

もみ殻の飼料化に関する研究
(I) 種々の化学的処理がもみ殻の構造と
In vitro の消化率に及ぼす影響

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 Various Chemical Treatments on the Structure
and *In vitro* Digestibility of Rice Hulls

Yoji YAMATANI, Kozo TANIGUCHI and Isao OTANI

Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Fukuyama

(Figs. 1-14; Tables 1-3)

毎年 300 万 t も発生するもみ殻の処理は大きな問題となっている。しかもその約 $\frac{1}{3}$ 程が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し、焼却してもその高温による炉のいたみがひどく、煙害も無視できない。一部に肥料や土壌改良剤、ブロック加工などの用途も考えられているが、¹⁾ 大部分は放置されたままである。

粗飼料の不足しがちな肉牛肥育経営での代替粗飼料として、もみ殻給与の可能性を検討した研究が少なくないが²⁾⁻⁷⁾、生もみ殻自体の消化性が悪く可消化養分の少ないこと、硬い剛毛が消化管壁を傷つける恐れのあること、比重が小さくかさばり、配合や貯蔵・輸送などに不便なこと、嗜好性が悪く摂取量も少ないことなどから十分な成績を得ているものが少ない。

もみの内部にある米粒を外側からおおっている内えいと外えいともみ殻になる部分である。えいの部分の主体をなす細胞壁の構造ががっちりしていることと、不消化のシリカやリグニンの被膜の存在が、もみ殻の消化の悪い原因と考えられており、構造を機械的に破壊したり、シリカやリグニンの被膜を化学的に分解する試みがなされている。もみ殻と同様にシリカとリグニン含量の多い稲わらのアルカリ処理は菊地らによって実用化しつつあるし、⁸⁾ 中村らは高セニ質材料のリグニン除去による品質改善について報告している。⁹⁾

高温高圧下でもみ殻をアンモニヤ化して作った ARH (Ammoniated Rice Hulls) を配合した飼料で肉牛を飼育する試験が十数年前からアメリカで始められ¹⁰⁾⁻¹³⁾、日本でも同様の試験で効果の検討が行なわれている。¹⁴⁾⁻¹⁵⁾ また伊藤らのもみ殻を種々の条件下でアンモニヤ液に浸漬して栄養価の改善効果を検討している。¹⁶⁾⁻¹⁹⁾

しかし、これらの化学処理を施したもみ殻の消化率の向上とか、飼養効果の改善をもたらした原因が何なのか。もみ殻のどの部分から如何なる成分がどれ丈消失するのか、細胞壁の構造にどのような変化があるのかについての十分な検討は行なわれていない。著者らは、種々の化学処理を施したもみ殻について、その化学組成の変化と電子顕微鏡による組織学的変化を関連させて検討し、これらの試料のインビトロの消化試験の結果と併せて考察したので報告する。

実験方法

1. もみ殻の化学処理

広島県産米あきつほのもみ殻に次の3種の化学処理を行なった後、十分に水洗・乾燥後以下の試験の試料とした。アムモニヤ処理は市販のもの（N社製）でかえた。

1) NaOH処理：もみ殻に20倍量の5% NaOHを添加後、60分間煮沸した。

2) NaOH-KMnO₄処理：1)の水洗・乾燥後の試料を更にKMnO₄で処理した。

3) NaClO₂処理：もみ殻に20倍量の2% NaClO₂を添加後、90℃で2時間処理した。

4) ARH：アムモニヤ処理もみ殻。これは回転式高圧反応炉の中で、もみ殻に重量の10%のNH₃ガスを添加後、170℃、250 psig の高温高圧下で30分間反応させたものである。

2. 化学成分の分析

試料の一般分析は定法によった。セニ成分については、ADF²⁰⁾とNDF²¹⁾はVAN SOESTの方法、リグニンは72% H₂SO₄法²²⁾、シリカは灰化法²³⁾によって分析した。

3. *In vitro* の消化率の測定

TILLEY と TERRY の方法²⁴⁾によって測定した。市販の肉牛用配合飼料とヘイキューブを給与しているザーネン種雄山羊のルーメン液とMc Dougallの人工唾液を用い、CO₂を満した嫌気条件下で、38℃で48時間培養後、乾物の減量割合からIVDMDを求めた。*Aspergillus nigar*のセルラーゼを用いた培養実験を併せて行ない乾物の消失率を求めた。

4. 組織学的検討

定法により蒸着後、日立の走査型電子顕微鏡（SEM）で検鏡、各試料の組織学的検討を行なった。

結果と考察

1. 一般成分

生もみ殻とARHの一般組成を表1に示した。生もみ殻は乾物の約40%の粗セニと20%近い粗灰分を含み、後述するようにこの内の90%以上はシリカである。又、NFEは37%あるが、これには多量のリグニンを含んでいて必ずしもプラスの成分を意味しない。

ARHは乾物当たり10%近くのCPを含んでいて伊藤らのアムモニヤ水浸漬もみがらと似た結果を得ている。十数%の熱水可溶区分を含むので、これを除いた成分は生もみがらとくらべてNFEが減少し、粗

Table 1. Chemical composition of Intact and Ammoniated Rice Hulls (ARH)

	Moist.	CP	C.Fat	NFE	C.Fib.	C.Ash	HWSF*
Intact	9.1%	2.8	0.9	37.2	41.3	17.8	4.8
ARH	6.3	9.8	1.0	33.9	39.6	15.7	13.5
Washed**	7.5	4.7	1.0	27.3	49.8	17.2	-

*HWSF: Hot water soluble fraction

**Washed: Hot water washed ARH

セニが増加する。Nの約40%がはなれる。伊藤らのものでは不溶Nがもっと多いので、Nの結合状態に相違があると考えられる。

2. セニ成分

生もみ殻、ARH、およびそれぞれの化学処理後の試料のセニ成分の組成を表2に示した。ARHは生もみ殻に較べていづれのセニ成分も減少している。NaOH処理したものではシリカが完全に除かれ、これを更に飽和KMnO₄で処理したものはリグニンも殆んど完全に除去されている。またNaClO₂で処理したもの

Table 2. Effect of chemical treatments of Rice Hull on fibrous material contents (DM%)

Treatment	Silica	NDF	ADF	Lignin
Intact	17.0	74.5	57.0	20.6
ARH	15.1	67.2	48.1	17.6
NaOH	0.6	95.5	83.5	20.2
NaOH-KMnO ₄	0.5	94.2	87.8	5.4
NaClO ₂	19.7	67.8	54.2	7.1

では、リグニンの大部分と NDF, ADF の幾分かが除去された。

伊藤らの ARH では NDF の一部が ND 可溶性となり NDF が減少し¹⁶⁾、ADF は増加する¹⁸⁾としている点は著者らのものと同じだが、リグニンは増加するとしている。アムモニヤ処理の方法の違いによるものであろう。

中村ら⁹⁾は NaClO₂ 処理でリグニンは除去されるがシリカは不変であるとし著者らの結果と一致している。乾物の約 25% が消失した。

NaOH 処理については、Mc MANUS らはシリカとリグニンの両方が減少する²⁵⁾としているが、著者らの結果では、HUTANUWATR ら²⁶⁾や中村ら⁹⁾の結果と同様、シリカは減少したが、リグニンは減少しなかった。乾物の約 45% が消失した。これを更に KMnO₄ で処理したものでは、シリカとリグニンの双方が除去された結果になった。乾物の消失率は約 55% であった。

3. SEM による組織学的所見

生もみ殻、ARH およびそれぞれの化学処理を施した試料の SEM 像を示した。生もみ殻の電顕像を図 1～3 に示した。表面に山状の硬い上表皮と剛毛が認められ、山部と谷部の規則正しい配列構造をなしている。図 2 は中央の山を拡大したもので、山の直径は約 50 μ である。図 3 は最底部の米粒と接している下表皮を示したもので気孔も認められる。このように生もみ殻はほとんど完全ながっちりした構造を保っている。

次にアンモニヤ化した ARH (図 4～6) では上表皮の山が大きくくずれている。下表皮 (図 6) も幾分かおかれ内部のセニ組織が露出し始めている。谷部の破壊も著しい。これら細胞壁の一定の破壊が上記セニ成分の若干の減少と熱水可溶成分の増加を招来していると考えられる。

NaOH で処理した試料 (図 7～9) では山の表面が完全に消失して表皮下セニ組織が露出、下表皮の側も完全に消失してセニ組織が露出している。下部からみえるセニ組織の直径は数 μ である。NaOH 処理で失われる成分は主としてシリカであるから、山の表面で失われるのはシリカの層であると考えられる。これを更に KMnO₄ で処理した試料 (図 10～12) では更に破壊が進み、リグニンが消失して山部に大きな穴が出来、谷部も深みを増していることがわかる。

NaClO₂ で処理した試料 (図 13～14) では山部は滑らかになるもののその形状を維持している一方、谷部が大きくえぐられ、この部分のリグニンの損失を推定させる。下表皮 (14 図) も幾分破壊されている。

4. *In vitro* の消化率

各試料について、山羊のルーメン液を用いた時の IVDMD とセルラーゼを用いた時の乾物消失率を表 3 に示した。生もみ殻にくらべて、化学処理したものはいずれも消化率が改善された。IVDMD は NaOH - KMnO₄ 処理と NaClO₂ 処理したものが最も高く、NaOH 処理と ARH の順に低い。セルラーゼ消化率は ARH で最も高く、NaClO₂ 処理、NaOH - KMnO₄ 処理、NaOH 処理の順に低い。

もみ殻の消化率の低い原因として、中村らは、⁹⁾ NaClO₂ 処理によってリグニンを除去すると、シリカには変化がないのに IVDMD が上昇し、一方 NaOH 処理によってシリカを除去しても、リグニンが残っていると IVDMD が改善されないことから、リグニンをあげている。著者らの場合でもリグニンの除去される NaClO₂ 処理および NaOH - KMnO₄ 処理で著しい消化率の改善がみとめられる。しかしリグニンの

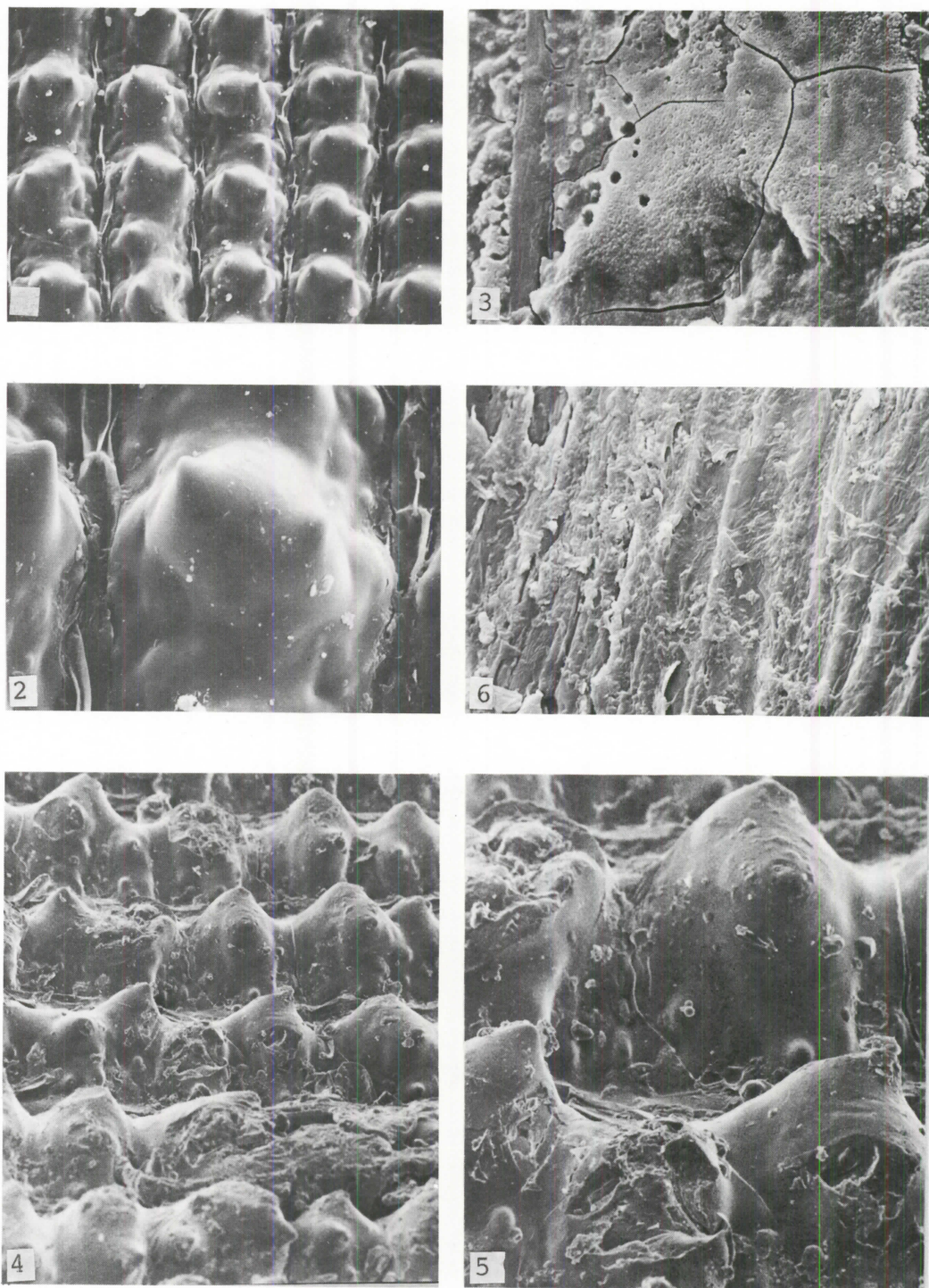


Fig. 1-6

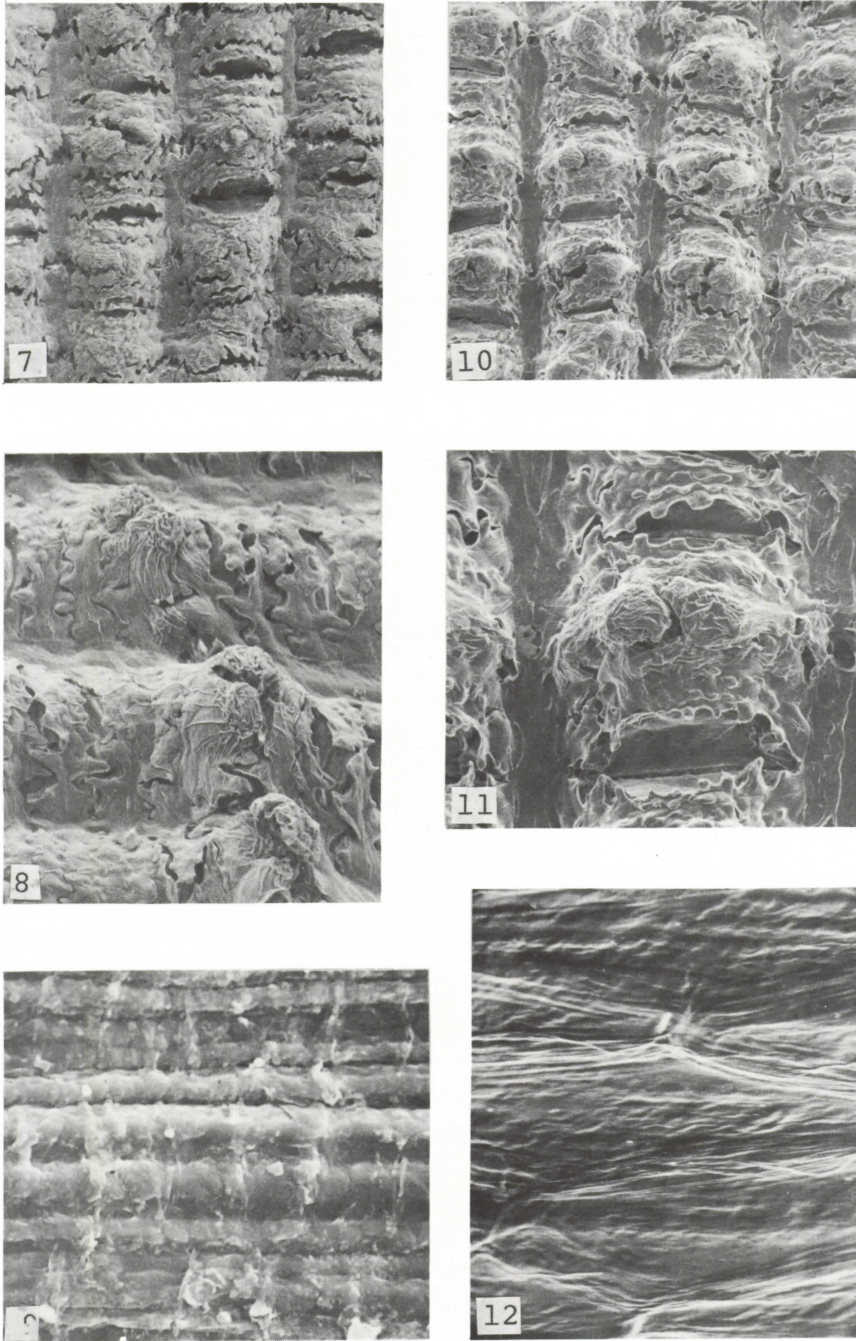
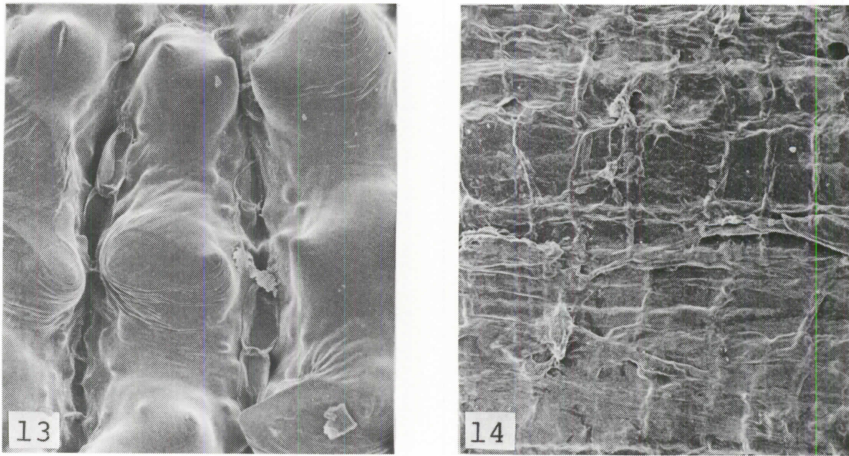


Fig. 7-12



Explanation of Figures

Scanning electron micrographs of Rice Hulls (RH)

- Fig. 1. Intact RH: Regularly-lined silicate mountains of upper epidermis. x300
 Fig. 2. Intact RH: Enlarged mountain and bristles. x1000
 Fig. 3. Intact RH: Reverse epidermis and stomata. x1000
 Fig. 4. Ammoniated RH: Some collapses both on the mountains and valleys. x400
 Fig. 5. Ammoniated RH: An enlarged collapsed site. x1200
 Fig. 6. Ammoniated RH: Part of reverse epidermis was destroyed. x1000
 Fig. 7. NaOH-treated RH: Silicate layer of the mountain largely disappeared and the skeleton of epidermis was exposed. x400
 Fig. 8. NaOH-treated RH: Enlarged. x1000
 Fig. 9. NaOH-treated RH: Reverse epidermis completely disappeared and parenchyma was exposed. x1000
 Fig. 10. NaOH-KMnO₄-treated RH: Silicate layer of the mountain and lignified vascular tissue under epidermis were both destroyed and the distinct skeleton appeared. x400
 Fig. 11. NaOH-KMnO₄-treated RH: Enlarged. x1000
 Fig. 12. NaOH-KMnO₄-treated RH: Reverse epidermis completely disappeared and parenchyma was exposed. x1000
 Fig. 13. NaClO₂-treated RH: Lignified vascular tissue in the valley was destroyed. x1000
 Fig. 14. NaClO₂-treated RH: Reverse epidermis. x1000

残存している ARH およびNaOH 処理の試料についての消化率の向上も認められ一見矛盾している様に見える。アムモニア処理¹⁶⁾およびNaOH 処理^{25),26)}による IVDMD の上昇も認められている。これは菊地ら⁸⁾が

Table 3. *In vitro* dry matter digestibility of chemically-treated Rice Hulls (%)

Treatment	Intact	ARH	NaOH	NaOH-KMnO ₄	NaClO ₂
IVDMD*	6.0	19.9	30.0	41.3	42.1
Cellulase**	3.5	20.1	6.8	10.2	14.4

*IVDMD: After 48hrs' incubation in goat rumen liquor

**Cellulase: After 48hrs' incubation with cellulase from *Aspergillus niger*

もみ殻と同様にシリカとリグニンを含むいならの消化の悪い原因を、リグニンがヘミセルロースと強固に結合していて、これが構造的に内部にある可消化の炭水化物をカバーし微生物や、分解酵素の浸入を阻止し、消化を妨げている、アルカリ処理はこの結合に一定の変化を与え、リグニンを可溶化しないまでも変質させるため効果が発揮されるとしている。もみ殻についてもアルカリ処理の同様の効果が考えられるし、ARHについては構造の破壊によるセニ物質の露出の効果の方が大きいと考えられる。

以上、今回の研究では従来のもみ殻の消化の悪い原因と、その化学処理の効果の原因をその化学構造とSEMによる組織構造の変化の双方から検討し、リグニンが消化の悪い原因であることを確認し、その組織構造との関係も明らかにした。勿論、化学処理した試料は十分に水洗した後のものであり、水洗による養分の損失も大きく、水洗作業自体にも問題がある。アルカリ液を噴霧する中で、水洗せずにそのまま使う方法が稲わらで考案されている。⁸⁾ これらの処理の実用化には、以上の他に、実際の家畜に給与して、その臨床所見や飼養効果の検討が充分に行なわれる必要がある。

要 約

もみ殻を飼料化する目的で、種々の化学的な処理を施した際のもみ殻の化学組成の変化および走査電顕(SEM)下の組織学的変化と *In vitro* の消化率との関連を検討した。

1. ARHは生もみ殻に較べてセニ成分の比率が低下し、熱水可溶区分も3倍近く上る。IVDMDが3倍に上るが、これはシリカの山、そして谷部もかなり破壊されて、可消化のセニ部分が露出したためと考えられる。リグニンは残存しているが変質していると思われる。

2. NaOHで処理すると山部のシリカ層が完全に除かれてセニ組織が露出し、IVDMDも5倍に上る。リグニンは残存しているが変質していると思われる。

3. NaOHで処理後、更にKMnO₄で処理したものは、更に山が大きく破壊され、穴も大きくなり、谷部にあるリグニンも除去されて、IVDMDは更に7倍に上る。

4. NaClO₂で処理すると、谷部のリグニンが失われ、シリカが残存しているのに、IVDMDが7倍に上る。

以上の事から、もみ殻の消化の悪い原因の一つは確かにリグニンであるが、もみ殻の堅固な構造も大きな原因となっていることが明らかになった。

謝 辞

走査電顕写真の撮影について日製産業SIセンターの加藤勝氏に大変お世話になった。記して感謝します。

文 献

- 1) 新船保：農業および園芸，52，306-312 (1977)。
- 2) 近藤郁夫・中根逸夫・板倉福多郎・田中廣：愛知県農業総合試験場研究報告 E (畜産) 第5号 27-32 (1974)。
- 3) 天野武ほか：香川県畜産試験場報告，14，1-20 (1976)。
- 4) 天野武ほか：香川県畜産試験場報告，15，1-18 (1977)。
- 5) 天野武：香川県畜産試験場報告，15，19-40 (1977)。
- 6) 飯島章碩：畜産コンサルタント，126，35-39 (1975)。
- 7) 松原守：飼料と飼料工業 20，57-61 (1980)。
- 8) 菊地修二：畜産の研究 30，838-844，1409-1415 (1976)。
- 9) 中村亮八郎・吉田條二・堀周作：日畜会報，42，130-135 (1971)。
- 10) ENG, K.S. Tr.: *Feedstuffs* 36, 14, (1964).
- 11) WHITE, T.W.: *J. Anim. Sci.*, 25, 25-28 (1966).

- 12) TILLMAN, J. : *J. Anim. Sci.*, **29**, 792-796 (1969).
- 13) CHOWY, C.C. and McMANUS, W.R. : *J. Agr. Sci.* **86**, 517 (1976).
- 14) 三谷克之輔・谷本一志・吉本伝・大谷勲 : 広大水畜紀要, **14**, 275-285 (1975).
- 15) 藤田浩三ら : 日畜会報, **48**, 80-88 (1977).
- 16) ITOH, H. TERASHIMA, Y., TOHRAI, N. and MATSUI Y. : *J. Zootech, Sci.* **46**, 87-93 (1975).
- 17) TOHRAI, N., TERASHIMA, Y., and ITOH, H. : *J. Zootech, Sci.* **49**, 67-74 (1978).
- 18) ITOH, H., TERASHIMA, Y. and TOHRAI, N. : *J. Zootech, Sci.* **50**, 54-61 (1979).
- 19) TERASHIMA, Y., TOHRAI, N. and ITOH, H. : *J. Zootech. Sci.* **51**, 40-49 (1980).
- 20) VAN SOEST, P.J. : *J. of AOAC* **46** 829-835 (1963).
- 21) VAN SOEST, P.J. and WINE R.H. : *J. of AOAC* **50** 50-55 (1967).
- 22) 森本宏 : 動物栄養試験法, p 351-352, 養賢堂 東京 (1971).
- 23) 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).
- 24) TILLEY, J.M. and TERRY, R.A : *J. Brit. Glassland Society* **18**, 104-111 (1963).
- 25) McMANUS, W.R. and CHOWY, C.C. : *J. Agr. Sci.*, **86**, 453 (1976).
- 26) HUTANUWATR, N. *et.al.* : *J. Anim. Sci.* **38**, 140 (1974).

Summary

The low feeding value of rice hulls (RH) can be accounted for largely by its relatively high contents of silica and lignin, and also by its rigid cell wall structure. In order to overcome this defect, the effects of various chemical treatments of RH on its *in vitro* dry matter disappearance (IVDMD) and on scanning microscopic structure were examined.

1. Ammoniated RH: Some collapses showed everywhere on the epidermis. In spite of slight change in the contents of silica and lignin, the IVDMD increased by about 3 times that of intact control.

2. NaOH-treated RH: The silicate layer on the mountains of the epidermis completely disappeared and part of the parenchyma was exposed. The IVDMD increased by about 5 times that of intact control.

3. NaOH-KMnO₄-treated RH: The silicate layer of the mountain and the lignified vascular tissue under epidermis were both destroyed. The distinct cell wall skeleton appeared and the parenchyma was exposed. The IVDMD increased markedly by about 7 times of intact control.

4. NaClO₂-treated RH: The lignified vascular tissue in the valley was destroyed. The IVDMD increased this time also by about 7 times that of intact control.