

アルカリ処理した低品質粗飼料のルーメン 内消化に関する研究

山谷洋二・谷口幸三・大谷 勲

広島大学生物生産学部
1980年10月16日 受理

Effect of Alkali-treatment on Rumen Digestion of Low-quality Roughages

Yoji YAMATANI, KOZO TANIGUCHI and Isao OTANI

Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Fukuyama

(Tables 1-5, Fig 1, Plates 1-3)

わが国の石灰わらに見られる様に、低品質の粗飼料にアルカリ処理を施して、その飼料価値の向上をはかる試みは古くから行なわれており、最近では稲わらや大麦わらなどの工業的なアルカリ処理法も考案されている。^{1)~2)} 反芻家畜にアルカリ処理を施した稲わら³⁾ やもみ殻⁴⁾、大麦わら^{5)~7)}などを大豆粕などと共に給与すると、未処理のものを与えた区よりも、摂取量と消化率のいずれも上昇するという結果が得られている。

稲わらはわが国の粗飼料給源の約 1/2 を占め、コンバインの普及によりその飼料的利用が低下したが、依然として重要な粗飼料給源である。しかしシリカやリグニンの含量が高く、エネルギーの消化率も低い。大麦わらは欧米で重要な粗飼料の給源であり、大麦わら、稲わらともに、加熱、圧偏、細切、解繊や種々の化学的処理によって飼料価値を向上させる試みがなされている。ライスセンターやカントリーエレベーターで集中的に発生するもみ殻も、年間 300 万 t に達し、焼却による煙害などもあり、その飼料的利用の可能性が検討されている。^{8)~9)} しかしリグニン、シリカなど不消化物が多く、栄養価も低い。

粗飼料の飼料価値の判定は反芻動物のルーメン液を用いたインビトロの乾物消失率 (IVDMD) による事が多く、粗飼料のアルカリ処理によって IVDMD が上昇したとする報告が多い。^{3)~7), 10)~12)} そしてシリカやリグニンがセルロースやヘミセルロースと結合して、これらの消化性を低めているので、アルカリ処理によって、シリカやリグニン、あるいはその双方を除去することによって消化性が向上するとしている。又、川村らはルーメン内での稲わらの消化を組織化学的に研究し、細胞壁物質の消化率は、組織へのシリカとリグニンの沈着と、そのそれぞれの組織での立体配置に影響されるとしている。¹³⁾ Akin は粗飼料のルーメン内での消化の様相を電子顕微鏡を用いて組織学的に検討し、細胞壁物質の構造が粗飼料の消化率に大きな影響をもつと述べている。¹⁴⁾

しかし、これらのアルカリ処理が、低品質粗飼料の組織化学的構造にどのような影響を与えているのか、このことがルーメン内の消化にどう影響するかは充分には解明されていない。著者らは、稲わら、大麦わらおよびもみ殻を NaOH で煮沸処理した時の化学組成と組織学的変化、ならびに山羊のルーメン内での消化について検討したので以下に報告する。

実 験 方 法

1. 供試試料の調製

供給試料として広島県産の稲わらともみ殻および香川県産の大麦わらを用いた。稲わらと麦わらはカッターで切断後、ワイリーの粉碎機で粉碎し6~11メッシュのものを用いた。もみ殻は粉碎せずそのまま用いた。

試料のアルカリ処理：試料に20倍量の5% NaOH液を加えて40分間煮沸後、洗液が無色になる迄充分水洗し、60℃のエアバス内で乾燥させた。処理後の乾物当りの回収率を求めた。

2. 成分分析

未処理の稲わら(RS-U)、麦わら(BS-U)、もみ殻(RH-U)と、NaOHで処理した稲わら(RS-T)、麦わら(BS-T)、もみ殻(RH-T)の6種の試料について分析を行った。一般成分の分析は定法による。セニ成分については、ADF¹⁵⁾とNDF¹⁶⁾はVAN SOESTの方法、リグニンは72% H₂SO₄法¹⁷⁾、シリカは灰化法¹⁸⁾で分析した。ADF含量からリグニン含量を差引いてセルロース含量を、NDF含量からADF含量を差引いてヘミセルロース含量を算出した。

3. ルーメン内消化率の測定

フィステルを装着した体重38kgのザーネン種去勢山羊を用いた。山羊は代謝ケージに収容して毎日午前9時に濃厚飼料400gを与え、イタリアン乾草を1日あたり約360gを自由に採食させた。水は自由飲水とした。表1に飼料の一般成分を示した。

Table 1. Chemical composition of feed for goat (%)

	Moist.	CP	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash
Concentrate	10.9	12.4	3.4	63.3	4.0	6.0
Hay (Italian ryegrass)	9.0	7.4	2.3	4.9	31.5	8.9

ルーメン内消化率の測定は絹袋法による。試料約1.5gと5.4gの鉄球2個を絹袋(10×5cm, 200メッシュ, 篩用の絹布で作成)に入れて、朝の給飼直前にフィステルより投入、12, 24, 48および96時間放置後、ルーメンより取り出し、充分水洗後、乾燥して恒量を求め、投入前後の乾物量の差からルーメン内消化率を求めた。

4. 組織学的検討

ルーメン内で48時間消化後の試料を十分に水洗・乾燥した試料について、定法により蒸着後、日立の走査型電子顕微鏡(SEM)で検鏡、各試料の消化状況を組織学的に検討した。

結 果 と 考 察

1. アルカリ処理による成分変化

一般成分：各試料の一般成分組成を表2に示した。未処理のものではNFEが稲わらで50%, 大麦わらで49%, もみ殻で38%あるが、処理後はそれぞれ38%, 32%, 31%に低下する。粗蛋白質の組成は大きく減少する。粗灰分は稲わらで13%, もみ殻で18%と含有率が大麦わらの2~3倍あるが、いずれもアルカリ処理後は低下する。成分の減少率を示したのが表3である。粗蛋白質と粗灰分は殆んど全部が消失し、粗セニの減少は少ない。乾物の消失率は稲わらで62%, 大麦わらで53%, もみ殻で49%に達し、アルカリ処理と水洗による養分の損失は大きい。水洗をせずすむアルカリ処理法が検討される理由もここにある。もちろんこの事も考慮に入れているが、この研究の主題はアルカリ処理と水洗後の残存成分の消化性の検討にある。

Table 2. Chemical composition of Rice Straw, Barley Straw and Rice Hulls (% of DM)

	CP	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash
RS-U	4.4	2.6	50.1	30.3	13.1
RS-T	0.5	3.3	37.5	55.1	3.6
BS-U	2.2	1.7	49.1	40.5	6.5
BS-T	0.3	1.8	31.5	65.0	1.4
RH-U	2.2	0.8	37.8	41.5	17.8
RH-T	0.8	0.9	30.9	67.4	1.6

RS: Rice Straw BS: Barley Straw RH: Rice Hull U: Untreated
T: NaOH-treated

Table 3. Loss of dry matter and chemical components due to NaOH-treatment (%)

Material	DM	CP	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash
RS	61.7	95.7	51.4	71.3	30.4	89.5
BS	53.1	93.6	50.3	69.9	24.7	89.9
RH	48.6	81.3	42.2	58.0	16.5	95.4

セニ成分：次にセニ成分組成を表4に示した。未処理のものでは三者の中で、稲わらのADFとNDFが比較的少なく、シリカは稲わらともみ殻で含量が多くいねの特長を示している。もみ殻はリグニンの含量が高くヘミセルロースは少ない。アルカリ処理で組成の低下するのはシリカ、リグニン、ヘミセルロースの三者であるが、もみ殻ではリグニンが殆んどへららない。次に各成分の消失割合を表5に示した。稲わら、大麦わら、もみ殻ともにシリカは殆んど全部消失し、ヘミセルロースの消失率も大きく、稲わらともみ殻では80%以上が失われた。稲わらと大麦わらではリグニンの消失率が高いが、もみ殻では消失割合が低い。ADF、NDF、セルロースの消失率は少ない。いづれの論者もシリカとヘミセルロースの消失については一致しているが、リグニンについては不変とする報告も少なくない。^{1) 5) 11) 12)} 著者等はNaOHによる煮沸処理を行っており、処理方法の違いによるものと考えられる。

Table 4. Composition of fibrous materials (% of DM)

	ADF	NDF	Lignin	Silica	Cellulose	Hemicellulose
US-U	42.9	69.9	9.7	11.7	33.2	27.0
RS-T	81.7	93.4	4.4	1.9	77.3	11.7
BS-U	58.3	84.6	12.8	2.0	45.5	26.3
BS-T	88.0	97.8	6.8	0.3	81.2	9.8
RH-U	60.4	77.8	20.2	17.5	40.2	17.4
RH-T	87.3	98.6	19.0	0.3	68.3	11.3

Table 5. Loss of Fibrous materials due to NaOH-treatment (%)

	ADF	NDF	Lignin	Silica	Cellulose	Hemicellulose
RS	21.7	48.8	82.6	93.8	10.8	83.6
BS	29.2	45.8	75.1	93.0	16.3	82.5
RH	25.7	34.9	51.7	91.2	12.7	66.6

2. ルーメン内消化

山羊のルーメン内に試料を12, 24, 48, 96時間放置した時の乾物およびADF, NDF, セルロース, ヘミセルロースの消化率を図1に示した。稲わらの消化率は未処理のものでは乾物を始め各セニ成分とも96時間で50%程度であるが, NaOH 処理によって90%近くに上る。乾物の24時間までの消化率は未処理と処理で同じだが, これは未処理の稲わらに比較的可溶成分が多いためであり, セニ成分について見ると, 処理区でヘミセルロースの消化率の改善が著しい。大麦わらでは未処理のものの乾物の96時間の消化率が

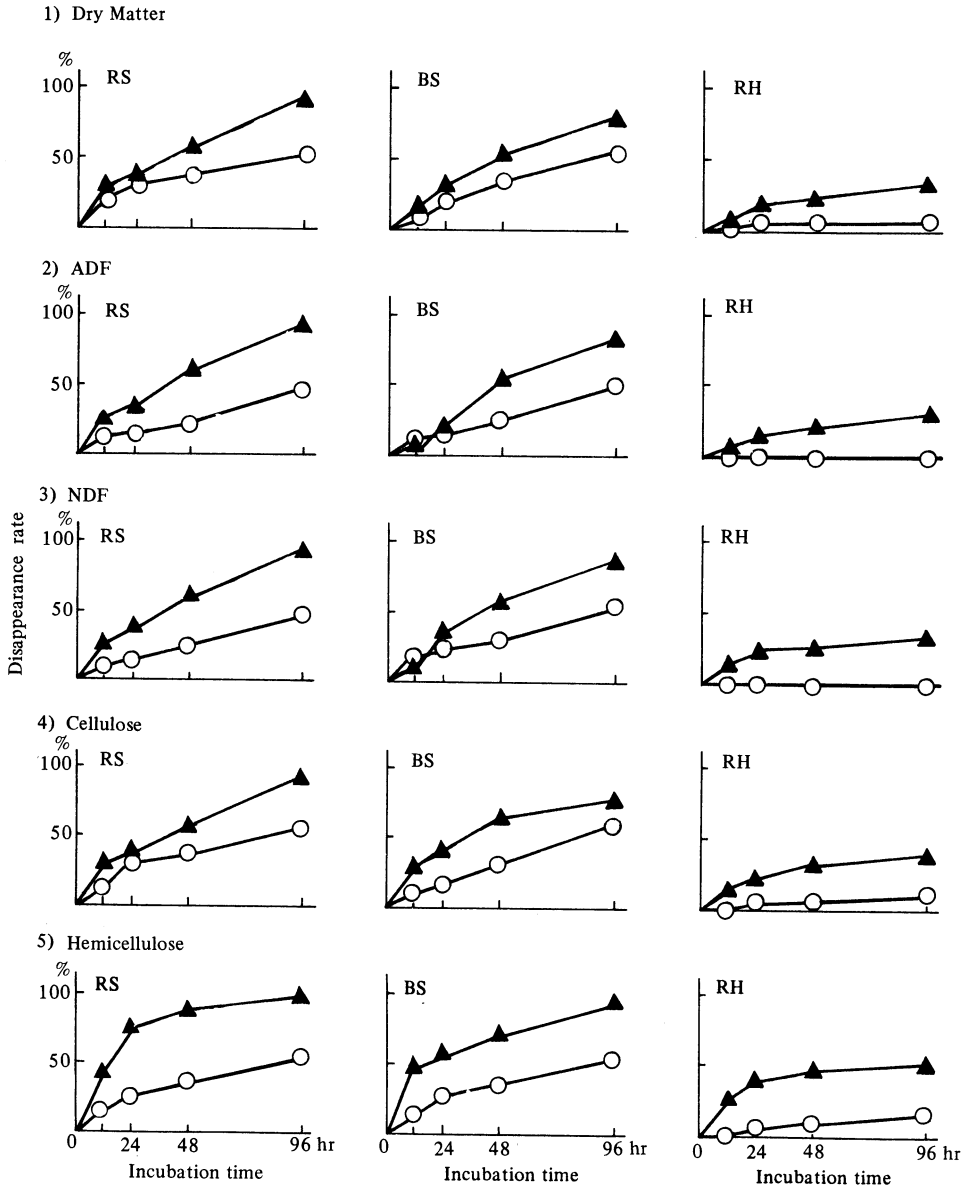


Fig. 1. Disappearance of dry matter, ADF, NDF, cellulose and hemicellulose in goat rumen.
 RS: Rice straw BS: Barley straw RH: Rice hulls ○—○: untreated
 ▲—▲: NaOH-treated

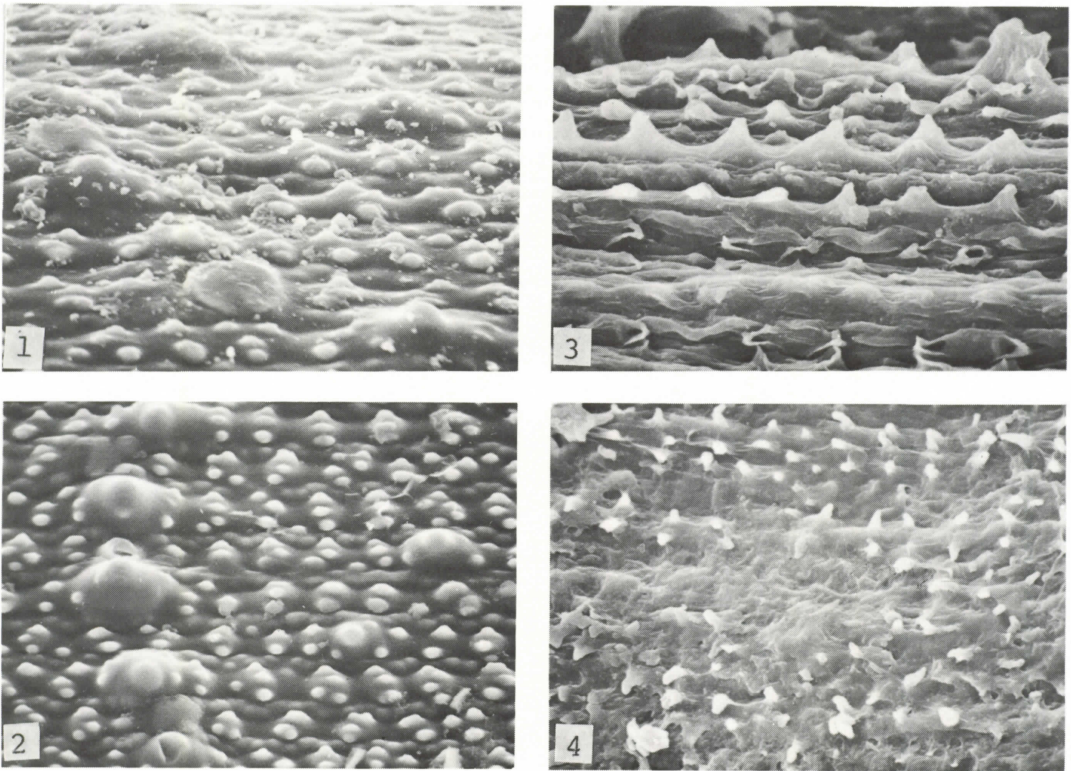
50%のものが、処理したものでは80%近くに上昇する。ヘミセルロースの消化率の向上が著しい。未処理の生もみがらは96時間後でも殆んど消化されないが、処理したものでは乾物で30%近く、最高の消化率を示すヘミセルロースは40%以上に上昇した。

初めにのべた様にアルカリ処理によるインビトロの消化率の向上を認める報告は多いが、著者らの山羊のルーメン内の消化についても同様の結果が得られた。その原因について、シリカの損失に重きをおくものと、リグニンの消失に重きをおくものがあるが、今回の試験ではシリカとリグニンの双方がアルカリ処理で減少しているため、双方に原因があると考えられる。

3. 組織学的所見

各試料と、それを48時間山羊のルーメン内で消化後の走査電子顕微鏡による写真を図版1～3に示した。

図版1は稲わらである。No.1は未処理の稲わらの表面であり、表皮上にシリカの大きな山と小さな山が規則正しく並んでいる。No.2はこれをルーメン内に放置した後のもので、表面の構造はほとんど消化されずに残っている。No.3はアルカリ処理したものであり、シリカの山がくずれ、下層のセンイ状組織が露出している。No.4はこれをルーメン内に放置した後のものであり、センイ組織の消化がかなり進んでいる。



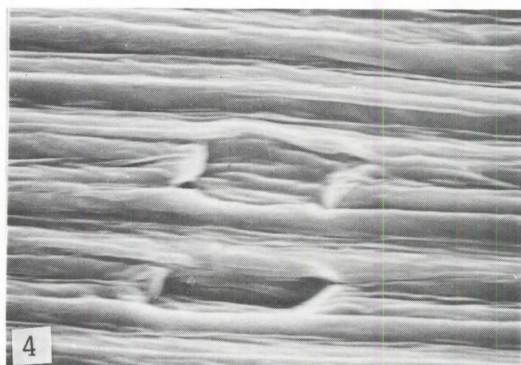
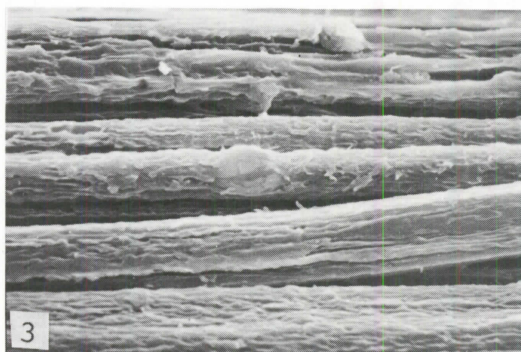
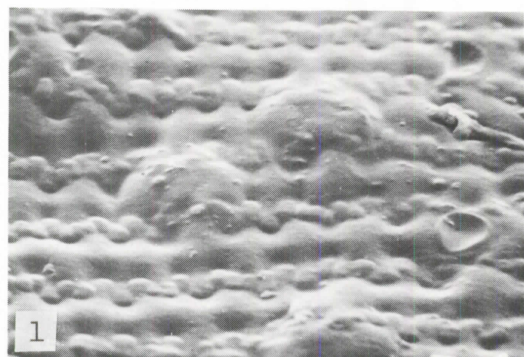
Explanation of Plate 1.

Scanning electron micrograph of Rice Straw (RS)

RS-U: Untreated RS RS-T: NaOH-treated RS

- No.1. RS-U: Regularly-lined silicate mountains and small knolls on epidermis. x1000
- No.2. RS-U: 48hr after placing in the rumen. The epidermis is hardly digested. x1000
- No.3. RS-T: Almost all of the convexities of the epidermis is destroyed and underlying fibrous tissue is exposed. x1000
- No.4. RS-T: 48hr after placing in the rumen. x1000

図版 2 は大麦わらである。No. 1 は未処理の大麦わらの表面であり、大・中・小三つの山の列が表皮を形成している。No. 2 はこれをルーメン内に放置した後のもので、表面の凹凸は多少すくなくなるが変化は少ない。No. 3 はアルカリ処理したものであり、表皮の表層が消失して、下層のセニ組織が露出している。No. 4 は、これをルーメン内に放置した後のもので、セニ組織はかなり浸蝕されて、大きな平行四辺形の穴も形成され消化の進んだ事を示している。



Explanation of Plate 2.

Scanning electron micrograph of Barley Straw (BS)

BS-U: Untrated BS BS-T: NaOH-treated BS

- No.1. BS-U: 3 kinds of covexities, large, medial and small are on the epidermis. x600
 No.2. BS-U: 48hr after placing in the rumen. The epidermis is hardly digested. x600
 No.3. BS-T: The surface of the epidermis dissolved and the underlying fibrous tissue is exposed. x1200
 No.4. BS-T: 48hr after placing in the rumen. Parallelogram-like disruption of fibrous tissue. x1200

図版 3 はもみ殻のものである。No. 1 は未処理のものであり、表皮は規則正しいシリカの山で覆われている。No. 2 はこれをルーメン内に放置した後のものであり、シリカの山の頂部の破壊を示した。No. 3 は破損部を拡大したものである。No. 4 は下表皮を示したものであり、全く消化されていない。No. 5 はアルカリ処理したものであり、シリカの山の表層が消失して、下層部分が露出している。No. 6 はこれをルーメン内に放置した後のものであり、セニ組織の骨格が露出し消化の進んだ事を示している。No. 7 はその拡大図である。No. 8 は下表皮の部分を示したものであり、かなり消化された様子がみえる。

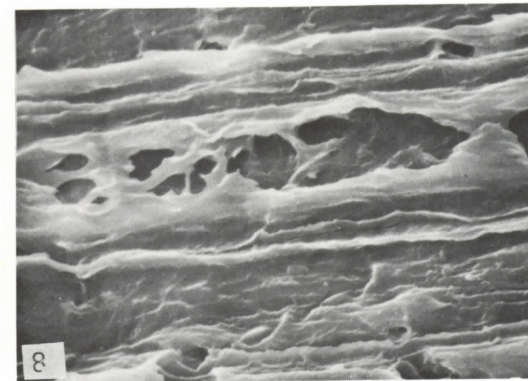
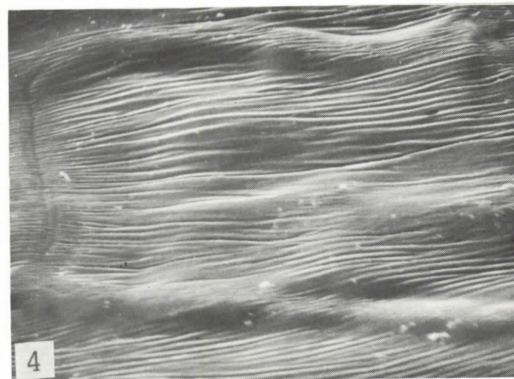
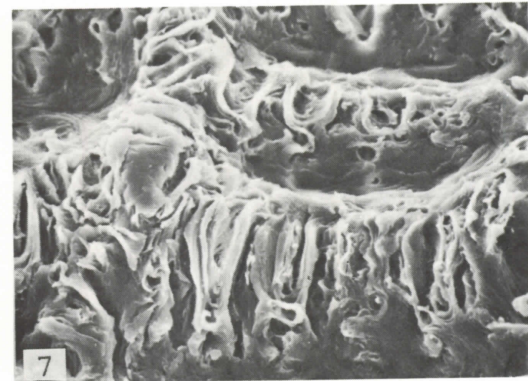
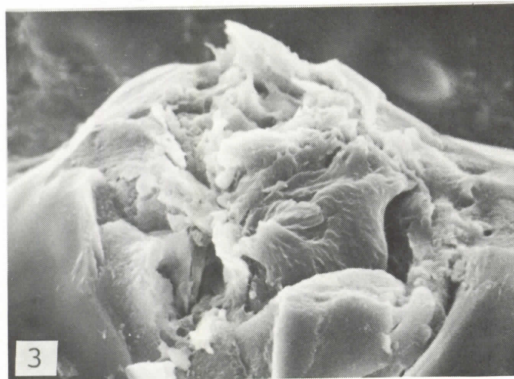
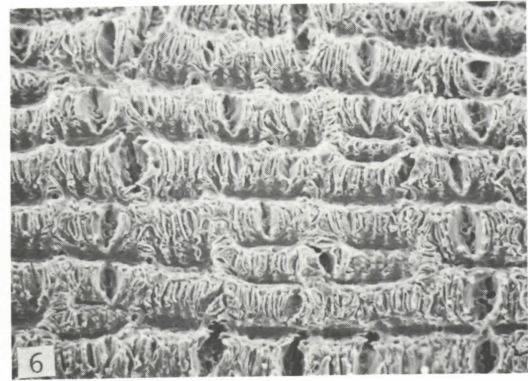
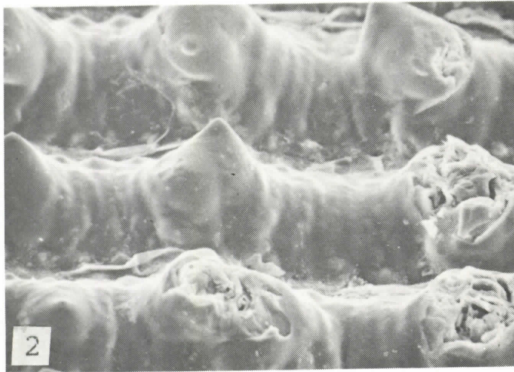
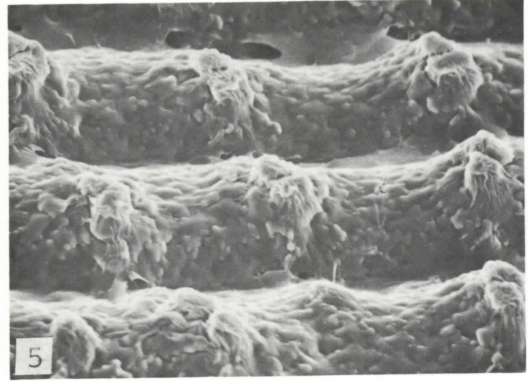
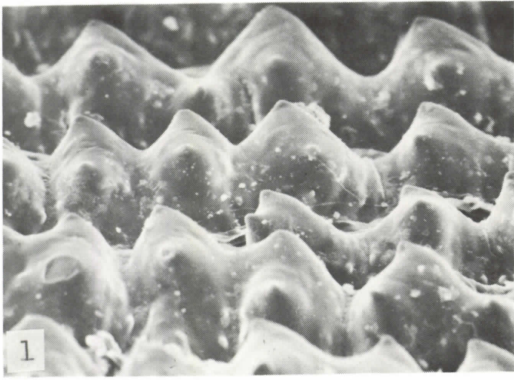


Plate 3

Explanation of Plate 3.

Scanning electron micrograph of Rice Hulls (RH)

RH-U: Untreated RH RH-T: NaOH-treated RH

- No.1. RH-U: Regularly-lined silicate mountains of upper epidermis. x300
 No.2. RH-U: 48hr after placing in the rumen. Top of the mountains was destroyed. x300
 No.3. RH-U: Enlarged collapsed site. x1000
 No.4. RH-U: Reverse epidermis was not attacked by ruminal incubation. x1000
 No.5. RH-T: Silicate mountain layer of the mountain largely disappeared and the skeleton of the epidermis was exposed. x300
 No.6. RH-T: 48hr after placing in the rumen. The distinct skeleton of the fibrous tissue was disclosed. x100
 No.7. RH-T: Enlarged digested site. x600
 No.8. RH-T: 48hr after placing in the rumen. Digested reverse epidermis. x3000

以上アルカリ処理した試料では組織学的構造に大きな変化がみられ、シリカやリグニンの消失と共に、これが消化率の向上に大きく貢献している事がわかる。特に稲わらともみ殻ではシリカの表層の除去が下部のセンイ組織を露出させ表皮下組織や柔組織にあるセルロースやヘミセルロースの消化を容易にしている。又木質部のリグニンを溶脱したり、変質させたり¹⁾して消化を助ける事も考えられる。この様にアルカリ処理によるセンイ成分の消化の向上は可能だが、前述のような水洗による可溶物質の溶脱と損失は少なく、実用化には、噴霧などの方法が考えられよう。中和の問題や、他の飼料との配合、給与法の検討などを進めることによって、アルカリ処理法の一層の進展が達成されよう。

要 約

低品質粗飼料のアルカリ処理による飼料価値の向上の原因を追究する目的で、稲わら、大麦わらおよびもみ殻のアルカリ処理を施したものについて、その化学的組成の変化と走査電顕下の組織学的変化が、山羊のルーメン内での消化に及ぼす影響を検討した。

NaOH液で煮沸処理し、水洗した後の乾物の消失率は稲わらでは62%、大麦わらでは53%、もみ殻では49%とかなり大きい。粗蛋白質とシリカは殆んど全部消失し、NFE、リグニンおよびヘミセルロースもかなり消失する。一方粗センイ、ADF およびセルロースの損失は少ない。

NaOH処理はこれらの低品質粗飼料の表面構造に大きく変化を与え、表皮の表層をなすシリカの溶脱のみでなく、表皮下のセンイ組織や柔組織を露出するなど、その全体的な構造に大きな変化をもたらすことが認められた。山羊のルーメン内での消化は、アルカリ処理を施した試料では、乾物についても、その他のセンイ成分についても約2倍に改善された。このことは上述の細胞壁組織の全体的な構造的変化が、シリカなどの阻害物質の除去と相まって、微生物、従って分解酵素のセルロースやヘミセルロースなどの可消化成分への接触と攻撃を容易にしたためと考えられる。

謝 辞

走査電顕写真の撮影については、本学部家畜生体機構学研究室の田村達堂博士に大変お世話になった。深謝します。

文 献

- 1) 菊地修二：畜産の研究，30，838-844，1409-1415（1976）.
- 2) REXEN, F.: *Feedstuffs*, 51, 42 (Oct. 15) 33 (1979).
- 3) McMANUS, W.R. and CHOUNG C.C.: *J. Agr. Sci.*, 86, 453 (1976).

- 4) CHOUNG, C.C., and McMANUS, W.R.: *J. Agr. Sci.*, **86**, 517 (1976).
- 5) REXEN, F. and THONSEN, K.V.: *Anim. Feed, Sci., Tech.* **1**, 73 (1976).
- 6) PIRDE, R and GREENHALGH, F.D.: *Anim. Feed Sci. Tech.* **3**, 143 (1978).
- 7) COMBE, J.B., et al: *J. Anim. Sci.* **49**, 1169 (1979).
- 8) 新船保: 農業および園芸, **52**, 306-312 (1977).
- 9) 天野武: 香川県畜産試験場報告, **15**, 1-40 (1977).
- 10) 李宗達, 阿部亮: 日畜会報, **50**, 356-362 (1979).
- 11) 中村亮八郎, 吉田條二, 堀周作: 日畜会報, **42**, 130-135 (1971).
- 12) HUTANUWATR, N. et al: *J. Anim. Sci.*, **38**, 140 (1974).
- 13) KAWAMURA O., SENSU T., HORIGUCHI M. and MATSUMOTO T.: *Tohoku J. of Agr. Res.* **24**, 183-189 (1973).
- 14) AKIN, D.E: *J. of Anim. Sci.* **48**, 701-710 (1979).
- 15) VAN SOEST, P.J.: *J. of AOAC* **40**, 829-835 (1963).
- 16) VAN SOEST, P.J. and WINE, R.H.: *J. of AOAC* **50**, 50-55 (1967).
- 17) 森本宏: 動物栄養試験法, p351-352 養賢堂, 東京 (1971).
- 18) 青峰重範, 原田登五郎: 土壤肥料学実験ノート, p 76 養賢堂, 東京 (1966).

Summary

The low feeding value of rice straw (RS), barley straw (BS) and rice hulls (RH) can be accounted for largely by their relatively high contents of silica and lignin, and also by their rigid cell wall structure. In order to overcome this defect, the effect of NaOH-treatment of these low-quality roughes on the rumen digestion in connection with the changes of scanning microscopic structure has been examined.

Losses of dry matter of NaOH-treatment and washing were 62% for RS, 53% for BS and 49% for RH. The treatment lost nearly all of CP and silica, and fairly large part of NFE, lignin and hemicellulose, while the losses of C. Fiber, ADF and cellulose were very slight.

NaOH-treatment affects the surface condition of these low-quality roughages, by dissolving the silicate layer of the epidermis and by exposing the underlying fibrous tissues and parenchyma. Digestibility in goat rumen increased largely by the NaOH-treatment, this is due to the dissolution of the interfering materials and the structural improvement.