

未利用農林産物系バイオマスの利用技術の開発

スイートコーン残さからのバイオエタノール生産

恩田 匠・長沼 孝多・小松 正和 (山梨県工業技術センター)

Development of Biomass Utilization of Agri-forestry Residues in Yamanashi Prefecture Bioethanol Production from Sweetcorn Residues

Takumi ONDA, Kohta NAGANUMA and Masakazu KOMATSU

要 約

本県産スイートコーンの残さからのバイオエタノール生産の可能性評価を目的として研究を実施した。スイートコーン残さ搾汁液の一般栄養成分分析の結果、アミノ酸を多く含み、糖類を高濃度で含有することが明らかになった。また、発酵性酵母を用いたスイートコーン残さ搾汁液からのエタノール生成試験を実施した結果、*Saccharomyces cerevisiae*によりエタノール生産が可能であることが確認された。

Abstract

The possibility of bioethanol production from extract of sweetcorn residues, produced in Yamanashi prefecture, was investigated. It was clarified that the extract of sweetcorn residues contained much amount of sugars and amino acids. As a result of ethanol production from the extract of sweetcorn residues by using yeast strains, it was found that the strains of *Saccharomyces cerevisiae* produced ethanol from sugars.

1. 緒 言

現在、地球規模で環境問題ならびにエネルギー問題の解決が求められており、平成17年2月に「京都議定書」が発行され、各国の温室効果ガスの削減目標が定められた。本県でも、平成16年4月に「山梨県環境基本条例」が施行され、県内で発生する温室効果ガスの、平成22年までに618.9万トン、10年で16%の削減を目標としている。以上のような背景の中で、バイオマスからのエネルギー生産^{1,2)}が重要な課題となっている。

本県には、スイートコーンの残さや林地残材などの未利用農林産物系のバイオマスが豊富に存在し、その有効利用が求められている。特に、スイートコーンの残さは、圃場へ鋤き込まれることが多く、これが温室効果ガスであるメタンの大量発生の原因となっていることが分かっている。

以上のような背景から、本県に存在する未利用農林産物系バイオマスからのエネルギー生産や直接燃焼によるエネルギー生産の可能性について、山梨県総合農業試験場と山梨県森林総合研究所との共同研究として、基礎的な検討を開始した。

工業技術センターでは、総合農業試験場で調製した、スイートコーン残さからのエネルギー生産の可能性評価を目的とした、糖質バイオマス原料からのエネルギーと

しては、エタノール（いわゆるバイオエタノール）¹⁻⁶⁾の生成が最も注目されていることから、まずエタノール生成の可能性について検討を実施した。

このスイートコーン残さについては、これまでに成分分析やバイオマスとしての利用について検討された例はなかったことから、本年度はまず、スイートコーン残さの搾汁液（以下、スイートコーン残さ搾汁液）の一般成分の評価と、発酵性酵母を用いたスイートコーン残さ搾汁液からのエタノール生成試験を実施した。

2. 実験方法

2-1 供試スイートコーン残さ搾汁液

山梨県総合農業試験場において試験栽培された、スイートコーン5品種：‘きみか’、‘きみひめ’、‘甘々娘’、‘みらい390’および‘キャンベラ90’の残さから搾汁液を調製して供試した。

‘きみか’、‘きみひめ’、‘甘々娘’および‘みらい390’の4品種では、実験室レベルの小規模の実験として、市販の家庭用ニンニク搾り器を用いて、それぞれ茎の節に分けて搾汁した。また、‘キャンベラ90’については、山梨県総合農業試験場内の専用搾汁機を用いて調製した搾汁液を用いた。これらの搾汁液は、保存性が悪いことから、実験に供するまで冷凍して保存した。

2-2 成分分析

ニンニク搾り器で調製した4品種のスイートコーン残さ搾汁液（‘きみか’，‘きみひめ’，‘甘々娘’，‘みらい390’）ならびに総合農業試験場の専用機で調製した‘キャンベラ90’のスイートコーン残さ搾汁液について，糖類の組成，灰分，無機塩類（カリウム，マグネシウム，カルシウム，ナトリウム，鉄，マンガン，亜鉛，銅）を調べた。糖組成は，スイートコーン残さ搾汁液をメンブランフィルタ（0.45 μ m）で濾過して，高速液体クロマトグラフィー（HITACHI社製）を用いて調べた。灰分は，食品の一般成分分析法である直接灰化法によった。また，無機塩類は，灰化物を用いて原子吸光法分析装置（SAS760，SEIKO社製）を用いて調べた。

‘キャンベラ90’のスイートコーン残さ搾汁液については，さらに水分，タンパク質および脂質を，食品の一般成分分析法である，それぞれ常圧加熱乾燥法，セミ・ミクロケルダール法およびソックスレー抽出法により分析した。さらに，アミノ酸組成を，高速アミノ酸分析機（L-8000，HITACHI社製）を用いて調べた。

2-3 供試酵母菌株と培養法

発酵性の酵母として，バイオエタノール生産に最もよく用いられている *Saccharomyces cerevisiae* と，糖蜜原料などの発酵に用いられる耐塩性の *Schizosaccharomyces pombe* ならびに耐塩性・耐糖性の *Zygosaccharomyces rouxii* を選択した。国内の菌株保存機関から，3菌株6菌

株：*Saccharomyces cerevisiae* 3菌株（JCM7255，JCM1817，JCM5710），*Schizosaccharomyces pombe* 2菌株（JJCM8262，JCM8274）および *Zygosaccharomyces rouxii* 1菌株（JCM2326）を入手して供試した。

これらの酵母菌株は，グリセロールストックを調製して，超低温フリーザ（-80℃）で凍結保存した。短期間の保存には，斜面培地を作製して用いた。また，培養には，YM培地（Difco社製）を用い，25℃で静置培養を行った。なお，エタノール生成試験などの前には，数回継代培養を繰り返し，菌体の活性を高めてから実験に供した。

2-4 発酵試験

スイートコーン残さ搾汁液（‘キャンベラ90’）は，エタノール生成試験の前に，低温殺菌処理（55℃，15分間）した。この搾汁液に，供試酵母の前培養液を1/100量接種して，25℃で静置培養した。この培養過程における，エタノールおよび糖類の含有量の推移を，高速液体クロマトグラフィー（HITACHI社製）を用いて経時的に測定した。

3. 結果

3-1 スイートコーン残さ搾汁液の成分分析

5品種のスイートコーン残さ搾汁液の糖組成およびブリックスのデータを表1に示した。また，‘キャンベラ90’のスイートコーン残さ搾汁液については，水分，タンバ

表1 スイートコーン残さ搾汁液の糖類と無機塩類濃度

試料 品種	測定部位 (節) ^{a)}	ブリックス (%)	糖類			灰分 (g/100g)	無機塩類 ^{b)}			
			スクロース (g/100g)	グルコース (g/100g)	フルクトース (g/100g)		K	Mg	Ca	Na
きみか	4-6	11.5	7.9	1.5	1.1	1.1	383	7	6	3
	4	10.8	7.6	2.0	1.2	—	—	—	—	—
	5	11.4	7.5	1.1	1.1	—	—	—	—	—
	6	12.2	8.5	1.5	1.0	—	—	—	—	—
きみひめ	4-6	9.5	5.9	1.7	1.1	0.9	381	5	4	2
	4	6.4	2.4	1.6	1.2	—	—	—	—	—
	5	11.0	5.4	2.0	1.2	—	—	—	—	—
	6	11.2	9.8	1.5	1.0	—	—	—	—	—
甘々娘	4-6	13.1	8.3	1.8	1.1	0.9	358	10	7	1
	4	12.2	6.7	1.7	1.1	—	—	—	—	—
	5	13.2	8.7	2.0	1.2	—	—	—	—	—
	6	13.8	9.6	1.8	1.1	—	—	—	—	—
みらい390	4-6	12.4	6.4	2.3	1.6	0.8	311	12	10	1
	4	11.8	5.7	2.2	1.5	—	—	—	—	—
	5	12.8	7.0	2.2	1.6	—	—	—	—	—
	6	12.7	6.5	2.4	1.8	—	—	—	—	—
キャンベラ90	全節	12.6	7.8	3.5	1.2	1.1	502	17	21	1

a) 茎の下からの4節目，5節目，6節目。4-6は4節目，5節目，6節目の平均値。

b) 無機塩類のFe, Mn, Zn, Cuは検出下限値以下。—: 分析していないことを意味する。

ク質、脂質、灰分およびアミノ酸組成を解析した結果を表2に示した。

5品種のスイートコーン残さ搾汁液のブリックスの平均値は11.8(%)であった。最も高いブリックスと糖類濃度を示したのは‘甘々娘’でありブリックス13.1(%)、最も低かった‘きみひめ’がブリックス9.5(%)であった。構成糖としては、各品種ともスクロースが主体であり、グルコースとフルクトースが含まれることを確認した。茎の節ごとに分析した結果、上方に位置する節の方がブリックス値とスクロース含量が高い傾向にあった。灰分は各品種とも約1.0(g/100g)程度含有しており、無機塩類の中ではカリウムが最も多く含まれた。

‘キャンベラ90’のスイートコーン残さ搾汁液のアミノ酸分析の結果、総アミノ酸509.0(mg/100g)であり、一般的な清酒の総アミノ酸含量⁷⁾(150~500 mg/100g)と比較して、高濃度に含まれることが明らかになった。また、中でもグルタミンおよびアスパラギン酸の含有量が多いことは、サトウキビの茎の分析例⁸⁾と一致した。

3-2 スイートコーン残さ搾汁液における酵母によるエタノール生成

スイートコーン残さ搾汁液を培養基として、発酵性酵母3菌株6菌株を用いたエタノール生産について、試験管レベルで検討した。その結果、供試した酵母の中で、*Saccharomyces cerevisiae*の3菌株が、スイートコーン残さ搾汁液中で良好に増殖することが確認された。*Zygosaccharomyces rouxii*および*Schizosaccharomyces pombe*のエタノール生成は低かった。図1に*Saccharomyces cerevisiae* JCM1817株の培養期間中のエタノール、スクロース、グルコースおよびフルクトース濃度の推移を示した。スイートコーン残さ搾汁液中のグルコースとスクロースをほぼ完全に消費して、エタノールが蓄積されることが分かった。他の2株の*Saccharomyces cerevisiae*は、JCM1718株とほぼ同様なアルコール生成を

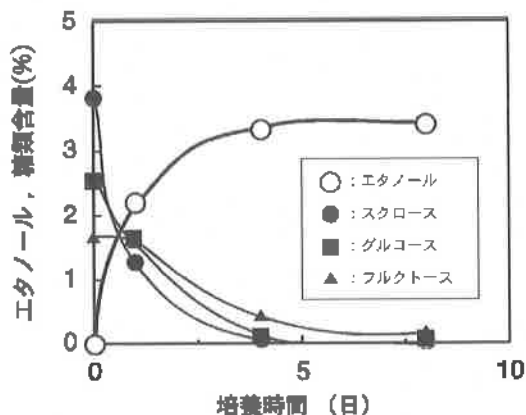


図1 スイートコーン残さ搾汁液における*Saccharomyces cerevisiae*を用いたエタノール生成試験

示した。酵母の発酵には、グリセロールなどのエタノール以外の代謝産物も生成されていることが考えられるが、今後の検討課題としたい。

表2 スイートコーン残さ‘キャンベラ90’搾汁液の成分

分析項目		
水分	(g/100g)	89.2
タンパク質	(g/100g)	1.3
脂質	(g/100g)	0.0
灰分	(g/100g)	1.1
アミノ酸	(mg/100g)	
ホスホセリン		2.2
アスパラギン酸		35.9
スレオニン		8.0
セリン		17.1
アスパラギン		50.2
グルタミン酸		8.9
グルタミン		268.0
グリシン		5.2
アラニン		13.6
シトルリン		2.5
バリン		9.2
メチオニン		4.0
イソロイシン		5.4
ロイシン		6.2
チロシン		16.6
フェニルアラニン		3.1
βアラニン		2.9
γアミノ酪酸		17.6
リジン		5.4
ヒスチジン		3.9
アンセリン		11.4
アルギニン		11.7

4. 考 察

現在、糖質原料のバイオマスとしては、サトウキビ(ケーン)が代表的なものであり、ケーンジュースはスクロース、グルコース、フルクトースを構成糖として、11~17%の糖分を含んでいる。スイートコーン残さ搾汁液の成分分析の結果から、ケーンジュースとほぼ同等の組成をもつことが分かった。発酵性酵母などの微生物の生育に必要な糖類、アミノ酸および無機塩類などの栄養成分を含み、特にスクロースとグルコースを高濃度で含有することなどが明らかになった。したがって、スイート

コーン残さ搾汁液を基質として、発酵性酵母を用いたエタノール生産が可能であることが分かった。

発酵性酵母 *Saccharomyces cerevisiae* を用いたエタノール生成試験の結果から、*Saccharomyces cerevisiae* がスイートコーン残さ搾汁液中で良好な増殖性を示し、糖類をほぼ完全に消費して、エタノールが蓄積することが分かった。このことから、基本的にスイートコーン残さ搾汁液からのバイオエタノール生産が可能であることが確認された。

5. 結 言

スイートコーン残さからのバイオエタノール生成が可能であることを明らかにした。今後は、より効率的なエタノール生成条件の検討や、経済性評価のための試験が必要であると考えられた。

参考文献

- 1) 大聖泰弘・三井物産編：バイオエタノール最前線，工業調査会（1999）
- 2) 原後雄太・泊みゆき著：バイオマス産業社会，築地書房（2002）
- 3) 湯川英明：バイオエタノールの量産技術と実用化の展望，高圧ガス，40, 28-32（2003）
- 4) 稲田雄二：バイオエタノールー世界の現状と日本の今後の取り組みー，環境研究，133, 64-72（2004）
- 5) Kunteova, L.: The potential role of bioethanol, *Int. Sugar J.*, 98, 448-452（1996）
- 6) Schormuller, M. F. and Hochberg, U. E.: New concept for the production of bioethanol from raw materials containing sugar and starch, *Int. Sugar J.*, 107, 142-146（2005）
- 7) 日本酒造組合中央会：酒造の有機化学II，清酒製造技術研修講座（第4巻），p.14，藤印刷工業（1996）
- 8) 氏原邦博・杉本明・寺島義文・福原誠司・増田亮一・杉浦誠・永田茂穂：サトウキビジュースにおける有用成分の生育時期別推移と加工時の消長，日本作物学会九州支部会報，70, 75-77（2004）