

JAERI - M  
88-015

セルロース廃資源糖化試験装置による研究(Ⅲ)  
— もみがらのアルカリ処理効果 —

1988年2月

笠井 昇・玉田 正男・熊倉 稔・嘉悦 勲

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）  
あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城  
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department  
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,  
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 山田軽印刷所

セルロース廃資源糖化試験装置による研究 (Ⅲ)

—もみがらのアルカリ処理効果—

日本原子力研究所高崎研究所開発部

笠井 昇・玉田正男・熊倉 稔・嘉悦 勲

(1988年1月20日受理)

もみがらの糖化に対するアルカリ前処理の効果およびアルカリ、粉碎、放射線照射処理の併用効果について研究した。

もみがらのアルカリ処理はアルカリ濃度が高いほど効果的であり、4%の濃度において脱リグニンによる酵素親和性の増大により、未処理に比べ4倍の糖濃度の溶液が得られた。アルカリ、粉碎、放射線照射処理を組合わせて前処理したもみがらは、未処理もみがらに比べ最大10倍高い糖濃度の溶液になった。また、得られる糖濃度は処理順序により大きく変わることが明らかになった。

Study on Saccharification of Cellulosic Wastes  
with Bench Scale Test Plant (3)  
- Effect of Alkali Pretreatment on Chaff -

Noboru KASAI, Masao TAMADA  
Minoru KUMAKURA and Isao KAETSU

Department of Development  
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gumma-ken

(Received January 20, 1988)

Effects of alkali treatment and a combination of alkali, irradiation, and pulverizing treatment on saccharification of chaff have been studied.

Alkali treatment of chaff was effective for saccharification as higher alkali concentration as possible. Chaff that was treated with alkali concentration of 4% gave a higher glucose concentration solution than untreated chaff by a factor of 4, due to increase of enzyme accessibility resulting from delignification. Chaff obtained with a combination of alkali, irradiation, and pulverizing treatment gave a higher glucose concentration solution than untreated chaff by a factor of maximum 10, in which it was found that the glucose concentration of the solution depends on the order of the treatments.

Keywords: Cellulosic Wastes, Chaff, Saccharification, Pretreatment, Alkali Treatment, Pulverizing, Irradiation

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 実 験 .....	1
2.1 試 料 .....	1
2.2 アルカリ処理 .....	1
2.3 照射処理 .....	2
2.4 粉碎処理 .....	2
2.5 糖 化 .....	2
3. 結果および考察 .....	2
3.1 もみがらのアルカリ処理効果 .....	2
3.2 アルカリ処理もみがらの粉碎効果 .....	3
3.3 粉碎もみがらのアルカリ処理効果 .....	4
3.4 アルカリ処理もみがらの照射効果 .....	5
3.5 もみがらの前処理併用効果 .....	5
4. 結 論 .....	6
謝 辞 .....	7
参考文献 .....	7

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Materials .....	1
2.1 Material .....	1
2.2 Alkali treatment .....	1
2.3 Irradiation treatment .....	2
2.4 Pulverizing .....	2
2.5 Saccharification .....	2
3. Results and Discussion .....	2
3.1 Effect of alkali treatment of chaff .....	2
3.2 Effect of pulverizing on alkali treated chaff .....	3
3.3 Effect of alkali treatment on pulverized chaff .....	4
3.4 Effect of irradiation on alkali treated chaff .....	5
3.5 Effect of combination in pretreatment on chaff .....	5
4. Conclusion .....	6
Acknowledgement .....	7
References .....	7

## 1. はじめに

セルロース廃資源（もみがら、バガス、廃木材など）に含まれているセルロースを酵素により効率よく加水分解（糖化）してグルコースに変換した後、醗酵させてアルコールに変える技術の開発が望まれている。しかし、酵素による糖化では、セルロースが高分子量で水に不溶性であることやリグニンなどとの強固な結合により、セルロースへの酵素の吸着が阻害されるため反応性が悪い。このため、セルロース廃資源の前処理法として種々の研究が行われている<sup>1)~5)</sup>。

我々は、国内で大量に副生されるにもかかわらず、ほとんど利用されていないもみがらの前処理法について検討してきた。前報<sup>6)</sup>では、物理的前処理法である粉碎および放射線照射の効果について検討を行い、もみがらの酵素糖化において有効な前処理法であることを明らかにした。本報告では、化学的前処理法であるアルカリ処理により脱リグニンを行い、もみがらの酵素糖化におよぼす効果、および粉碎、放射線照射との併用効果について検討した結果を述べる。

## 2. 実 験

### 2.1 試 料

群馬県玉村町のライスセンターから入手した半割状のもみがらを使用した。

### 2.2 アルカリ処理

もみがらのアルカリ処理は0.5～4%濃度の水酸化ナトリウム（NaOH）水溶液を用いた。もみがらをアルカリ溶液に20分間浸した後（アルカリ溶液がもみがらに浸透して全体的に茶色に変わる）過剰なアルカリ溶液を回収し、湿潤状態で一定時間（処理時間）室温で放置した。また、予め粉碎したもみがら（粉碎もみがら）はアルカリ溶液を加え、30%スラリー（スラリー濃度を30%以上にすると流動性がなくなり、溶液に浸らない部分が生じる）にして一定時間室温で放置した。このように、今回の実験ではアルカリ処理に要するコストの低減のため、できるだけ少ないアルカリ液量で多くのもみがらの処理を行った。アルカリ処理後、もみがらをFig.1の手順に示したように中和・洗浄・ろ過・乾燥を行い、粉碎および糖化用試料とした。

アルカリ処理時間を決めるため、もみがらおよび粉碎もみがらを4%のアルカリ溶液で処理して酵素により糖化反応を行い、酵素糖化におよぼすアルカリ処理時間の影響を調べた。結果をFig.2に示した。アルカリ処理時間により糖化性は大きく影響を受けるが長時間の処理により、ほとんど一定の糖濃度となることがわかった。今回の実験では、処理時間が多少変化しても糖化性に影響をおよぼさないことや大量処理における作業性を考慮し、アルカリ処理時間を24時間に決めた。

## 1. はじめに

セルロース廃資源（もみがら、バガス、廃木材など）に含まれているセルロースを酵素により効率よく加水分解（糖化）してグルコースに変換した後、醗酵させてアルコールに変える技術の開発が望まれている。しかし、酵素による糖化では、セルロースが高分子量で水に不溶性であることやリグニンなどとの強固な結合により、セルロースへの酵素の吸着が阻害されるため反応性が悪い。このため、セルロース廃資源の前処理法として種々の研究が行われている。<sup>1)~5)</sup>

我々は、国内で大量に副生されるにもかかわらず、ほとんど利用されていないもみがらの前処理法について検討してきた。前報<sup>6)</sup>では、物理的前処理法である粉碎および放射線照射の効果について検討を行い、もみがらの酵素糖化において有効な前処理法であることを明らかにした。本報告では、化学的前処理法であるアルカリ処理により脱リグニンを行い、もみがらの酵素糖化におよぼす効果、および粉碎、放射線照射との併用効果について検討した結果を述べる。

## 2. 実 験

### 2.1 試 料

群馬県玉村町のライスセンターから入手した半割状のもみがらを使用した。

### 2.2 アルカリ処理

もみがらのアルカリ処理は0.5～4%濃度の水酸化ナトリウム（NaOH）水溶液を用いた。もみがらをアルカリ溶液に20分間浸した後（アルカリ溶液がもみがらに浸透して全体的に茶色に変わる）過剰なアルカリ溶液を回収し、湿潤状態で一定時間（処理時間）室温で放置した。また、予め粉碎したもみがら（粉碎もみがら）はアルカリ溶液を加え、30%スラリー（スラリー濃度を30%以上にすると流動性がなくなり、溶液に浸らない部分が生じる）にして一定時間室温で放置した。このように、今回の実験ではアルカリ処理に要するコストの低減のため、できるだけ少ないアルカリ液量で多くのもみがらの処理を行った。アルカリ処理後、もみがらをFig.1の手順に示したように中和・洗浄・ろ過・乾燥を行い、粉碎および糖化用試料とした。

アルカリ処理時間を決めるため、もみがらおよび粉碎もみがらを4%のアルカリ溶液で処理して酵素により糖化反応を行い、酵素糖化におよぼすアルカリ処理時間の影響を調べた。結果をFig.2に示した。アルカリ処理時間により糖化性は大きく影響を受けるが長時間の処理により、ほとんど一定の糖濃度となることがわかった。今回の実験では、処理時間が多少変化しても糖化性に影響をおよぼさないことや大量処理における作業性を考慮し、アルカリ処理時間を24時間に決めた。



### 2.3 照射処理

アルカリ処理を開始してから1時間後にもみがらをポリエチレンの袋に入れ、電子加速器<sup>7)</sup> (Dynamitron IEA-300-25-2) により加速電圧2MeV, ビーム電流5mA, コンベアスピード2.26m/min (50 kGy/pass) の条件で100~500 kGyの範囲で室温で照射した。200 kGyまで連続的に照射を行ったが500 kGyの照射の場合, 照射によるもみがらの温度上昇を防ぐため200 kGy照射→冷却→200 kGy照射→冷却→100 kGy照射と断続的に照射を行った。また, 未処理のもみがらも同様の条件で照射を行った。

### 2.4 粉碎処理

アルカリ処理後, Fig.1の手順により得られたもみがら(アルカリ処理もみがら)または, 未処理のもみがらをベンチスケール試験装置の衝撃式粉碎機ニューミクロシクロマットKV-5-5型(躍進機械製作所製)により22 kg/hの粉碎処理速度でダンパー開口度5mmの条件で粉碎した<sup>8)</sup>。本粉碎機は7900 rpm(周速110 m/s)で回転している衝撃体との衝突, 激しい空気の渦流等により試料を連続的に粉碎するものである。

### 2.5 糖 化

酵素はセルラーゼ“ONOUZUKA”R-10(ヤクルト製)を使用した。100mlの三角フラスコにもみがらを0.5g, 0.1M酢酸緩衝溶液(PH4.8)を9.5ml入れ, 50mgの酵素を加えロータリーインキュベータを使用して40°C, 80 rpmで糖化を行った。糖化後, 溶液中に生成したグルコースの濃度はグルコースアナライザ-CGA-101(島津製作所製)により測定した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 もみがらのアルカリ処理効果

もみがらやバガスなどのセルロース廃資源ではセルロースがリグニンに覆われており, セルロースと酵素の接触が阻害されるため糖化反応性が悪い。本実験では, もみがらをアルカリ溶液で処理してリグニン除去(脱リグニン)を行い, 糖化性を検討した。

0.5~4%濃度のアルカリ溶液で処理したもみがらの形態変化をFig.3に示した。アルカリ濃度が2%までは未処理もみがらとほとんど同じで外観の変化がみられなかった。4%で処理したもみがらは未処理もみがらに比べ縮んで細くなり, 裂けたような形となった。

アルカリ処理したもみがらの重量減少は下記の式により求め, Fig.4に示した。

## 2.3 照射処理

アルカリ処理を開始してから1時間後にもみがらをポリエチレンの袋に入れ、電子加速器<sup>7)</sup> (Dynamitron IEA-300-25-2) により加速電圧2MeV, ビーム電流5mA, コンベアスピード2.26m/min (50 kGy/pass) の条件で100~500 kGyの範囲で室温で照射した。200 kGyまで連続的に照射を行ったが500 kGyの照射の場合, 照射によるもみがらの温度上昇を防ぐため200 kGy照射→冷却→200 kGy照射→冷却→100 kGy照射と断続的に照射を行った。また, 未処理のもみがらも同様の条件で照射を行った。

## 2.4 粉碎処理

アルカリ処理後, Fig.1の手順により得られたもみがら(アルカリ処理もみがら)または, 未処理のもみがらをベンチスケール試験装置の衝撃式粉碎機ニューミクロシクロマットKV-5-5型(躍進機械製作所製)により22 kg/hの粉碎処理速度でダンパー開口度5mmの条件で粉碎した。<sup>8)</sup>本粉碎機は7900 rpm(周速110 m/s)で回転している衝撃体との衝突, 激しい空気の渦流等により試料を連続的に粉碎するものである。

## 2.5 糖化

酵素はセルラーゼ“ONozuka”R-10(ヤクルト製)を使用した。100 mlの三角フラスコにもみがらを0.5 g, 0.1 M酢酸緩衝溶液(PH4.8)を9.5 ml入れ, 50 mgの酵素を加えロータリー式インキュベータを使用して40°C, 80 rpmで糖化を行った。糖化後, 溶液中に生成したグルコースの濃度はグルコースアナライザ-CGA-101(島津製作所製)により測定した。

# 3. 結果および考察

## 3.1 もみがらのアルカリ処理効果

もみがらやバガスなどのセルロース廃資源ではセルロースがリグニンに覆われており, セルロースと酵素の接触が阻害されるため糖化反応性が悪い。本実験では, もみがらをアルカリ溶液で処理してリグニン除去(脱リグニン)を行い, 糖化性を検討した。

0.5~4%濃度のアルカリ溶液で処理したもみがらの形態変化をFig.3に示した。アルカリ濃度が2%までは未処理もみがらとほとんど同じで外観の変化がみられなかった。4%で処理したもみがらは未処理もみがらに比べ縮んで細くなり, 裂けたような形となった。

アルカリ処理したもみがらの重量減少は下記の式により求め, Fig.4に示した。

$$\text{重量減少 (\%)} = \frac{\text{アルカリ処理前の重量} - \text{処理後の乾燥重量}}{\text{アルカリ処理前の重量}} \times 100$$

もみがらの重量減少は処理するアルカリ濃度が高いほど大きくなり、4%アルカリ溶液で処理したもみがらでは20%以上重量が減少した。このように、もみがらのアルカリ処理では脱リグニン量がアルカリ濃度に依存しアルカリ濃度が高いほど脱リグニンされ易いことがわかった。

次に、アルカリ処理したもみがらを酵素により糖化反応を行い、酵素糖化におよぼすアルカリ濃度の影響を調べた。Fig.5に酵素糖化により生成された糖の濃度を示した。0.5%および1%のアルカリ溶液で処理したもみがらの糖濃度は未処理もみがらとほとんど同じ値を示し、アルカリ処理による効果がみられなかった。これに対し、2%以上のアルカリ溶液で処理したもみがらは未処理もみがらに比べ、糖濃度が大きく増加した。特に、4%のアルカリ溶液で処理したもみがらの糖濃度は、48時間の糖化で5.5 mg/mlとなり、未処理もみがらの1.3 mg/mlに比べ4倍高くなった。

もみがらのアルカリ処理において、0.5%および1%濃度のアルカリ溶液でも脱リグニンされるが、脱リグニン量が少ないため、ほとんど酵素による糖化性の向上に寄与しない。2%以上のアルカリ濃度では、脱リグニン量が多くなり酵素による糖化性が向上し、高い糖濃度の溶液が得られることがわかった。

### 3.2 アルカリ処理もみがらの粉碎効果

もみがらはみかけの密度が小さく嵩高いため糖化反応の際、容器内に占める割合が多くなり基質濃度を高められず非効率的である。このため、もみがらを粉碎により微粒子化する必要がある。また、微粒子化によりセルロースの表面積が増加し、酵素との接触が良くなる。

アルカリ処理により脱リグニンをを行ったもみがらを衝撃式粉碎機により粉碎し、酵素糖化におよぼす粉碎の効果を調べた。

アルカリ処理を行ったもみがらを粉碎し、粉碎物を酵素により糖化した結果をFig.6に示した。未粉碎物において前項(3.1)で述べたように0.5、1%アルカリ濃度では未処理とほとんど同じ糖濃度を示したが、アルカリ処理後粉碎を行うと未処理に比べ低いアルカリ濃度においても高い糖濃度を示した。また、アルカリ処理粉碎物は、いずれのアルカリ濃度においても未粉碎物より高い糖濃度を示しており、粉碎による糖化性の向上がみられた。

アルカリ処理もみがらを粉碎により微粒子化すると高い糖濃度が得られることから、粉碎物をフルイによりフルイ分けし、さらに小さな粒子を集めて酵素糖化性を調べた。もみがらを4%のアルカリ溶液で処理後、粉碎して得られた粉碎物20gを250#(目開き0.063mm)、350#(目開き0.04mm)、500#(目開き0.025mm)のフルイ(直径200mmφ)を用いてロータップ式フルイ器により、それぞれ15分間フルイ分けて小さな粒子を集めた。

各フルイのフルイ下(フルイを通過した粉碎物)の割合はフルイ分け試料の重量に対し、250#で47%、350#で33%、500#で22%であった。

各フルイ下を酵素により糖化した結果をFig.7に示した。フルイ分けしないものと250#フル

イ下の糖濃度は同じ値を示し、350<sup>#</sup>フルイ下、500<sup>#</sup>フルイ下はフルイ分けしないものより低い糖濃度を示した。前報<sup>6)</sup>で述べたように、もみがら粉砕物（未処理）はフルイ分けにより小さな粒子を集めたものほど糖化性が向上し、高い糖濃度が得られたが、アルカリ処理粉砕物では逆に小さな粒子を集めたものほど低い糖濃度となり、酵素による糖化性が悪くなった。この原因として、もみがら中のセルロースの構造変化が考えられる。セルロースは水溶液に浸した後、乾燥するとセルロースの結晶化度が増加する<sup>9)</sup>。アルカリ処理を行ったもみがら中のセルロースにおいても同様の影響が現れ、セルロースが粉砕で微粒子化しにくくなるものと思われる。また、350<sup>#</sup>フルイ下や500<sup>#</sup>フルイ下のような微粉砕物中にはセルロースが少なく、リグニンやケイ酸が多く含まれている組成になり、酵素糖化性が悪くなったことが考えられる。

粉砕処理は、もみがらのみかけ密度を大きくし高基質濃度で効率良く糖化反応を行わせる上で必要であるが、アルカリ処理もみがらの酵素糖化性においても有用であることが明らかになった。また、アルカリ処理もみがらの粉砕物は粒子をより小さくしても糖化性が向上しないことがわかった。

### 3.3 粉砕もみがらのアルカリ処理効果

前項（3.2）では、アルカリ処理を行ったもみがらを粉砕して糖化性を調べた。しかし、この方法では実用化の際に、みかけの密度が小さく高もみがらを大量にアルカリ処理しなければならず、非常に大型の装置が必要になる。これに対し、粉砕したもみがらをアルカリ処理する方法では、みかけの密度が大きくなるため装置が小型ですみ、作業性も向上する。

もみがらを粉砕した後、アルカリ処理を行い酵素の糖化性を調べた。また、もみがらの酵素糖化において、アルカリ処理前に粉砕を行う方法とアルカリ処理後に粉砕を行う方法のどちらが有効であるかを検討した。

0.5～4%濃度のアルカリ溶液で処理したもみがら粉砕物の重量減少をFig. 8に示した。処理するアルカリ濃度が高いほど重量減少が大きくなり、4%のアルカリ溶液で処理したもみがら粉砕物では20%以上重量が減少した。また、Fig. 4で示した未粉砕もみがらの重量減少と比べると、アルカリ濃度が4%ではほとんど同じであるが4%以下の濃度では粉砕物の方が非常に大きく減少している。これは、もみがらを粉砕により微粒子化するとリグニンの露出面積が増加し、アルカリ濃度が低くても効果的に脱リグニンされるものと思われる。

もみがら粉砕物をアルカリ処理後、酵素により糖化した結果をFig. 9に示した。アルカリ濃度が0.5%では未処理と同じ糖濃度となりアルカリ処理による効果はみられなかったが、それ以上の濃度ではアルカリ処理により糖化性が向上し、アルカリ濃度が高いほど糖濃度が高くなった。

粉砕後にアルカリ処理する方法とアルカリ処理後に粉砕する方法の糖化性を比較するため、糖化時間48時間での糖濃度をプロットしてFig. 10に示した。アルカリ濃度が2%まではどちらも同じ糖濃度を示し、粉砕後にアルカリ処理を行ってもアルカリ処理後に粉砕を行っても糖化性に相違がなかった。しかし、4%のアルカリ濃度では糖化性が大きく異なり、粉砕後にアルカリ処理を行った方が高い糖濃度となった。この事から、もみがらの酵素糖化において高いアルカリ濃度では、粉砕後にアルカリ処理する方法がアルカリ処理後に粉砕する方法に比べ効果的であるこ

とがわかった。

### 3.4 アルカリ処理もみがらの照射効果

セルロース材料に放射線を照射するとセルロースの結晶化度の低下<sup>10)</sup>および重合度の低下による可溶成分の増加<sup>11)</sup>などが起こることから、放射線照射はセルロース廃資源の糖化の前処理法として期待できる。

本実験では、アルカリ処理により脱リグニンされたもみがらの酵素糖化におよぼす照射効果について調べた。なお、照射は電子加速器を用いて行った。

もみがらを0.5～4%濃度のアルカリ溶液に浸した後に電子線照射を行い、粉碎せずに酵素により48時間糖化した結果をFig.11に示した。0.5%および1%のアルカリ処理したもみがらは、線量の増加とともにわずかに糖濃度が上昇する傾向を示した。2%および4%のアルカリで処理したもみがらは100, 200 kGyで糖濃度が大きく増加した。しかし、500 kGyでは200 kGyとほとんど同じ糖濃度となった。この原因として照射によるもみがらの温度上昇が考えられる。本実験では、500 kGyの照射において200 kGy→冷却→200 kGy→冷却→100 kGyと断続的に行った。このため、500 kGyと200 kGyのもみがらの上昇温度は同じ(80℃)であるため糖濃度もほとんど同じになったものと考えられる。そこで、200 kGyと500 kGyの照射を100 kGy毎(50℃)の断続照射で行い糖化した結果をFig.12に示した。2%のアルカリで処理したもみがらは、ほとんど照射による糖濃度の増加がみられなくなった。また、4%のアルカリで処理したもみがらは未照射に比べ100 kGyで糖濃度が増加するものの、200 kGy, 500 kGyは100 kGyとほとんど同じ値を示した。このことから、アルカリ処理もみがらの照射による糖濃度の増加は、主に照射による温度上昇による効果と推定される。

アルカリ処理における温度の影響を調べるため、4%のアルカリ溶液に浸したもみがらを60℃と90℃の恒温槽に入れ、30分間加熱処理した。加熱したもみがらを酵素により糖化した結果をFig.13に示した。加熱したもみがらは室温で放置したもみがらより高い糖濃度を示し、加熱温度が高いほど糖濃度が高くなった。このように、アルカリ処理もみがらの糖濃度は加熱温度により影響を受けることが明らかになった。

### 3.5 もみがらの前処理併用効果

もみがらの前処理法としてアルカリ処理と粉碎処理、照射処理を行ってきた。これらの前処理の組み合わせにより効率良くもみがらの酵素糖化を行う方法を処理順序を変えて検討した。

Fig.14に3種類の前処理の順序を変えて行ったもみがらの酵素糖化性について吸収線量を基準として示した。なお、アルカリ処理は4%濃度で行い、糖化時間は48時間である。

- (1) アルカリ→照射→粉碎の処理順序では、線量が高いほど糖濃度が高くなった。アルカリ→照射処理では、照射による温度の影響が大きく照射による糖濃度の増加はみられなかった(200 kGyと500 kGyの糖濃度がほとんど同じ)が粉碎することにより照射による効果がみられた。このことは、前報で報告したように照射したもみがらはそのままでは糖化性の向上

がほとんど見られないが、照射後粉碎を行うと糖濃度の増加が顕著となる結果と同じでありアルカリ処理を行ったもみがらでも同じ結果となった。

- (2) 粉碎→アルカリ→照射の処理順序では、糖濃度が線量に関係なく一定となり、照射の効果がみられない結果となった。このことは、粉碎物のアルカリ処理は照射や照射による温度上昇の効果に比べ非常に効果的なためと思われる。
- (3) 照射→粉碎→アルカリの処理順序では、100 kGy, 200 kGyでの糖濃度の増加は少ないが、500 kGyでは非常に高い糖濃度を示した。セルロース材料である木綿では、500 kGyの線量で完全に強度が失われる<sup>10)</sup>ことから、照射されたもみがら中のセルロースが脆くなっており、粉碎により微粒子化や割れ等が生じ脱リグニンされ易くなるとともに、セルロースの露出面積の増加により酵素との反応性が良くなったものと思われる。

前処理の順序により得られる糖濃度は大きく変わり、今回行った3種類の方法の中で線量が500 kGyにおいて、照射→粉碎→アルカリ処理が非常に酵素糖化性が良好であることがわかった。しかし、100 kGyおよび200 kGyにおいては、どの方法でもほとんど同じ糖濃度を示しており、糖化性に違いのないことがわかった。

今回の実験結果から、もみがらの前処理としてアルカリ処理と粉碎、放射線照射などの処理を組み合わせることにより、最大で約13 mg/mlの糖濃度が得られた。この値は、未処理の1.3 mg/mlに比べ10倍高くなっており、非常に効果的な前処理方法であることが明らかになった。

## 4. 結 論

もみがらのアルカリ処理において、アルカリ濃度が高くなるほど脱リグニン量が多くなり、酵素による糖化性が向上することがわかった。特に、アルカリ濃度4%においては、アルカリ処理後のもみがら形状の変化がはっきり観察された。また、糖濃度は未処理に比べ4倍高くなり、有効な前処理方法であることが明らかになった。

もみがらを高基質濃度で効率よく酵素により糖化反応させるため、粉碎により微粉化する必要がある。アルカリ処理と粉碎処理を併用するとアルカリ処理だけ行ったもみがらに比べ糖化性が向上した。また、粉碎により微粉化したもみがらをアルカリ処理する方法では、アルカリ処理に用いる装置が小型ですみ、作業性が良くなる。これらのことから、もみがらの前処理としてアルカリ処理と粉碎処理の併用は、糖化反応や処理コスト低下などにおいて非常に有利な前処理方法であると考えられる。

もみがらの前処理としてアルカリ処理、粉碎処理、放射線照射処理を組み合わせると処理順序により糖化性が大きく異なることが明らかになった。このことから、もみがらを酵素により効率よく糖化させるためには、前処理の組み合わせを適切な順序で行う必要があることがわかった。

がほとんど見られないが、照射後粉碎を行うと糖濃度の増加が顕著となる結果と同じでありアルカリ処理を行ったもみがらでも同じ結果となった。

- (2) 粉碎→アルカリ→照射の処理順序では、糖濃度が線量に関係なく一定となり、照射の効果がみられない結果となった。このことは、粉碎物のアルカリ処理は照射や照射による温度上昇の効果に比べ非常に効果的なためと思われる。
- (3) 照射→粉碎→アルカリの処理順序では、100 kGy、200 kGyでの糖濃度の増加は少ないが、500 kGyでは非常に高い糖濃度を示した。セルロース材料である木綿では、500 kGyの線量で完全に強度が失われる<sup>10)</sup>ことから、照射されたもみがら中のセルロースが脆くなっており、粉碎により微粒子化や割れ等が生じ脱リグニンされ易くなるとともに、セルロースの露出面積の増加により酵素との反応性が良くなったものと思われる。

前処理の順序により得られる糖濃度は大きく変わり、今回行った3種類の方法の中で線量が500 kGyにおいて、照射→粉碎→アルカリ処理が非常に酵素糖化性が良好であることがわかった。しかし、100 kGyおよび200 kGyにおいては、どの方法でもほとんど同じ糖濃度を示しており、糖化性に違いのないことがわかった。

今回の実験結果から、もみがらの前処理としてアルカリ処理と粉碎、放射線照射などの処理を組み合わせることにより、最大で約13 mg/mlの糖濃度が得られた。この値は、未処理の1.3 mg/mlに比べ10倍高くなっており、非常に効果的な前処理方法であることが明らかになった。

## 4. 結 論

もみがらのアルカリ処理において、アルカリ濃度が高くなるほど脱リグニン量が多くなり、酵素による糖化性が向上することがわかった。特に、アルカリ濃度4%においては、アルカリ処理後のもみがら形状の変化がはっきり観察された。また、糖濃度は未処理に比べ4倍高くなり、有効な前処理方法であることが明らかになった。

もみがらを高基質濃度で効率よく酵素により糖化反応させるため、粉碎により微粉化する必要がある。アルカリ処理と粉碎処理を併用するとアルカリ処理だけ行ったもみがらに比べ糖化性が向上した。また、粉碎により微粉化したもみがらをアルカリ処理する方法では、アルカリ処理に用いる装置が小型ですみ、作業性が良くなる。これらのことから、もみがらの前処理としてアルカリ処理と粉碎処理の併用は、糖化反応や処理コスト低下などにおいて非常に有利な前処理方法であると考えられる。

もみがらの前処理としてアルカリ処理、粉碎処理、放射線照射処理を組み合わせると処理順序により糖化性が大きく異なることが明らかになった。このことから、もみがらを酵素により効率よく糖化させるためには、前処理の組み合わせを適切な順序で行う必要があることがわかった。

## 謝 辞

もみがらの照射に関して協力していただいた照射施設課の須永 博美氏, 上松 敬氏に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) M. Mandels, L. Hontz, and J. Nystrom : *Biotechnol. Bioeng.*, 16, 1471 (1974)
- (2) C. R. Wilke, G. R. Cysweski, and R. D. Yang : *Biotechnol. Bioeng.*, 18, 1315 (1976)
- (3) N. Nesse, J. Wallick, and J. M. Harper : *Biotechnol. Bioeng.*, 19, 323 (1977)
- (4) 佐々木 堯, 佐藤 陽子, 中川 貞人, 白石 真人, 貝沼 圭二 : *食品工誌.*, 26, 523 (1979)
- (5) Gharpuray. M. M., Y. H. Lee, and L. T. Fan : *Biotechnol. Bioeng.*, 25, 157 (1983)
- (6) 笠井 昇, 玉田 正男, 熊倉 稔, 嘉悦 勲 : JAERI-M, 87-047 (1987)
- (7) 須永 博美, 水橋 清, 四本 圭一, 田中 隆一, 田村 直幸 : JAERI-M, 82-142 (1982)
- (8) 笠井 昇, 玉田 正男, 熊倉 稔, 嘉悦 勲 : JAERI-M, 86-040 (1986)
- (9) L. T. Fan, Y. H. Lee, and D. H. Beardmore : *Biotechnol. Bioeng.*, 22, 177 (1980)
- (10) 今村 力造 : *原子力工業*, 9, 62 (1962)
- (11) M. Kumakura, and I. Kaetsu : *Biotechnol. Bioeng.*, 24, 991 (1982)



## 謝 辞

もみがらの照射に関して協力していただいた照射施設課の須永 博美氏, 上松 敬氏に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) M. Mandels, L. Hontz, and J. Nystrom : *Biotechnol. Bioeng.*, 16, 1471 (1974)
- (2) C. R. Wilke, G. R. Cysweski, and R. D. Yang : *Biotechnol. Bioeng.*, 18, 1315 (1976)
- (3) N. Nesse, J. Wallick, and J. M. Harper : *Biotechnol. Bioeng.*, 19, 323 (1977)
- (4) 佐々木 堯, 佐藤 陽子, 中川 貞人, 白石 真人, 貝沼 圭二 : *食品工誌.*, 26, 523 (1979)
- (5) Gharpuray. M. M., Y. H. Lee, and L. T. Fan : *Biotechnol. Bioeng.*, 25, 157 (1983)
- (6) 笠井 昇, 玉田 正男, 熊倉 稔, 嘉悦 勲 : JAERI-M, 87-047 (1987)
- (7) 須永 博美, 水橋 清, 四本 圭一, 田中 隆一, 田村 直幸 : JAERI-M, 82-142 (1982)
- (8) 笠井 昇, 玉田 正男, 熊倉 稔, 嘉悦 勲 : JAERI-M, 86-040 (1986)
- (9) L. T. Fan, Y. H. Lee, and D. H. Beardmore : *Biotechnol. Bioeng.*, 22, 177 (1980)
- (10) 今村 力造 : *原子力工業*, 9, 62 (1962)
- (11) M. Kumakura, and I. Kaetsu : *Biotechnol. Bioeng.*, 24, 991 (1982)

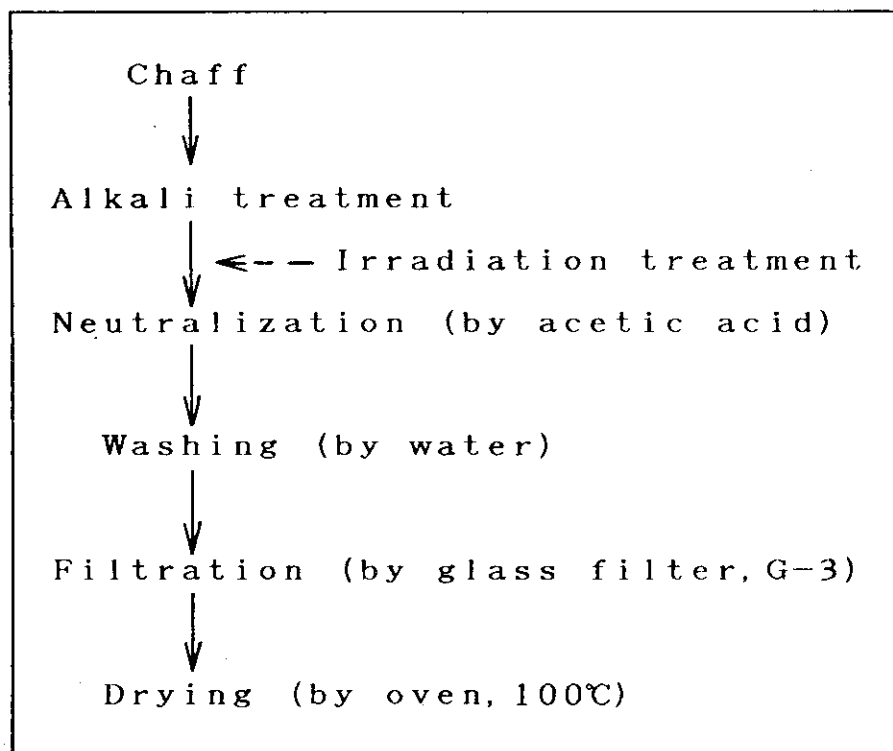


Fig. 1 Preparation process of chaff.

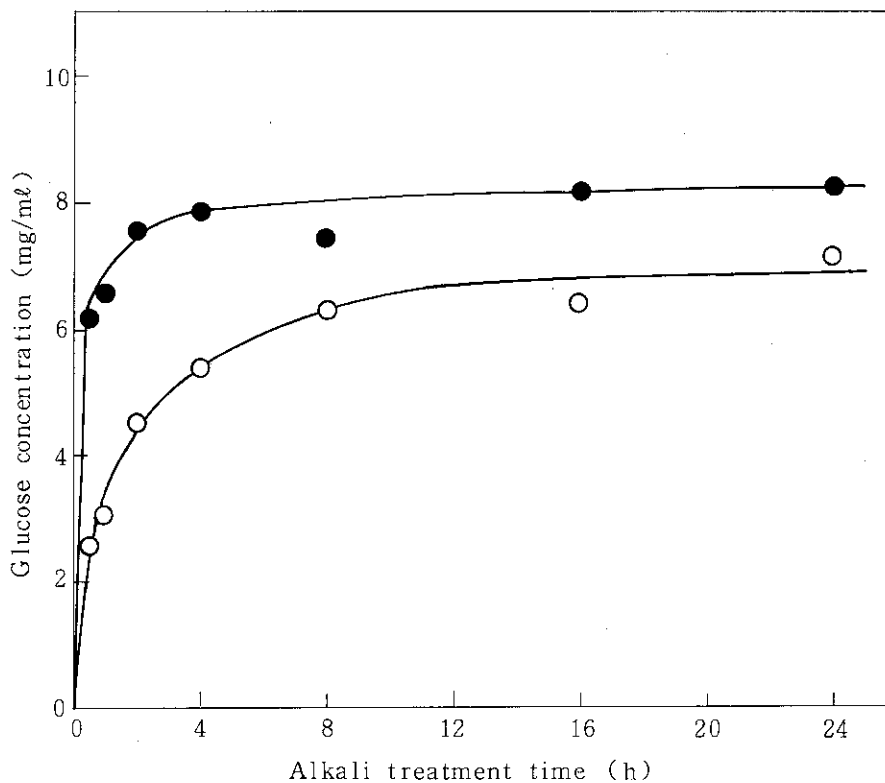


Fig. 2 Relationship between alkali treatment time and glucose concentration, Sample: (○), non pulverized chaff; (●), pulverized chaff. Saccharification: substrate, 5%; enzyme, 0.5%; saccharification time, 48 h.

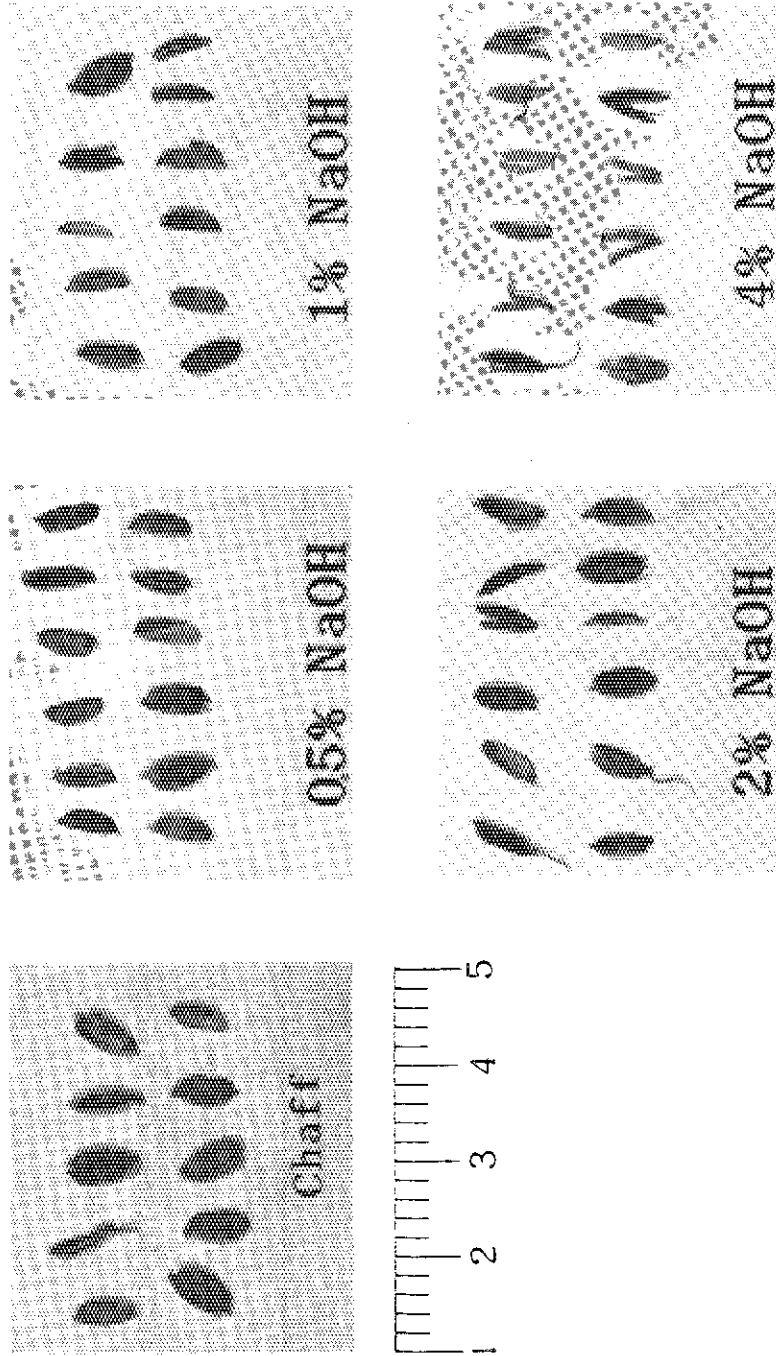


Fig. 3 Change of form in alkali treated chaff.

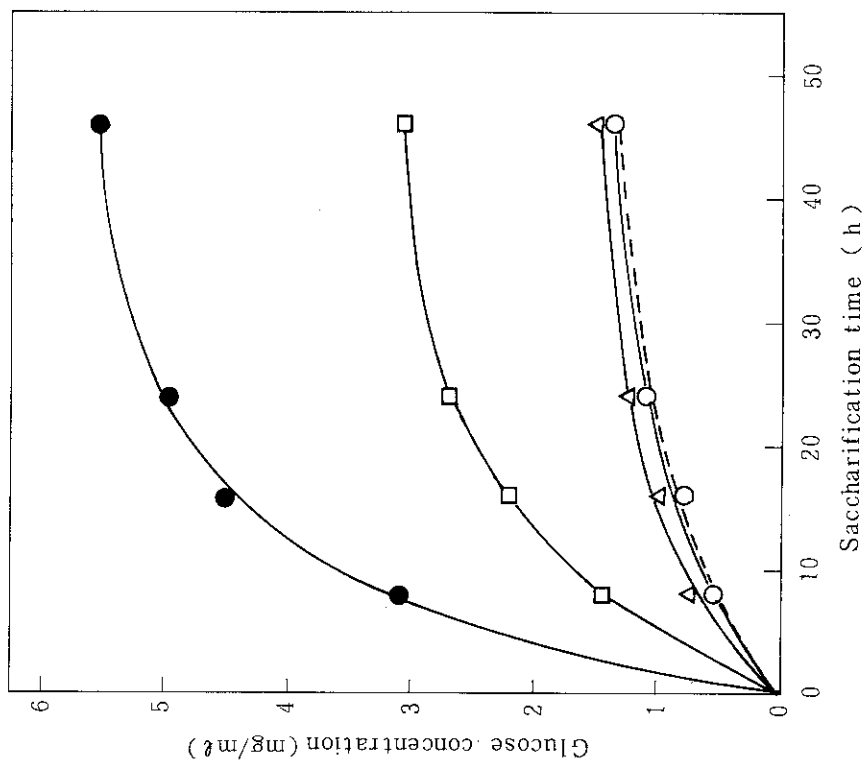


Fig. 5 Effect of alkali treatment on saccharification in chaff.  
 (---), without alkali treatment; (—), with alkali treatment at alkali concentration, ○, 0.5%; △, 1%; □, 2%; ●, 4%.

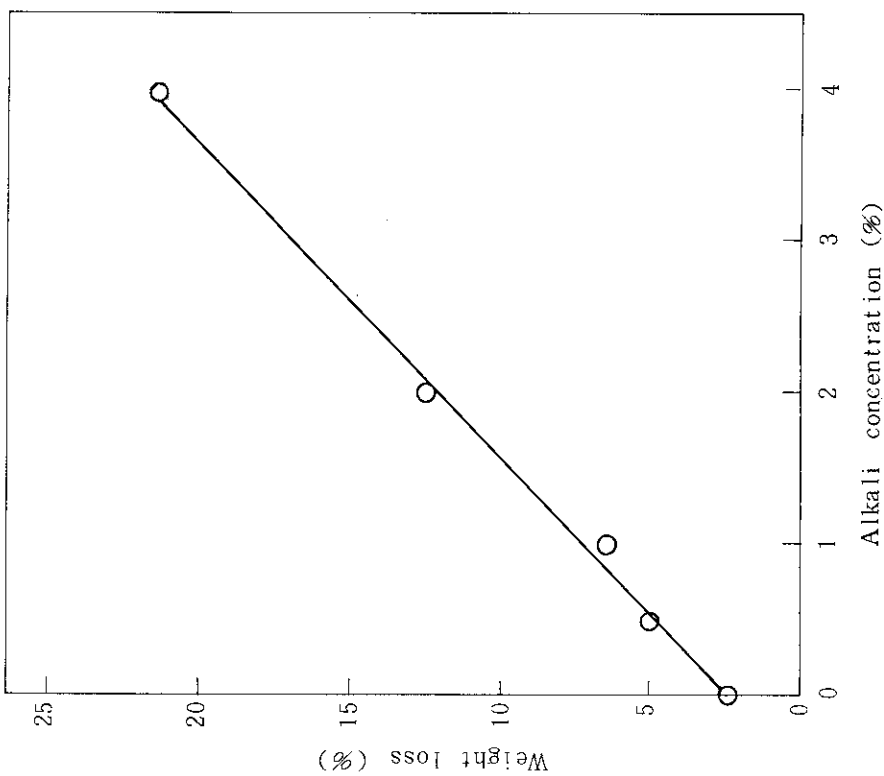


Fig. 4 Relationship between alkali concentration and weight loss in chaff.

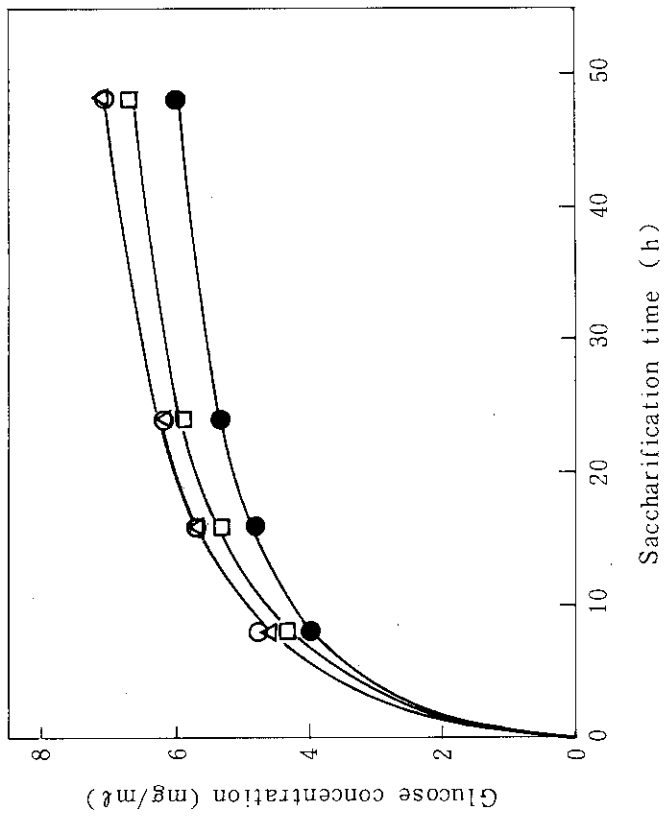


Fig. 6 Effect of pulverizing on saccharification in alkali treated chaff.

(---), without alkali treatment; (—), with alkali treatment at alkali concentration, O, 0.5%; Δ, 1%; □, 2%; ●, 4%.

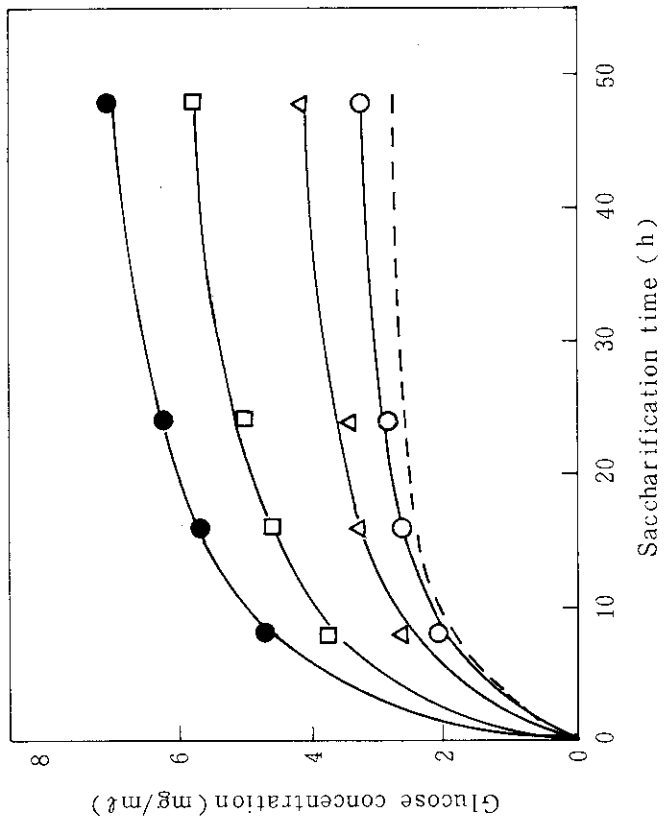


Fig. 7 Effect of screening on saccharification in alkali treated chaff.

O, no screening; Δ, 250# undersize; □, 350# undersize; ●, 500# undersize.

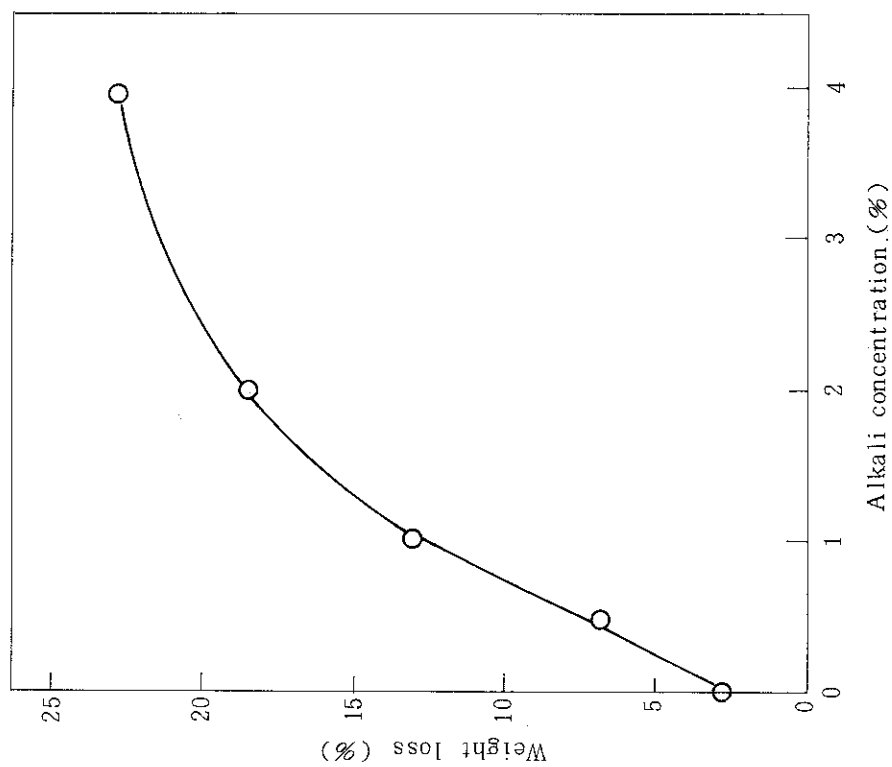


Fig. 8 Relationship between alkali concentration and weight loss in pulverized chaff.

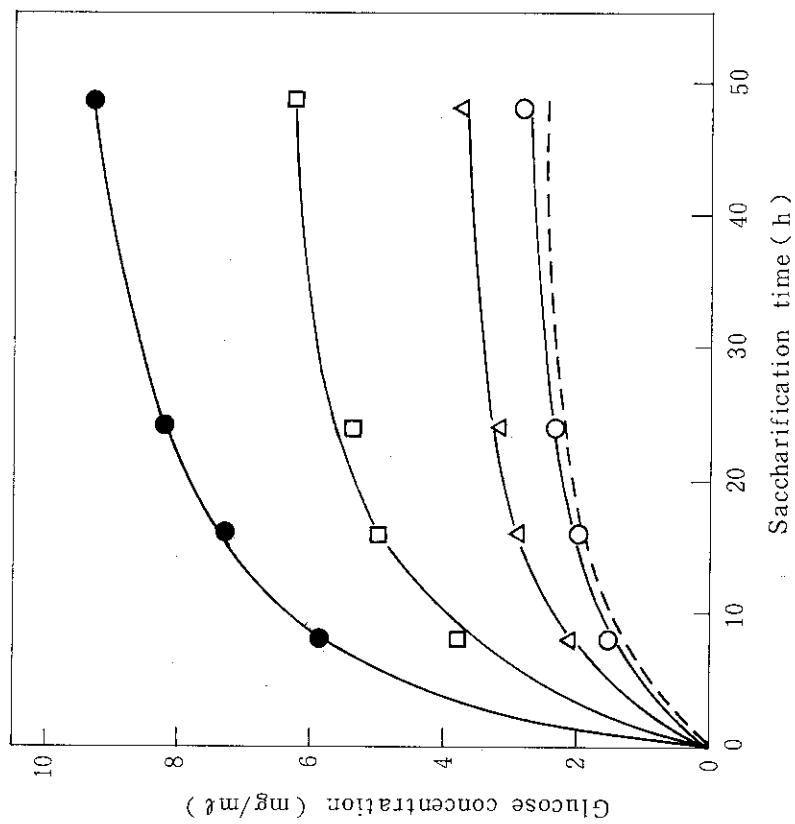


Fig. 9 Effect alkali treatment on saccharification in pulverized chaff.  
 (---), without alkali treatment; (—), with alkali treatment at alkali concentration, O, 0.5%;  $\Delta$ , 1%;  $\square$ , 2%;  $\bullet$ , 4%.

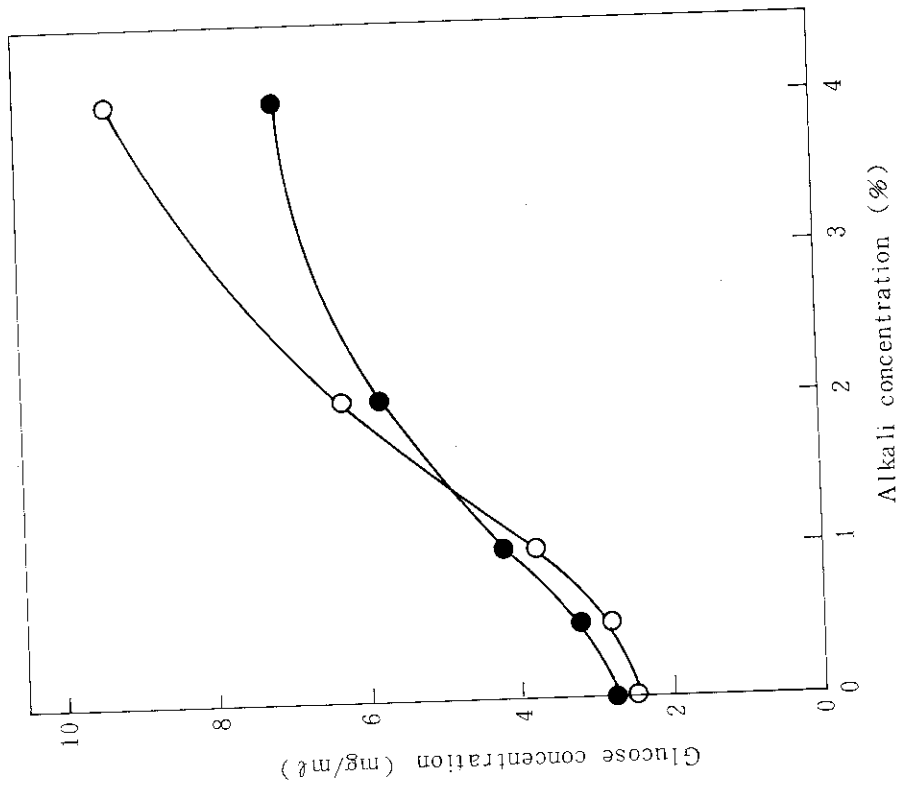


Fig. 10 Comparison between alkali treatment before pulverizing and alkali treatment after pulverizing on saccharification in chaff.

Sample : ○, alkali treatment after pulverizing

●, alkali treatment before pulverizing

Saccharification time : 48 h.

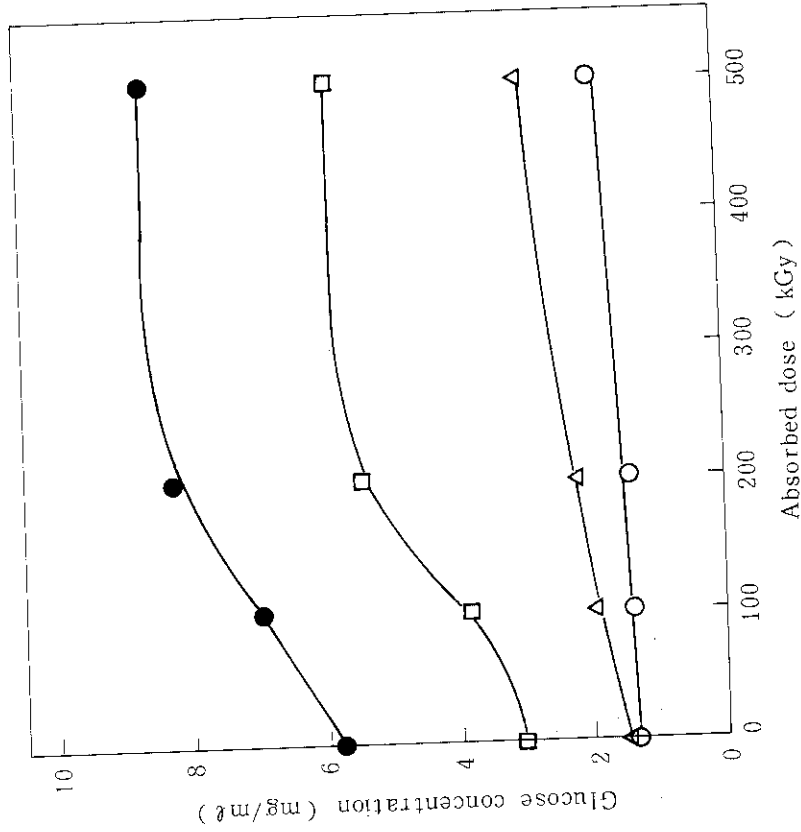


Fig. 11 Effect of absorbed dose on saccharification in alkali treated chaff.

Alkali concentration : ○, 0.5% ; △, 1% ; □, 2% ; ●, 4%.

Saccharification time : 48 h.

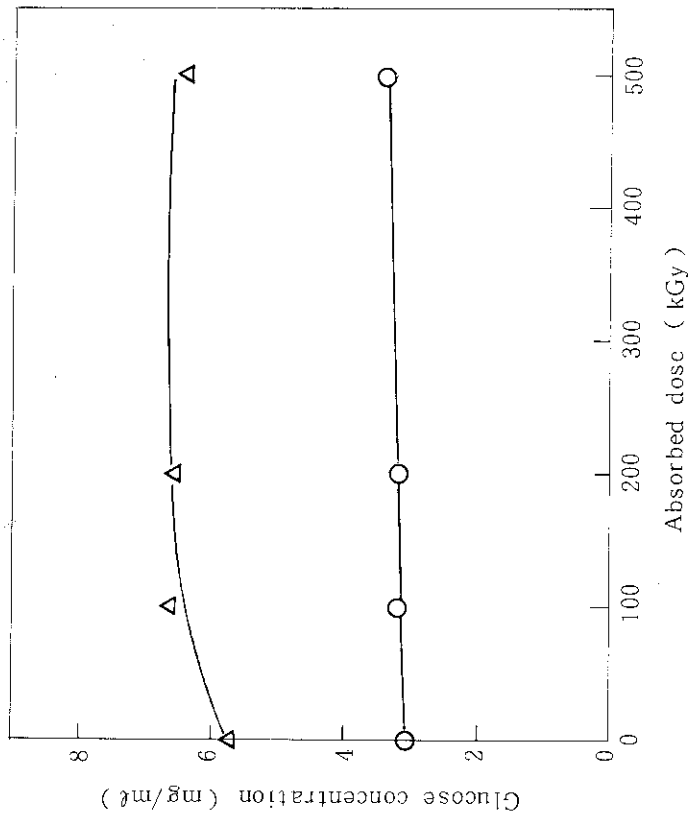


Fig. 12 Effect of absorbed dose on saccharification in alkali treated chaff.

Alkali concentration : ○, 2 % ; △, 4 %.  
 Saccharification time : 48 h.

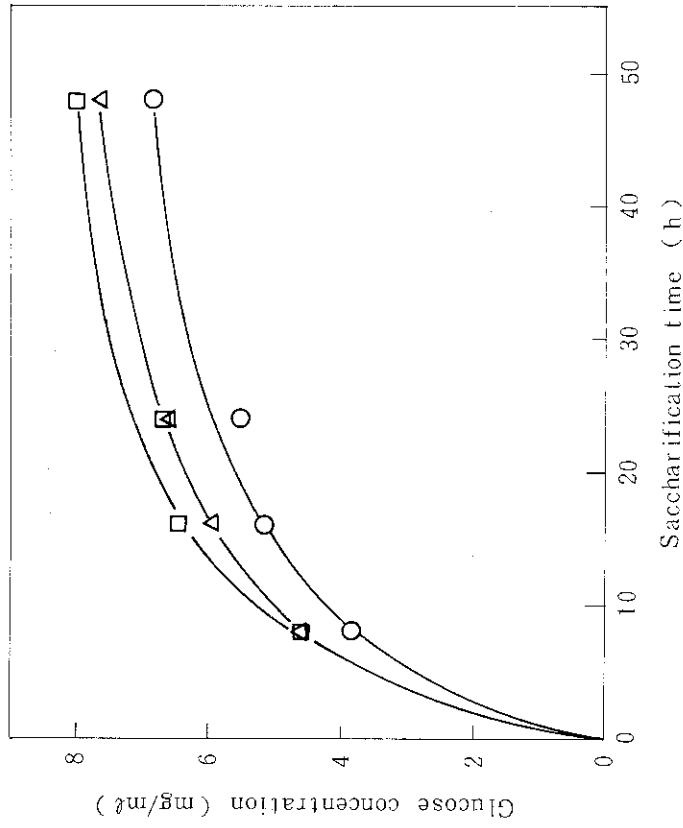


Fig. 13 Influence of heating on saccharification in alkali treated chaff.

Temperature : ○, room temp ; △, 60°C ; □, 90°C.  
 heating time : 30 min.



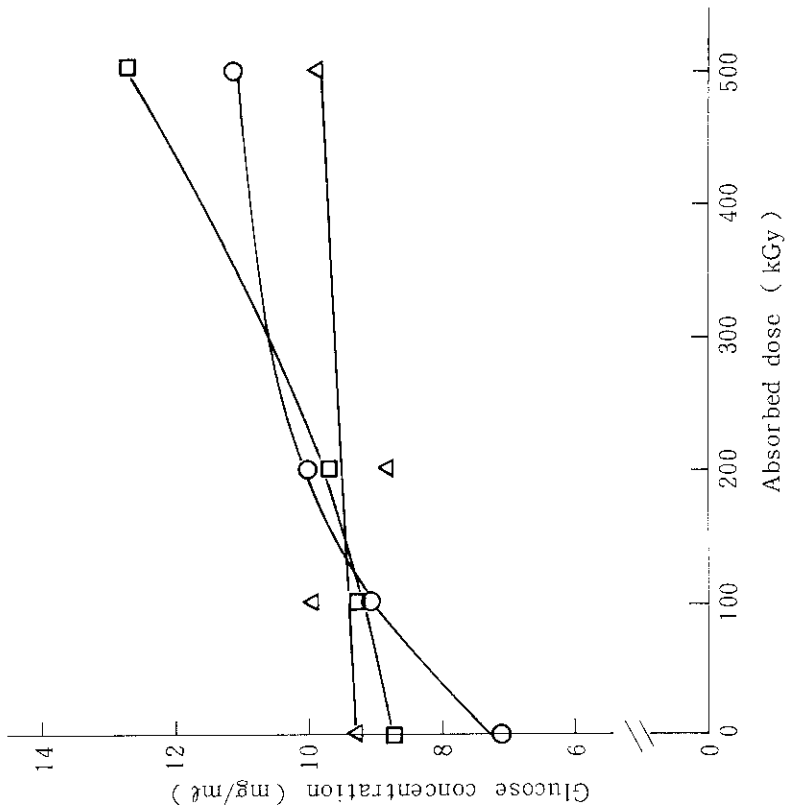


Fig. 14 Influence of pretreatment order on saccharification in chaff.

Pretreatment order

○ : alkali → irradiation → pulverizing

△ : pulverizing → alkali → irradiation

□ : irradiation → pulverizing → alkali

Saccharification time : 48 h.