behavior

When ground hay was fed, the amount of rumination markedly decreased but faint rumination or pseudo rumination appeared. Feeding of cubed hay resulted in some reduction of rumination activity but neither faint rumination nor pseudo rumination was observed. Rumination activity was little affected by feeding chopped hay.

We have developed a method of defining in terms of the rate of grinding by Wiley mill. Significant negative correlation was observed between rate of grinding in the first 2 minutes and the amount of rumination per 100 g dry matter consumed. The results indicate that the amount of rumination per unit dry matter consumption increases with increasing fibrousness and coarseness of hay.

Rumination activity is also affected by physical characteristics of silage. The amount of rumination decreased with decreasing cut length of silage offered. The amount of rumination also diminished by feeding high moisture silage that had been frozen and then defrozen. It is likely that the reduction of rumination activity by feeding defrozen silage is due to partial destruction of silage cell wall.

4. Digestive-physiological significance of rumination

In order to investigate the role of rumination in reducing particle size of fibrous material, changes in amount and in particle size distribution of hay administered through rumen fistula and rumination activities were followed simultaneously. The amounts of disappearance and reduction of particle size of hay were high during the animal ruminated actively. These results indicates that rumination plays an important role in reducing particle size of fibrous feed sufficiently to allow for its passage from the rumen.

Particle size distribution of contents in rumen, reticulum, omasum, abomasum and large intestine of steers were measured. Particle size of reticulo-rumen contents was larger than that of the lower gut. A large proportion of digesta in the lower gut passed through a sieve with 1.2 mm aperture.

The artificial reduction of particle size of hay resulted in increased excretion rates of indigestible residues and in shortened retention times. These results suggest that the reduction of particle size facilitates the flow of digesta to the lower gut and increases the rate of passage of feed residues.

Digestion rate of hay in a nylon bag suspended in rumen tended to increase with decreasing particle size of the hay. Ruminal VFA concentration, pH value and buffering capacity changed rapidly after meal if ground hay was administered, whereas these values changed only slowly to small extents if long hay was fed. Namely, decrease in the particle size of hay accelerates rumen fermentation.

Chewing behavior is a measure of the frequency of rumen contraction the animal. The frequency decreased in the following order during eating, during 30 minute rest after meals, during ruminating and during other resting. Thus, eating and ruminating play some role in stirring rumen contents.

In addition to the pH change in rumen associated with feeding, a short-term changes in rumen pH value was found and related with rumination. Highly significant mutual relationship between number of boli regurgitated every 15 minutes and the short-term changes in rumen pH values was observed. The alteration in rumen pH value before and after rumination period appears to reflect the changes in the rate of saliva secretions.

Compared to feeding of unfrozen silage and wilted silage, feeding of frozen, high moisture silage

decreased the rate of eating, and depressed the ruminal and rectal temperatures. However, no significant effect on rumen fermentation was observed.

It is concluded from the results obtained and summarized above that rumination plays an important role in reducing particle size of reticulo-rumen contents sufficiently to allow for its passage from the rumen and to make room for more ingesting roughage. Furthermore, rumination plays a part in the maintenance of favorable intraruminal environment for rumen fermentation through stirring, buffering and controlling pH value.