

粉碎程度が稲わら含有デンプンおよび可溶性糖の抽出に及ぼす影響

誌名	農業施設
ISSN	03888517
著者	須永, 薫子 本林, 隆 平沢, 正 大川, 泰一郎 帖佐, 直 東城, 清秀
巻/号	129号
掲載ページ	p. 1-7
発行年月	2011年6月

粉碎程度が稲わら含有デンプンおよび可溶性糖の抽出に及ぼす影響^{*1}

須永薫子^{*2}・本林 隆^{*3}・平沢 正^{*3}・大川泰一郎^{*3}・帖佐 直^{*3}・東城清秀^{*3}

^{*1} 農業環境工学関連学会 2009 年合同大会にて発表

^{*2} 東京農工大学農学部, 〒183-8509 東京都府中市

^{*3} 東京農工大学大学院農学研究院, 〒183-8509 東京都府中市

要 旨

本論文では、ホールクロップ用飼料イネである水稲品種リーフスターの穂、葉身、稈及び葉鞘（茎）を用い、バイオエタノール原料としての利用性を明らかにすることを目的にイネの粉碎特性、粉碎程度と可溶性糖およびデンプンの抽出量の関係、粉碎エネルギーとデンプン抽出率の関係を検討した。穂、葉身、茎の器官別および未分離（ホール）試料について粉碎特性を検討した結果、粗粉碎、微粉碎ともに器官別試料に比べホール試料において、より小さい粒径の相対粒子量が多かった。器官別に粉碎することに比べホールで粉碎することが、微小粒子形成に効果的であると考えられた。ホール試料の粉碎程度と可溶性糖およびデンプンの抽出量を検討した。可溶性糖抽出量は粉碎方法によらず同程度であり、デンプン抽出量は粒径 50 ~ 100 μm の相対粒子量との関係が認められた。可溶性糖とデンプンの合計抽出量は粉碎程度により異なり、平均粒径が 100 μm 以下の微粉碎試料を最大抽出可能量とした場合、平均粒径が 232 μm の粗粉碎試料で約 88% の抽出率であった。可溶性糖およびデンプンの抽出エネルギー効率は粗粉碎のみを行う方法で最も高かった。

キーワード：稲わら、デンプン、糖化、粉碎、バイオエタノール

1. はじめに

今日、多様なバイオマス原料から様々な形態のエネルギーを取り出す方法が検討されており、その中でバイオエタノールは有望な液体燃料として実用化に向けた製造法の開発が進められている。一方、食糧と競合しない第二世代バイオ燃料作物を利用することが求められており、稲わらはその一つとして期待されている（五十嵐, 2008）。稲わらをバイオ燃料とする場合、前処理が必要であり様々な方法が検討されてきた（春田, 2008, 安戸, 1989）。稲わらのセルロース利用を目的にコンバージミル粉碎（竹田ら, 2009）、湿式ディスクミル粉碎（Hideno *et al.*, 2009）、水蒸気破碎（Nakamura *et al.*, 2001）、難糖化物質であるリグニン除去（Lin *et al.*, 2009）も検討された。しかし、本研究で用いたホールクロップ用飼料イネである水稲品種リーフスターは、収穫期の地上部バイオマス生産量が多く、子実部および稲わらとなる茎葉部のデンプンや可溶性糖など比較的容易に抽出できてエタノール原料として利用可能な非構造性炭水化物の蓄積量が乾物重の 50% を超え、リグニン含有量も少ない新たな品種である（Ookawa *et al.*, 2010, 須永ら, 2009）。したがって、このようなリーフスターに含有された可溶性糖やデンプンを原料とすれば、比較的安価な酵素を用いた糖化や *Saccharomyces* 等の酵母を用いた発酵などの従来技術でバイオエタノールが製造できると考えられる。そのためには、水稲茎葉部に蓄積された非構造性炭

水化物を容易に抽出できる前処理方法の検討が必要となる。

前処理として細胞よりも小さいサイズに粉碎することで細胞の構造に影響を及ぼし外部からの影響を受けやすくすることが知られている（横山ら, 2009）。また、デンプンの抽出・糖化においても粒度が影響することが報告されている（Naidu *et al.*, 2007）。しかし、稲わらはケイ素を多量に含むため粉碎の所要エネルギーが大きくなると考えられることから、実用化には稲わらからのデンプン等の抽出率が高く、かつ所要エネルギーの小さな粉碎方法を選択する必要がある。

そこで本研究では、水稲品種リーフスターについてイネの粉碎特性、粉碎程度と可溶性糖およびデンプンの抽出量の関係、粉碎エネルギー効率を検討し、バイオエタノール製造における前処理としての粉碎方法を考察した。

2. 実験材料および方法

2.1 実験材料

水稲品種リーフスターを 2008 年 5 月 22 日に移植し慣行法で栽培を行った。2008 年 11 月 12 日に採取し、地上部全体をビニールハウス内で 10 日間風乾した試料を風乾試料とし粉碎試験に供した。供試試料の平均水分は 9.5% .w.b. であった。

風乾試料は器官別に分離せず（以下、ホール試料と称する）に全量を一括処理した。ハサミで約 3cm に切断

原稿受理 2010 年 6 月 17 日

照会先：東城清秀 e-mail : tojo@cc.tuat.ac.jp

した試料を準備した（以下、R-Hと称する）。R-Hを粗粉碎機W（せん断粗粉碎機、以下粉碎機の特徴は神保（1986）を参考に表記した。）で粉碎した試料をR-HWと称した。R-HWを微粉碎機B（高速回転式衝撃粉碎機ブレンダー）で1回粉碎した試料をR-HWB1と表記し、同微粉碎機で3回粉碎した試料をR-HWB3と表記した。粗粉碎機Wおよび微粉碎機Bは少量処理用の実験用機器である。

工業用粗粉碎機C（せん断粗粉碎機、カッター固定7枚刃）で粉碎した後、工業用微粉碎機E（高速回転式衝撃粉碎機、ハンマミル、12本固定ハンマ）を用いて微粉碎を行った試料をI-CEと表記した。工業用粗粉碎機D（せん断粗粉碎機、固定4枚刃）で粗粉碎を行った後、工業用微粉碎機F（高速回転式衝撃粉碎機、ハンマミル6本非固定ハンマ）を用いて微粉碎を行った試料をI-DFと表記した。I-DFと同じ工業用粗粉碎機Dで粗粉碎後、工業用微粉碎機G（高速回転式衝撃粉碎機、ハンマミル6本固定ハンマ）で微粉碎を行った試料をI-DGと表記した。

風乾試料と同時期に採取した水稻試料を採取後ただちに穂、葉身（以下、葉と称す）、稈及び葉鞘（以下、茎と称す）の3器官に分離し、90℃で絶乾した試料を熱風乾燥試料とし成分分析に供した。熱風乾燥試料の粉碎方法はR-HWB1と同様である。デンプンおよび可溶性糖の分析には、収穫時の器官別乾物重の割合に応じて再混合した試料を供した。

2.2 粒径の分析方法および平均粒径

試料R-HW、R-HWB1およびR-HWB3はJIS Z-8801にしたがって篩分けを行い、100 μ m以上の粒子については、500 μ mおよび250 μ m目篩で篩分けを行い、100 μ m篩通過試料についてレーザー回折式粒度分布測定

表1 風乾試料の粉碎方法と平均粒子径

試料名	粗粉碎機	微粉碎機	平均粒子径 (μ m)
R-H	—	—	—
R-HW	W	—	232
R-HWB1	W	B (1回)	66
R-HWB3	W	B (3回)	51
I-CE	C	E	82
I-DF	D	F	112
I-DG	D	G	101

H：細断用ハサミ

W：実験用粗粉碎機（せん断粗粉碎機 固定6枚刃）

B：実験用微粉碎機（高速回転式衝撃粉碎機 ブレンダー）

C：工業用粗粉碎機（せん断粗粉碎機 カッター固定7枚刃）

D：工業用粗粉碎機（せん断粗粉碎機 カッター固定4枚刃）

E：工業用微粉碎機（高速回転式衝撃粉碎機 ハンマミル12本固定ハンマ）

F：工業用微粉碎機（高速回転式衝撃粉碎機 ハンマミル6本非固定ハンマ）

G：工業用微粉碎機（高速回転式衝撃粉碎機 ハンマミル6本固定ハンマ）

装置（島津、SALD-2200）を用いて粒径および相対粒子量を求めた。ここで、相対粒子量は全区間の合計を100%としたときの各々の粒子径区間に対応する割合（差分%）である。I-CE、I-DFおよびI-DGは篩い分けせずに全量をレーザー回折式粒度分布装置で測定した。平均粒径は粒径分布データをRosin-Rammler分布に当てはめて算出した（表1）。

2.3 粉碎エネルギーの計算方法

伊藤（2005）の方法を参考に、Bondの式（1）から粉碎エネルギーを求めた。供試試料については、全て同様の粉碎仕事指数（ W_i ）を有すると考え、本研究では粉碎条件による補正係数（ C_i ）を1として、粒度毎の電力原単位（ E ）と相対粒子量の積の和を算出し、R-HWの粉碎エネルギーを1とした相対値で示した。

$$E = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_i}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \cdot C_i \dots (1)$$

ここで、 W_i ：粉碎仕事指数 [kWh/t]

C_i ：粉碎条件による補正係数

P_i ：粉碎初期の粒径 [μ m]

F_{80} ：粉体の80%パス粒径 [μ m]

E ：粒度毎の電力原単位 [kWh/t]

2.4 糖およびデンプンの分析方法

デンプン、グルコース、フルクトースおよびシュークロースの定量は、96穴マイクロプレートを用いた酵素法による多試料微量分析法（Gibon *et al.*, 2004）に準拠して分析を行った。なお、この分析方法は分析試料に均質かつ微細な粒子を用いることで、微量（10mg）なスケールで同時分析を可能にすることを特徴とした方法である。しかし本研究では、粉碎試料の均質性を高め、繰り返し精度を確保するため、分析サンプル量を10倍量にて分析を行った。可溶性糖およびデンプンはグルコース当量で示した。

3. 結果および考察

3.1 イネの粉碎特性と粉碎エネルギー

3.1.1 イネの粉碎特性

イネの器官毎の粉碎特性を明らかにするため、熱風乾燥試料を器官別にR-HWB1と同様の方法で粉碎し篩分けを行った結果を図1の(a)および(b)に示した。粗粉碎時に穂は500 μ m以上の粒子が86%であった。穂軸および籾を含む穂を粗粉碎する場合、籾はせん断粗粉碎機での粉碎が困難であり、微小粒子に粉碎されずに粉碎機の網を通過したことが原因と考えられた。一方微粉碎では、葉や茎に比べ100 μ m未満の粒子が多く56%であった。これは穂の主要な構成部分である玄米部分が繊維質に比べ高速回転ハンマミルより効果的に粉碎されたためと考えられた。

葉および茎の粗粉碎では穂に比べて微小粒子が多かっ

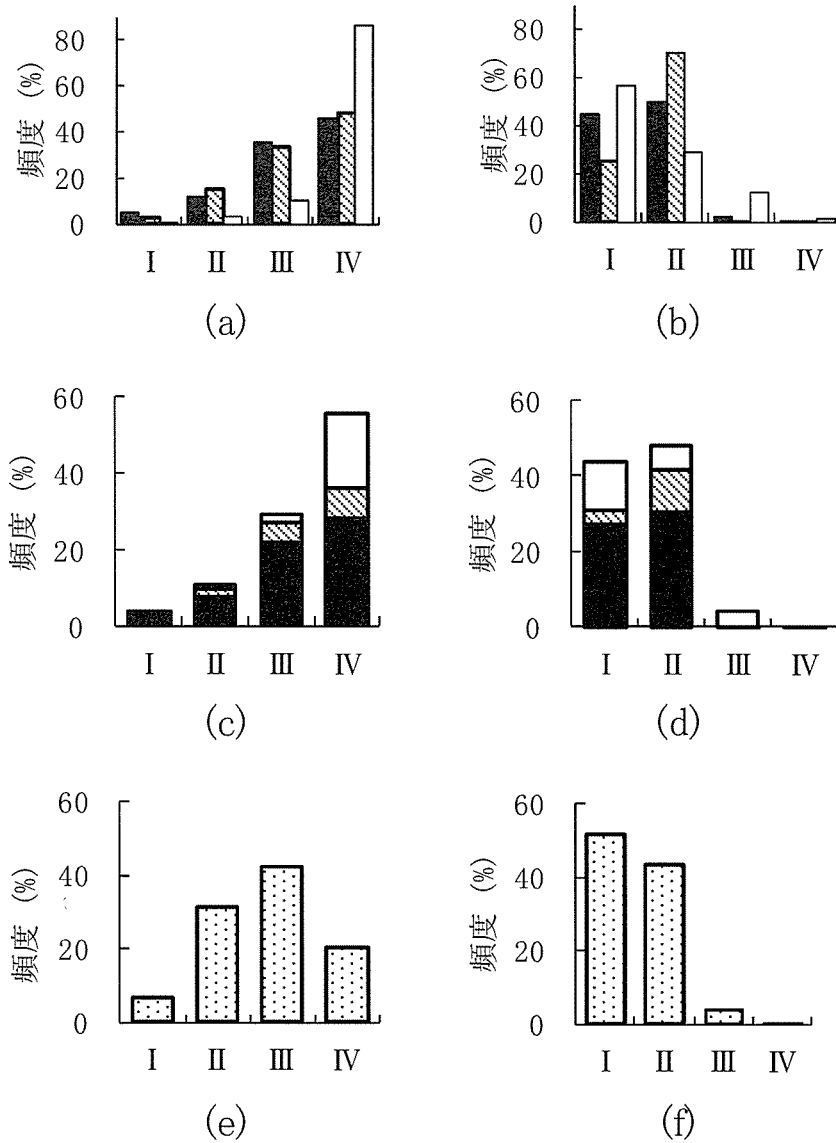


図1 ホールクropp用飼料イネの粉碎特性

(a) 器官別の粗粉碎の割合, (b) 器官別の微粉碎の割合
 (c) 粗粉碎の粒径分布, (d) 微粉碎の粒径分布
 (e) ホール試料の粗粉碎の割合, (f) ホール試料の微粉碎の割合

I : 100 μ m 未満の粒子, II : 100~250 μ m の粒子,
 III : 250~500 μ m の粒子, IV : 500 μ m 以上の粒子
 ■ 茎, ▨ 葉, □ 穂, ▤ ホール試料

た。葉および茎は微粉碎により 250 μ m 未満の粒子が増加した。特に葉に比べて、茎において 100 μ m 未満の粒子が増加していることから、繊維質の割合が多い葉に比べ、穂と同様にデンプンなど非構造化炭水化物を多く含む茎において高速回転ハンマミルが効果的に作用したと考えられた。

器官別に微粉碎した試料の形状を実体顕微鏡で観察した (図2)。穂は玄米と考えられる 50~100 μ m 程度の塊と、穂軸や籾殻と考えられる 200 μ m 程度の繊維質の粒子が観察できた。葉は短径 100 μ m 以上、長径 200 μ m 程度の繊維質の粒子が多く観察され、茎につい

ても同様であった。なお、茎では繊維質ではない粒子が多かった。これはリーフスターの茎の性質であるデンプン含有率の高い柔細胞部分 (Ookawa *et al.*, 2010) が粉碎された粒子と考えられた。

本研究で用いたリーフスターの収量は、穂 5.7t ha⁻¹、葉 4.0t ha⁻¹、茎 15.3t ha⁻¹であった。これらの割合をそれぞれの粒径区分の相対粒子量に掛け、図1の (c) および (d) に示した。粗粉碎、微粉碎ともに全ての粒径区分で茎が最も多かった。

図1の (e) および (f) に器官を分けずに粉碎したホール試料の結果を示した。粗粉碎の 500 μ m 以上の粒子は、

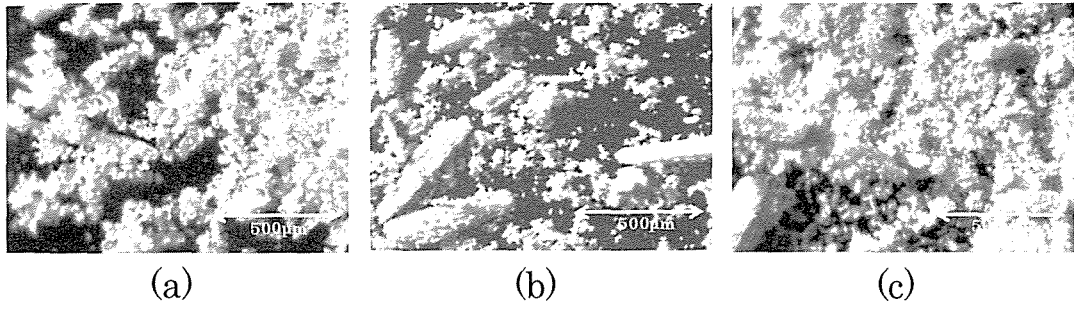


図2 器官別微粉砕試料の形状
(a)：穂, (b)：葉, (c)：茎

器官別に粗粉砕した合計で55% (c) であるのに対し、ホール試料で20% (e) と少なかった。せん断粗粉砕機を使用して器官別に粉砕する場合、初だけでは500 μ m未満の粒子径に粉砕することは困難であるが、茎や葉の繊維質とともに粉砕することで微小粒子に粉砕できると考えられた。なお、微粉砕においても器官別 (d) とホール試料 (f) で同様の傾向が認められた。器官別に粉砕することに比べホールで粉砕することが、微小粒子生成により効果的であると考えられた。

3.1.2 粉砕方法別の粉砕程度

ホール試料の粒径の割合を図3に示した。実験用機器を用いて粉砕した3試料 (R-HW, R-HWB1およびR-HWB3) を比較すると、粗粉砕のみを行ったR-HWは比較的大きな粒子である100 μ m以上の粒子が全体の94%を占めていた。これを微粉砕機Bにより1回粉砕することで100 μ m以上の粒子は50%以下になり、微粉砕を3回繰り返すことで微小粒子が増加し、100 μ m以上の粒子は40%以下になった。また、平均粒径もR-HWに比べてR-HWB1およびR-HWB3が小さかった (表1)。100 μ m未満の微小粒子について比較したところ、粒径50~100 μ mの粒子はR-HWB1に比べR-HWB3の方が少なく、50 μ m未満の粒子はR-HWB1で35%、R-HWB3では45%と増加した。このことから、微粉砕機Bの粉砕繰り返し回数を増加させることで、

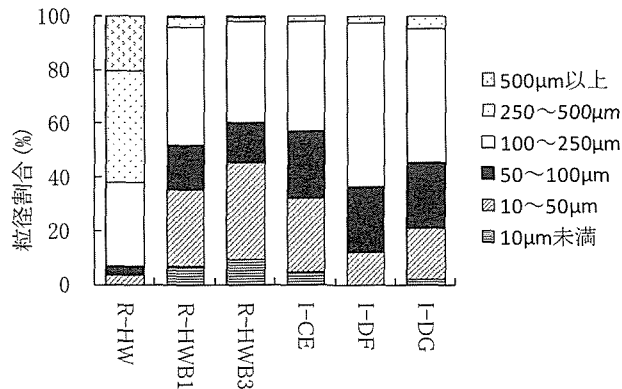


図3 ホール試料粉砕後の粒径割合

50 μ m以下の粒子が増加することが分かった。

工業用機器を使用した3試料では、500 μ m以上の大きな粒子は含まれなかった。I-CEの100 μ m以上の粒子はI-DF, I-DGに比べ少なかった。100 μ m以下の粒子ではI-CEがI-DFとI-DGに比べ多かった。平均粒径はI-CEが82 μ mであり、I-DFおよびI-DGは100 μ mを超えることから、I-DF, I-DGとは異なる粗粉砕機、微粉砕機を使用したI-CEはI-DF, I-DGに比べ微小粒子を生成する粉砕方法であると考えられた。一方、同じ粗粉砕機を使用したI-DFおよびI-DGを比較したところ、微粉砕に非固定ハンマを用いたI-DFは、平均粒径が大きく、粒径100~250 μ mの粒子が60%を超え、生成された粒子の粒径分布範囲が狭くなる傾向があった。また、微粉砕に固定式ハンマを用いたI-DGでは、粒径100~250 μ mの粒子は少ないものの、生成された粒子の粒径分布範囲が広い傾向であった。

3.1.3 粉砕エネルギーの特徴

粉砕エネルギーは式 (1) により算出し、R-HWを1とする相対値で図4に示した。粉砕エネルギーはR-HWが最も少なく、微粉砕の回数を増すことで増加した。一方、I-CE, I-DF, I-DGの粉砕エネルギーは、R-HWの1.6~2.2倍であった。粒径分布範囲が狭いI-DFの粉砕エネルギーは粒径分布範囲が広いI-DGに比べて小さかった。

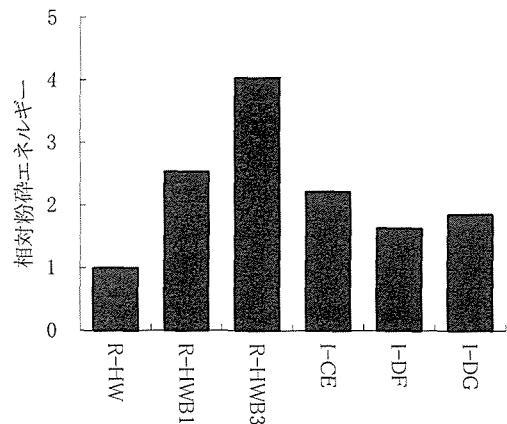


図4 粉砕エネルギー
R-HWの粉砕エネルギーを1とする
相対値を相対粉砕エネルギーとした

3.2 粉碎方法の違いによる糖およびデンプンの抽出量

3.2.1 可溶性糖の抽出量

風乾試料および熱風乾燥試料の可溶性糖抽出量を図5に示した。可溶性糖抽出量は、微粉碎を行ったR-HWB3が最大であり、風乾試料6試料中では粗粉碎のみを行ったR-HWが最小でR-HWB3の92%であった。風乾試料6試料では粗粉碎、微粉碎にかかわらず粉碎試料の可溶性糖抽出量の差は10%以内であった。風乾試料を3cm程度に細断したR-Hは、R-HWB3の57%と少なかった。これらのことから可溶性糖の抽出に及ぼす粉碎程度の影響は小さいと考えられた。

一方、熱風乾燥試料(DR-HWB1)は、R-HWB1に比べ可溶性糖抽出量は73%と少なく、他の風乾試料に比べ少なかった。一般に、熱風乾燥を行うことで酵素活性を失活させ採取後の変質を抑制できることが知られている。本研究の採取後直ちに熱風乾燥処理を行った試料に比べ風乾試料において可用性糖が高い値を示したことは、次項に述べる結果と合わせると水稻採取後にデンプンが変質したことによるものと考えられた。

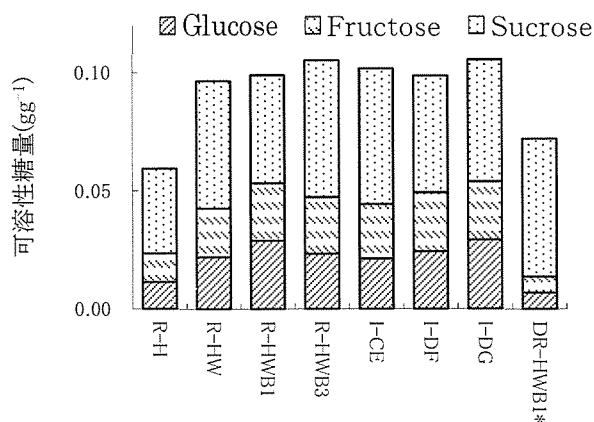


図5 可溶性糖（グルコース、フルクトース、シュクロース）の抽出量
*DR-HWB1：器官別熱風乾燥試料

3.2.2 デンプンの抽出量

風乾試料のデンプン抽出量（図6）は、R-HWB1が最大で、最小のI-DGはR-HWB1の68%であった。このことから粉碎方法および粉碎程度の違いがデンプンの抽出に及ぼす影響は大きいと考えられた。実験用粉碎機を用いたR-HW、R-HWB1およびR-HWB3について、粒径50～100 μ mの粒子の割合とデンプン抽出量の関係を図7に示した。密接な関係が見られることから、微粉碎の回数を増やし、より微小粒子の割合を増加させることはデンプン抽出量の増加に寄与すると考えられた。

茎のデンプンの集積部位は、繊維質な構造性炭水化物の内側の柔細胞中に多く分布することが知られている。微小粒子は、図2に示した茎の柔細胞や初等の断片を含み、デンプン質の露出、表面積の増加などを生じ、その結果デンプン抽出量が増加したと考えられた。

実験用機器を用いた粉碎試料と工業用機器を用いた粉碎試料ではその勾配が異なった。他の粒径の相対粒子量や平均粒子径との相関は低かったことから、実験用機器と工業用機器を用いた場合の水稲試料への影響は異なると考えられた。これらの結果から単純に粒子の大きさだけでなく、使用機器によって粉碎時の圧力や熱が粉碎された微細粒子に影響し、全体としての抽出デンプン量へ影響を与える可能性を示唆していると考えられた。

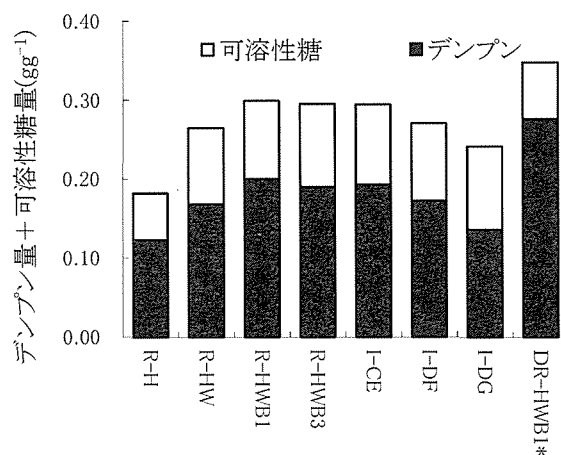


図6 可溶性糖とデンプンの抽出量

3.2.3 可溶性糖およびデンプン抽出量

可溶性糖とデンプンの合計抽出量（以下、糖・デンプン抽出量と称す）を図6に示した。糖・デンプン抽出量は、熱風乾燥試料が最も多いことが分かった。熱風乾燥試料を最大抽出量とした場合の各々の処理をしたときの糖・デンプン抽出量を比較したところ、同じ粉碎方法である風乾試料R-HWB1のデンプン抽出量は熱風乾燥試料の73%であり、糖・デンプン抽出量では熱風乾燥試料の86%であった。風乾試料で抽出量が少なかったのは試料中のデンプン含有量の差によるものであり、収穫直後の加熱処理を行わなかったことがデンプン含有量に影響を与えたものと考えられた。

風乾試料の糖・デンプン抽出量から粉碎方法を比較したところ、平均粒径が100 μ m以下であったR-HWB1とR-HWB3およびI-CEは同程度の高い抽出量であった。このことからこれらの糖・デンプン抽出量が風乾試料の最大抽出量であったといえる。乾燥処理が同じ試料について、それぞれの糖およびデンプンもしくはその合計量をその最大抽出量で除した値をここでは抽出率と称すこととする。粗粉碎のみを行ったR-HWの抽出率は76%、微粉碎したR-HWB1のそれは88%であったことから微小粒子を増加させることは、可溶性糖およびデンプンのそれぞれの抽出率を増加させることが確認された。ただし、R-HWB1とR-HWB3およびI-CEの糖・デンプン抽出率はほぼ同値であったことから、平均粒子径で80 μ mから50 μ m程度への微小粒子の増加が糖・デンプン抽出率に及ぼす効果はほとんどないことがわかった。

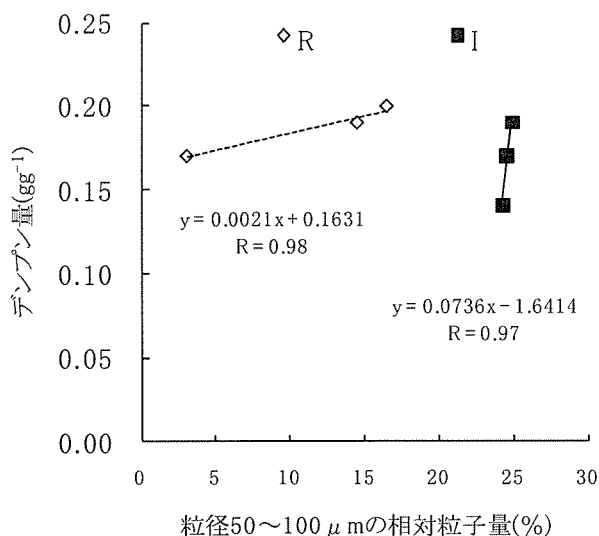


図7 50～100 μm 粒子の割合と抽出デンプン量との関係
R: R-HW, R-HWB1, R-HWB3 (実験用粉砕機)
I: I-CE, I-DF, I-DG (工業用粉砕機)

3.3 抽出エネルギー効率

本稿では、稲わらから抽出した可溶性糖、デンプンについて、それぞれの高位発熱量を単糖類（グルコース、フルクトース）：15.6MJ/kg、二糖類（シュクロース）：16.7MJ/kg、多糖類（デンプン）：17.5MJ/kg（小木，2006）として、抽出量に発熱量を掛け合わせた値を抽出エネルギーとした。抽出エネルギー効率は抽出エネルギーを前述した粉砕エネルギーで除したものとし、結果はR-HWを1とした相対値で表し、図8に示した。

粉砕エネルギーが最も少なかったR-HWが最も抽出エネルギー効率が高かった。微粉砕を行った試料ではI-DFが最も効率が高くR-HWの63%であった。粗粉砕のみを行う方法は、前述の通り最大抽出量の76%を抽出でき、さらに抽出エネルギー効率が最も高いことから、稲わらの糖化前処理として有効な粉砕方法であると考えられた。

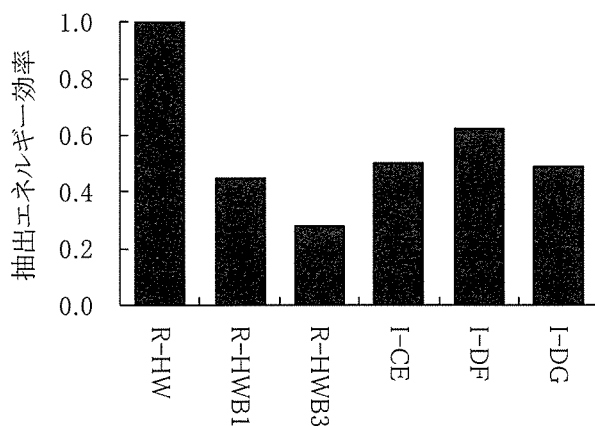


図8 デンプン及び可溶性糖の抽出エネルギー効率
抽出エネルギー効率は（デンプン＋可溶性糖）の高位発熱量を粉砕エネルギーで除して、R-HWを1とする相対値で表した

4. まとめ

ホールクロップ用飼料イネである水稻品種リーフスターは、稲わらとなる茎葉部にデンプンや可溶性糖など比較的容易に糖化が可能な非構造的炭水化物蓄積量の多いことが報告されている。糖化にはデンプン等の抽出率が高く、かつ抽出エネルギー効率の高い粉砕方法が不可欠である。本研究では、イネの粉砕特性、粉砕程度と可溶性糖およびデンプンの抽出量の関係、粉砕方法の違いによる抽出エネルギー効率を検討し、以下の知見を得た。

- 1) 穂、葉身、稈及び葉鞘（茎）の各器官および未分離（ホール）の試料について粉砕特性を検討した。器官別の粗粉砕では500 μm 以上の粒子の合計が55%程度であり、ホール試料では500 μm 以上の粒子の割合は20%前後であった。また粗粉砕、微粉砕ともに器官別試料に比べホール試料の平均粒径が小さかったことから、ホールで粉砕することがより小さい粒子の形成に有効であると考えられた。
- 2) 6通りの方法によりホール試料の粉砕程度を変え、それぞれの可溶性糖（グルコース、フルクトース、シュクロース）およびデンプンの抽出量を検討した。可溶性糖抽出量は粉砕方法によらずほぼ同程度であった。デンプン抽出量は、粉砕方法により異なり、粒径50～100 μm の粒子とデンプン抽出量に高い正の相関が認められた。微小粒子を増加させることはデンプン抽出に効果的であると考えられた。微小粒子は茎の柔細胞や初断片を含み、デンプン質の露出、表面積の増加などを生じるため、デンプン抽出量が増加したと考えられた。
- 3) 可溶性糖とデンプンの合計抽出量は粉砕程度により異なり、平均粒径が100 μm 以下の微粉砕試料を最大抽出量とした場合、平均粒径が232 μm の粗粉砕試料で76%の抽出率であった。可溶性糖およびデンプンの発熱量と粉砕エネルギーから抽出エネルギー効率を計算すると、粗粉砕のみを行う方法が最も効率が高い結果であった。

引用文献

- Gibon, Y., Blasing, O. E., Palacios-Rojas, N., Pankovic, D., Hendriks, J. H., Fisahn, J., Hohne, M., Gunther, M., Stitt, M. (2004): Adjustment of diurnal starch turnover to short days: depletion of sugar during the night leads to a temporary inhibition of carbohydrate utilization, accumulation of sugars and post-translational activation of ADP-glucose pyrophosphorylase in the following light period. *Plant Journal*, 39(6), 847-862.
- 春田 伸 (2008)：前処理・糖化・濃縮、稲わら等バイオマスからのエタノール生産，初版（五十嵐泰夫・齊木 隆監修），地域資源循環技術センター，55-70.
- Hideno, A., Inoue, H., Tsukahara, K., Fujimoto, S., Minowa, T., Inoue, S., Endo, T., Sawayama, S. (2009): Wet disk milling pretreatment without sulfuric acid for enzymatic hydrolysis of rice straw, *Bioresource Technology*, 100(10), 2706-2711.
- 五十嵐泰夫 (2008)：バイオエタノール概観，稲わら等バイオマス

- からのエタノール生産, 第1版 (五十嵐泰夫・齊木 隆監修), 地域資源循環技術センター, 1-10.
- 伊藤光弘 (2005) : 粉碎法則と粉碎能力推定, 図解 粉体機器・装置の基礎, 第1版, 工業調査会, 25-29.
- 神保元二 (1986) : 粉碎機, 粉体工学便覧, 初版 (粉体工学会編), 日刊工業新聞社, 502-513.
- Liu, J., Li, Y., Li, J., Zhang, Z., Sugiura, N. (2009): Study on Pretreating Lignocellulose with Aqueous Ammonia, *Journal of Agricultural Structure*, 40(1), 7-18.
- Naidu, K., Singh, V., Rausch, K. D., Tumbleson, M. E. and Johnston, D. B. (2007): Effects of Ground Corn Particle Size on Ethanol Yield and Thin Stillage Soluble Solids, *Cereal Chemistry*, 84(1), 6-9.
- Nakamura, Y., Sawada, T., Inoue, E. (2001): Enhanced ethanol production from enzymatically treated steam-exploded rice straw using extractive, *Journal of Chemical Technology Biotechnology*, 76(8), 879-884.
- 小木知子 (2006) : バイオマスの含有エネルギー量, バイオマスハンドブック, 第1版 (日本エネルギー学会編), オーム社, 16-19.
- Ookawa, T., Yasuda, K., Kato, H., Sakai, M., Seto, M., Sunaga, K., Motobayashi, T., Tojo, S. and Hirasawa, T. (2010): Biomass Production and Lodging Resistance in 'Leaf Star', a New Long-Culm Rice Forage Cultivar, *Plant Production Science*, 13(1), 58-66.
- 須永薫子・平沢 正・大川泰一郎 (2009) : 水稻品種リーフスターの茎葉部貯蔵炭水化物の蓄積特性, 日本作物学会第277回講演会要旨集, 246-247.
- 竹田 匠・二階堂 満・戸谷一英・小原実広・中野友貴・内宮博文 (2009) : コンバージミル (エネルギー集中型媒体ミル) によるイナワラ等の糖化効率の評価, *Journal of Applied Glycoscience*, 56(2), 71-76.
- 安戸やたか (1989) : セルロース系バイオマスからのアルコール生産, *木材学会誌*, 35(12), 1067-1072.
- 横山伸也・芋生憲司 (2009) : バイオマスの収集・運搬・前処理, バイオマスエネルギー, 森北出版, 20-36.

Effect of the Degree of Crushing on the Extraction of Soluble Sugars and Starch from Rice Straw*1

Kaoruko SUNAGA*2, Takashi MOTOBAYASHI*3, Tadashi HIRASAWA*3, Taiichiro OOKAWA*3, Tadashi CHOSA*3 and Seishu TOJO*3

*1 Presented at Joint Conference of Environmental Engineering in Agriculture 2009

*2 Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509

*3 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509

Abstract

The characteristics of crashed rice and the correlation between the effect of saccharification fermentation and the degree of crashing were investigated using the rice forage cultivar 'Leaf-Star' to establish an efficient utilization of starch in the whole crop rice for bio-ethanol. Then, the crushing energy and the energy from the crushed materials were examined. The degrees of crushing of separated organ samples, i.e., head, stem, leaf, and a mixed sample, were compared using the same crushing conditions. The small sizes of the relative particle mass of the mixed sample were larger than those of the separated organ samples. Therefore, the use of a mixed organ sample was considered to be an effective way to obtain a smaller relative particle mass size. The effect on the extracted amount of soluble sugars and starch due to differences in the degree of crushing of the samples were investigated. The extracted amount of soluble sugars was the same despite differences in the degree of crushing. There was high correlation between the extracted amount of starch and a crushed particle size of 50 - 100 μ m. The total amount of the extracted soluble sugars and starch, was affected by the difference in the degree of crushing of the material sample. If we assume the maximum extracted amount can be obtained when using particles less than 100 μ m in size, the extracted amount was 88% for a mean particle size of 232 μ m under a rough crushing condition. A comparison of the crushing energy and the energy from crushed materials indicated that rough crushing was most effective for extracting soluble sugars and starch.

Keywords: rice straw, starch, saccharification, crushing, bio-ethanol