

琉球大学学術リポジトリ

[解説]Rhizopus麴による生澱粉無蒸煮アルコール発酵

メタデータ	言語: 出版者: 南方資源利用技術研究会 公開日: 2014-10-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 上田, 誠之助, 藤尾, 雄策, UEDA, Seinosuko, FUJIO, Yusaku メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016509

解説

Rhizopus 麹による生澱粉無蒸煮アルコール発酵

上田誠之助, 藤尾雄策
(九州大学農学部食糧化学工学科)*

昭和59年10月13日受理

Alcoholic Fermentation of Raw Starch without Cooking by Using *Rhizopus* Koji

Seinosuko UEDA and Yusaku FUJIO

Department of Food Science and Technology,

Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka 812.

(Received October 13, 1984)

東南アジア各国には米, キャッサバ, スイートソルガム, サゴヤシ等の澱粉を含む農作物が豊富に存在する。これらの国々では, 主食である米は別として, 生産される含澱粉資源を高度に加工し, 有効に利用しているとは必ずしもいえない。例えば, タイ王国は, 世界有数のキャッサバ生産国⁽¹⁾であるにもかかわらず, その大部分を乾燥ペレットとし, 家畜の飼料として主にヨーロッパ各国へ輸出しているのが現状である。

そこで, これら東南アジアの澱粉質資源の高度利用を計る一方法として, 発酵によってより付加価値の高いエタノールに転換する方法が考えられる。そこで, 近年実用化されつつある生澱粉無蒸煮アルコール発酵の原理と, この原理に基づいた最近の筆者らの研究^(2,3,4)から更に省エネルギーを追及した *Rhizopus* 麹による生澱粉無蒸煮アルコール発酵法の可能性について基本的な検討をした実験結果の要点について述べる。

生澱粉の酵素糖化と無蒸煮アルコール発酵

生澱粉の酵素糖化についての研究の歴史は, 現在から35年前に上田⁽⁵⁾がその現象を発見したことに始まる。すなわち, 黒麹菌と黄麹菌のアミラーゼとして麦芽アミラーゼの加熱糊化した澱粉溶液に対する糖化作用が同一となるように調整したそれぞれの

酵素液を用いて, 加熱糊化しない生澱粉に対する糖化作用を測定したところ, Fig.1. に示すよう

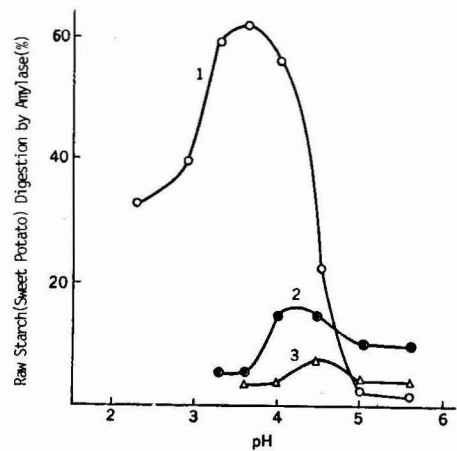


Figure 1. Raw starch (sweet potato) digestion by various amylase.

1: Amylase of black *Aspergillus*

2: Amylase of yellow *Aspergillus*

3: Malt amylase

Raw starch 1g, *Enzyme solution 20(mL)

1/10 M HCl - Citric acid buffer 20(mL)

Deionized water 120(mL)

Reaction under 30°C

*Activity of every enzyme solution was adjusted same saccharogenic activity toward steamed starch.

* 〒812 福岡県福岡市東区箱崎

に3者のアミラーゼによる生澱粉糖化作用には大きな差異があることが発見された。この事実はその後引続いて行われた糖化型アミラーゼについての研究により、グルコアミラーゼIの作用によることが明確となり、酵素の多様性の概念⁽⁶⁾を確立することとなった。そして現在では、*Aspergillus* 属、*Rhizopus* 属を起源としたグルコアミラーゼIを多量に含むグルコアミラーゼ製剤が市販されている。一般にアミラーゼは澱粉の加水分解によって生じるグルコースによってその作用が阻害⁽⁷⁾されることもよく知られている。そこで生澱粉とグルコアミラーゼの反応系に酵母を加えると、生成したグルコースが即座に酵母によってエタノールに転換されるので、反応系中のグルコース濃度は低く保たれ、その結果として、グルコースによるグルコアミラーゼの糖化反応阻害は無視小となるとともに反応液中には生産物としてエタノールが生成する。この方法が生澱粉無蒸煮アルコール発酵の原理であり、生成したエタノールの濃度に依存するであろう反応阻害を考慮しなければ、生澱粉の酵素分解反応系としては全く合理的であるとともに生澱粉を糊化するための蒸煮エネルギーが不必要となる。従来法でのエタノールの生産工程で、澱粉の蒸煮エネルギーは全必要エネルギーの20~30%⁽⁸⁾と云われていることからして、生澱粉無蒸煮アルコール発酵法が省エネルギー的と云われる所以である。しかしながら、この無蒸煮アルコール発酵法にも多量の酵素剤と酵母が必要となること、反応系が無殺菌系であるため細菌の汚染を防止しなければならない等の難点がある。これらの難点のうち、細菌の汚染防止については、*Aspergillus* 起源のグルコアミラーゼを用い、その酵素剤の至適pHが3.5であることを利用し、発酵液を低pH^(3,5)に保つ方法、*Rhizopus* 起源の酵素剤のように発酵液pHを4.5付近に保つ必要がある時はメタ重亜硫酸カリの添加による方法⁽⁹⁾などが応用されている。また、この方法で多量に必要なとされる酵素剤と酵母については、それらの価格が実用化に対する経済的な問題となって来る。

Rhizopus 属菌とアルコール発酵

ここで、*Rhizopus* 属の菌について考えてみると、この菌は昔から今日まで東南アジア各地においてアルコール飲料を含む発酵食品に利用されているとともに、*Mucor* 属の菌とともに *Amylomyces* 菌としてアミロ法、液体麴法によって澱粉質原料からのエタノール生産^(10,11,12)に用いられたことがある。すなわち、この菌は菌糸が酵母同様にアルコール発酵能をもつとともにグルコアミラーゼの生産能を持っている。アミロ法、液体麴法の場合には、澱粉質原料は蒸煮され、酵母を糖化モロミに添加して併用する方法で発達したが、*Amylomyces* 菌が液体培養で生成する糖化酵素活性が低いこと、生産工程が複雑、微妙なこと等のため現在では全く行われていない。しかしながら生澱粉無蒸煮アルコール発酵に *Rhizopus* 属菌株のみを利用した研究は少なく、最近、藤尾、上田ら^(2,3,4)によって *Rhizopus* 属菌株の固体麴を利用したキャッサバ生澱粉の無蒸煮アルコール発酵についてその特性と有用性について報告され、*Rhizopus* 属菌の小麦フスマ麴が生澱粉無蒸煮アルコール発酵におけるグルコアミラーゼ製剤と酵母に置き換えられ得る可能性が示された。以下に *Rhizopus* 属菌によるキャッサバ生澱粉無蒸煮アルコール発酵について、簡単な実験条件も含めてその詳細について述べる。

Rhizopus 属標準菌株によるフスマ麴の加水分解酵素活性

Rhizopus 属菌株としてIFOの標準株16種について試験を行なった。フスマ固体培地は小麦フスマ20g、ポテトスターチ2g、水20(mL)を500(mL)三角スラスコに入れ、よく混合してから綿栓をして、121°Cで20分オートクレープしたものを用いた。この培地に各菌株を接種し、6日間30°Cで培養した。この培養物100gに水300(mL)を加え、室温で24時間酵素を抽出した。ろ過した後、得られた清澄ろ液を酵素液として、グルコアミラーゼ、 α -アミラーゼ、キシラナーゼ、ペクチナーゼ、CMCアーゼについて酵素活性を測定した。その結果をTable 1. に示した。これらの酵素のうち、グルコアミラーゼは直接生澱粉糖化に関係するが、他の酵素は澱粉

Table 1. Enzyme formation on wheat bran koji by *Rhizopus* strains

	IFO number	a)				b)
		GAase (U/g)	α -amylase (U/g)	Xylanase (U/g)	Pectinase (U/g)	CMCase (U/g)
1 <i>R. delemar</i>	IFO 4697	1069	438	28	22	8
2 <i>R. oryzae</i>	IFO 4716	1046	427	30	11	6
3 <i>R. delemar</i>	IFO 4726	898	270	36	15	8
4 <i>R. delemar</i>	IFO 4730	-	-	-	-	-
5 <i>R. oryzae</i>	IFO 4734	488	131	24	5	5
6 <i>R. delemar</i>	IFO 4754	1099	282	16	3	9
7 <i>R. japonicus</i>	IFO 4758	-	-	-	-	-
8 <i>R. oryzae</i>	IFO 4766	-	-	-	-	-
9 <i>R. delemar</i>	IFO 4773	1077	284	29	9	10
10 <i>R. delemar</i>	IFO 4801	974	270	28	9	9
11 <i>R. japonicus</i>	IFO 5318	736	231	29	1	8
12 <i>R. japonicus</i>	IFO 5319	847	185	40	4	9
13 <i>R. oryzae</i>	IFO 5438	671	140	30	14	13
14 <i>R. oryzae</i>	IFO 5440	-	-	-	-	-
15 <i>R. javanicus</i>	IFO 5441	847	185	40	3	10
16 <i>R. javanicus</i>	IFO 5442	1020	287	32	10	6

- : Little or no formation on wheat bran koji

a) GAase : Glucoamylase

b) CMCase : (CMC; Carbomethylcellulose)

質のマセレーションに関係するもので結果として生澱粉糖化を助長する役割を果たすので活性が強い程よい。Table 1 から、約半数の菌株がかなり強力なグルコアミラーゼ活性を示しており、生澱粉無蒸煮アルコール発酵には充分であるが、 α -アミラーゼ以外のマセレーション酵素の活性は低い。もし生芋等を原料とした場合には、この麹にマセレーション酵素製剤を添加する必要があると思われる。この点は上田らの報告⁽¹³⁾にある Black *Aspergillus* の麹と異なっている。いづれにしても、キャッサバ生澱粉の無蒸煮アルコール発酵には充分使用出来るものと考えられる。

Rhizopus 標準菌株の麹によるキャッサバ生澱粉無蒸煮アルコール発酵試験

各 *Rhizopus* 菌株の小麦フスマ麹10 g, タイ王国原産のキャッサバ生澱粉, 又はキャッサバペレット, 20

~40 g, 汚染防止剤としてのメタ重亜硫酸カリ0.05 g, 水道水100(mL)を300(mL)三角フラスコに入れ、これにガスロックを取付けて35°Cの恒温水槽中でゆっくりと振とうしながらアルコール発酵試験を行った。発酵によって発生する炭酸ガスの放出による各フラスコの重量減少量を1日毎に10日間にわたって測定するとともに、10日目の発酵液は全量を蒸留してエタノール生成量⁽¹⁴⁾を測定した。その結果をTable 2 に示した。このTable 2において、試験菌16株のうちで7菌株が14% (v/v) 以上の高いエタノール濃度を示し、この方法が有望であることが認められる。酵素活性の高い麹が高いエタノール濃度を示す傾向にあり、IFO 番号で4697, 4726, 4754, 4773, 4801の *Rhizopus delemar* に属する5菌株と5441, 5442, の *Rhizopus javanicus* に属する2菌株が良好な結果を示している。これらの菌株のうち、*Rhizopus javanicus* IFO 5441

Table 2. Ethanol formation from raw cassava starch without cooking

	IFO number	CO ₂ evolved (g/flask)	Ethanol (v/v %)	Acidity (ml)	
1	<i>R. delemar</i>	IFO 4697	11.1	15.8	7.0
2	<i>R. oryzae</i>	IFO 4716	12.3	14.7	8.2
3	<i>R. delemar</i>	IFO 4726	12.5	15.9	6.8
4	<i>R. delemar</i>	IFO 4730	—	—	—
5	<i>R. oryzae</i>	IFO 4734	10.2	12.4	7.1
6	<i>R. delemar</i>	IFO 4754	11.7	15.3	6.2
7	<i>R. japonicus</i>	IFO 4758	—	—	—
8	<i>R. oryzae</i>	IFO 4766	—	—	—
9	<i>R. delemar</i>	IFO 4773	12.0	14.7	16.5
10	<i>R. delemar</i>	IFO 4801	11.9	15.5	7.1
11	<i>R. japonicus</i>	IFO 5318	7.2	9.0	12.0
12	<i>R. japonicus</i>	IFO 5319	9.3	11.7	8.8
13	<i>R. oryzae</i>	IFO 5438	8.2	10.4	8.7
14	<i>R. oryzae</i>	IFO 5440	—	—	—
15	<i>R. javanicus</i>	IFO 5441	11.8	15.2	8.0
16	<i>R. javanicus</i>	IFO 5442	10.9	14.0	6.9

— : Little or no growth on wheat bran koji

と 5442 に加えて, 新たに堆肥より分離した *Rhizopus* sp. の 3 菌株を用いて 12 日間をわたって行った発酵試験の結果⁽²⁾を Table 3, 4 に示した。

Table 3 には *Rhizopus* sp. について生澱粉量を 20g から 40g まで変えた場合と *Rhizopus javanicus* IFO 5441 と 5442 について生澱粉量を 40g とし

Table 3. Alcohol (EtOH) formation and yield from raw cassava starch without cooking by the *Rhizopus* koji

	6 (days)		12 (days)		12 (days)		Yield
	Starch / Glucose	CO ₂ / EtOH	CO ₂ / EtOH	Obs. EtOH / Theor.	Obs. EtOH / Theor.	Yield	
<i>Rh.</i> sp.	20 (g) / 18.5 (g)	7.6 (g) / 10.0 (ml)	7.8 (g) / 10.3 (ml)	8.9 (ml) / 11.9 (ml)	74.8 (%)		
<i>Rh.</i> sp.	30 / 27.8	10.2 / 13.4	12.1 / 15.9	15.3 / 17.9	85.5		
<i>Rh.</i> sp.	40 / 37.1	11.9 / 15.7	14.4 / 19.0	17.8 / 23.9	74.5		
<i>Rh.</i> 5441	40 / 37.1	13.4 / 17.6	13.9 / 18.3	17.3 / 23.9	72.4		
<i>Rh.</i> 5442	40 / 37.1	11.4 / 15.0	13.3 / 17.5	16.9 / 23.9	70.7		

Starch : Cassava starch as it is.
 Glucose : Amount of glucose in cassava starch used.
 CO₂ : Weight decrease by CO₂ gas formation.
 EtOH : Converted EtOH by volume at 15°C based on CO₂ decrease
 Obs. EtOH : Observed EtOH by volume at 15°C by final distillation.
 Theor. : Theoretical EtOH by volume at 15°C based on glucose.
 Yield : Percentage of Obs. EtOH to theoretical value

Table 4. Alcohol (EtOH) formation from raw cassava pellet without cooking by the *Rhizopus* koji

	6 (days)		8 (days)		8 (days)		Yield
	Starch / Glucose	CO ₂ / EtOH	CO ₂ / EtOH	CO ₂ / EtOH	Obs. EtOH / Theor	Obs. EtOH / Theor	
<i>Rh. sp.</i>	20 (g) / 14.4 (g)	5.2 (g) / 6.8 (ml)	5.2 (g) / 6.9 (ml)	5.2 (g) / 6.9 (ml)	6.3 (ml) / 9.3 (ml)	6.3 (ml) / 9.3 (ml)	68.0 (%)
<i>Rh. sp.</i>	30 / 21.6	8.2 / 10.8	8.5 / 11.2	8.5 / 11.2	10.8 / 13.9	10.8 / 13.9	77.7
<i>Rh. sp.</i>	40 / 28.8	10.1 / 13.3	11.1 / 14.6	11.1 / 14.6	13.7 / 18.5	13.7 / 18.5	74.1
<i>Rh. 5441</i>	40 / 28.8	7.7 / 13.3	7.7 / 10.3	7.7 / 10.3	8.6 / 18.5	8.6 / 18.5	46.5
<i>Rh. 5442</i>	40 / 28.8	10.5 / 13.8	11.2 / 14.7	11.2 / 14.7	13.0 / 18.5	13.0 / 18.5	70.3
<i>Rh. sp.</i> ⁽¹⁾	30 / 21.6	10.0 / 13.2	-	-	12.3 / 13.9	12.3 / 13.9	88.5

(1) 0.1 (g) of cellulose was added to initial broth.

Starch : Cassava pellet
 Glucose : Amount of glucose in pellet used.
 CO₂ : Weight decrease by CO₂ gas formation.
 EtOH : Converted value based on CO₂ decrease.
 Obs. EtOH : Observed EtOH by volume at 15°C by final distillation.
 Theor. : Theoretical EtOH by volume at 15°C based on glucose.
 Yield : Percentage of Obs. EtOH to theoretical value.

た場合のエタノール生成と12日目の収率を示してある。この結果からすると、エタノール生成量は初期澱粉量が40gと過剰に存在する場合、17(mL)以上もの値となり、ほぼ発酵液中で生成可能な最大濃度に到達したものと思われる。すなわち、この最終エタノール濃度では使用した *Rhizopus* 菌株のエタノール耐性は限界であろうと考えられる。Table 4 には回分発酵での平均発酵速度を他の場合と比較するために、パン酵母-グルコース系、パン酵母-生澱粉-グルコアミラーゼ系、液体培養 *Rhizopus* 菌体-グルコース系、液体培養 *Rhizopus* 菌体-生澱粉-グルコアミラーゼ系と *Rhizopus* 麹-生澱粉(又はキャッサバペレット)系による各方法の1日あたり、使用菌体または麹の単位乾物量あたりの発生炭酸ガス量を示してある。この結果からすると、*Rhizopus* 麹による生澱粉無蒸煮アルコール発酵の発酵速度はパン酵母-グルコース系の約26分の1であり、非常に小さい。しかし、この値は酵母1gと *Rhizopus* 麹1gとの比較であり、菌体量が大きく異なることから真の意味で発酵速度を比較したわけではない。発酵系全体としての発酵速度はこの場合約3分の1であり、同様に酵母-生澱粉-グルコアミラー

ゼ系との比較では約2分の1である。

Rhizopus javanicus IFO 5442の生澱粉無蒸煮アルコール発酵

これまででは、三角フラスコを用いたごく小規模の基礎実験結果について *Rhizopus* 麹法の可能性について検討したものであったが、より正確で定量的な関係を求めるためにガス通気によって攪拌を行なう型式の塔型発酵槽を使用して、2.3~7(L)の発酵試験⁽³⁾を行なった。このスケールアップした発酵試験に用いた塔型発酵槽の略図を Fig. 2 に示した。 *Rhizopus javanicus* IFO 5442 で作った麹を使用し、初期発酵液組成の割合はフラスコ実験の場合とほぼ同一とし、初期発酵液量は2.3, 5.0, 7.5(L)である。まず、パン酵母-グルコース系、パン酵母-生澱粉-グルコアミラーゼ系、*Rhizopus* 麹-生澱粉系の比較発酵試験を初期発酵液量を約2.3(L)として行なった結果を Fig. 3 に示した。発酵可能な糖量がそれぞれ異なるので、最終的に生成したエタノール濃度は異なっている。Fig. 3 からわかるように、*Rhizopus* 麹-生澱粉系の発酵時間は最も長く酵母-グルコース系の約3倍を必要とする。しかし、この

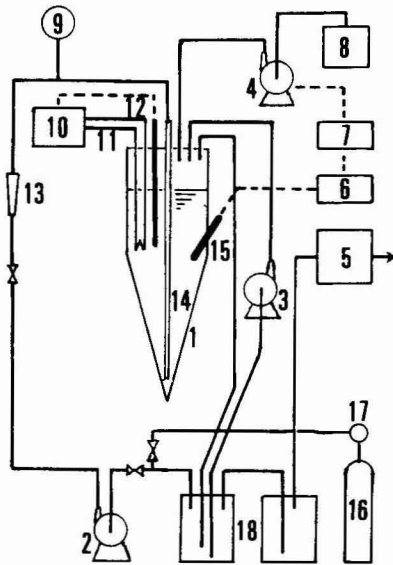


Figure 2. Schematic diagram of experimental apparatus

- 1. Fermentor
- 2. Gas circulation pump
- 3. Recycle pump
- 4. Pump for alkali add
- 5. Volumetric gas flow meter
- 6. pH meter
- 7. pH controller
- 8. Alkali reservoir
- 9. pressure gauge
- 10. Temperature controller
- 11. Heater
- 12. Thermometer
- 13. Flow meter
- 14. Nozzle
- 15. pH electrode
- 16. CO₂ cylinder
- 17. Pressure regulator
- 18. Buffer tank

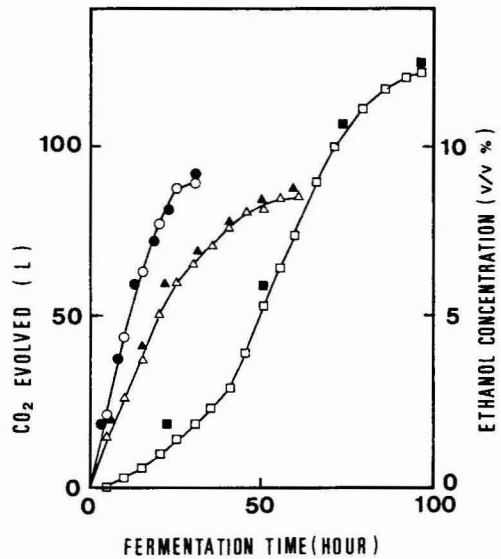


Figure 3. Change in ethanol concentration in broth and cumulative amount of carbon dioxide generated from broth for run 1, 4 and 5

Run 1 : ○ CO₂, ● Ethanol : Glucose-yeast system, 2. 1 (L) broth

Run 2 : △ CO₂, ▲ Ethanol : Raw starch-glucoamylase-yeast system, 2. 3 (L) broth

Run 3 : □ CO₂, ■ Ethanol : Raw starch-koji system, 2. 3 (L) broth

Fermentation was taken place at 35°C, and pH 4. 5 until carbon dioxide gas generaion from broth ceased.

Rhizopus 麴-生澱粉系の発酵は約4日で終了しており、この期間はフラスコ試験の場合の半分以下である。この理由は恐らく攪拌状態の相違によるものであろう。各々の系について、発酵速度を知るために炭酸ガス発生速度を Fig. 4 に示してあるが、*Rhizopus* 麴-生澱粉系の特徴は初期には炭酸ガス発生速度が小さく次第に増加して最大値に到達した後、減少して行くことであろう。このことは、恐らく *Rhizopus* 菌のアルコール発酵系が周囲環境に適応して誘導されることを物語っている。続いて *Rhizopus* 菌-生澱粉系で 5(L), 7. 5(L)の初期発酵液で試験を行った場合の炭酸ガス発生速度を前述の 2. 3(L)の場合も加えて Fig. 5

に示した。これら値は発酵液単位容積当たりで示してあるが、炭酸ガス発生速度は発酵槽内の発酵液容積には関係なく一定であることがわかる。このことは、更に大型装置へのスケールアップに際して、この試験結果がそのまま利用出来ることを示すものであろう。

回分発酵ではあるが、平均エタノール生産速度は、比較の基準としたパン酵母-グルコース系で平均で 3.0(g /L-hr), 最大で 4. 1 (g /L-hr), *Rhizopus* 麴-生澱粉系ではいずれの発酵液容積の場合も平均で 1. 1(g /L-hr), 最大で 2. 3 (g /L-hr), で、発酵液の最終エタノール濃度は 13~14% (v/v)である。この場合の生澱粉のエタノール

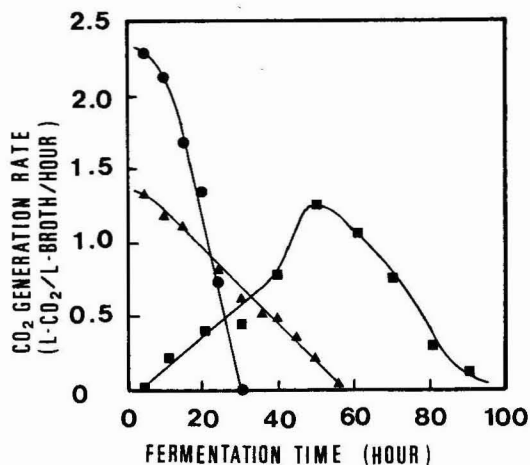


Figure 4. Carbon dioxide generation rate profiles in three systems

● : Glucose-yeast system, 2.1(L) of broth
 ▲ : Raw starch-glucoamylase-yeast system, 2.3(L) of broth
 ■ : Raw starch-*Rhizopus* koji system, 2.3(L) of broth

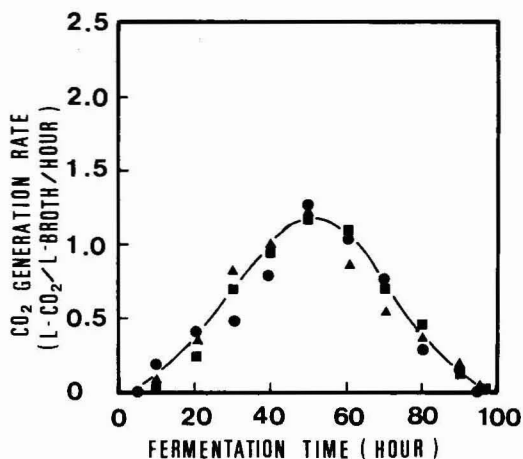


Figure 5. Carbon dioxide generation rate by raw starch-*Rhizopus* koji system

● : 2.3(L) of broth volume
 ▲ : 5.0(L) of broth volume
 ■ : 7.5(L) of broth volume

への転換率は、使用したキャッサバ生澱粉の澱粉価を基準として78~84%である。この転換率は、更に発酵時間を長くするか、初期生澱粉添加量を減ずるかすると、もっと改善される可能性がある。いずれにしても、エタノールの生産速度を高めることと、生澱粉のエタノール転換率を高めることは相反する関係にあり、生産装置の固定費、原料価格や発酵液からのエタノールの分離工程をも含めた経済原理に基づいて、両者の合理的な値を選択すべきであろう。

Rhizopus 麹による生澱粉無蒸煮アルコール発酵の問題点と可能性

接合菌類に属する *Rhizopus* 属, *Mucor* 属の菌株については、その生活環と形態についてはこれまでに明らかにされている。またこの菌の利用面については、古くはアミロ菌、液体麹菌として、つづいて *Rhizopus* 菌についてはグルコアミラーゼ生産菌としての研究がなされてきた。しかしながら、この属の中での種の区別を判断する基準、手法などについては、この分類を専門とする者以外で、この種の菌を利用するだけの者にとって

は、新しく有用な菌を分離した場合、種名までたどりつくとは到底思えない。このように発酵生産に使用する菌としては菌学上の不明点も多く、参考文献も少ないと云う難点もあるが、東南アジアでは古くからシナ麹として紹興酒醸造、テンペイ、オンチョムなどの発酵食品生産に使用されており、標準菌株の使用に際しては、余り安全性を考慮する必要はないものと考えられる。

Rhizopus 属菌株はグルコアミラーゼ生産菌として知られているが、液体培養では、わずかのグルコアミラーゼしか生産せず、実用にならない。したがって、グルコアミラーゼ生産のためには麹培養法を適用せざるを得ない。この点が *Rhizopus* 用いた生澱粉無蒸煮アルコール発酵法の難点の一つであろう。そして、生澱粉無蒸煮アルコール発酵法は、同時に無殺菌発酵系でもあるので、3~5%程度のエタノールが出来るだけ早く発酵液中に生成するのが望まれるにもかかわらず、*Rhizopus* 菌の場合は初期発酵速度が遅いと云う難点もある。タイ王国原産のキャッサバ澱粉の場合、好气的条件下で雑菌を分離してみると、一見真白で清潔そうに見える澱粉も、桿菌を主として1g当り百

万個の桁で雑菌が検出される。このことからしても、この種の発酵を実用規模までスケールアップする場合には、雑菌汚染を以何に防止するかが最大の課題となるであろう。このように、解決すべき点も多々あるが、東南アジアでこの方法を適用してエタノールを生産することを想定した場合、先ず現地には小麦フスマそのものが無いので、これに代る適当な個体基質を探さねばならない。この難点を解決することが出来れば、蒸煮エネルギーが省略出来ることに加えて、グルコアミラーゼ製剤と酵母を購入する必要がないのでより経済的なエタノール生産に役立つことが考えられる。

ここで解説した *Rhizopus* 麹を用いた生澱粉無蒸煮アルコール発酵は、現在の時点では、基礎研究の段階でデータの蓄積も少なく、雑菌汚染防止などの多くの問題も残っているが、澱粉質原料を利用した無蒸煮、無殺菌系の新しい発酵法として将来の可能性に期待したい。

参考文献

- (1) 石川不二夫：アルコール発酵の問題点と展望，発酵と工業，**41**，918（1983）
- (2) Izue Yamazaki, Seinosuke Ueda, Sinsaku Hayashida : A Microscopic Study on the Inner Structure of Starch Granules, Bull. Agr. Chem. Soc. Japan, **19**, 48 (1955)
- (3) 藤尾雄策, 緒方正文, 上田誠之助：通気攪拌装置による生澱粉のエタノール発酵, 昭和59年度日本農芸化学会大会講演要旨集, p.588, 東京(1983)
- (4) Yusaku Fujio, Puangpen Suyanadon, Poonsook Attasampunna, Seinosuke Ueda : Alcoholic Fermentation of Raw Cassava Starch by *Rhizopus koji* without Cooking, Biotechnol, Bioeng., **26**, 315 (1984)
- (5) Yusaku Fujio, Masafumi Ogata, Seinosuke Ueda : Ethanol Fermentation of Raw Cassava Starch with *Rhizopus Koji* in a Gas Circulation Type Fermentor, Biotechnol. Bioeng., in press (1985)
- (6) Seinosuke Ueda : Studies on the Amyolytic Systems of the Black Koji Molds, Part V , Bull. Agr. Chem. Soc. Japan, **21**, 379 (1957)
- (7) 上田誠之助：アミラーゼによる生澱粉分解，澱粉科学，**22**，114（1975）
- (8) 上田誠之助：アルコール発酵における省エネルギー的諸問題，化学工学，**45**，297（1981）
- (9) Hiroshi Matsuoka, Yojiro Koba, Seinosuke Ueda : Alcoholic Fermentation of Sweet Potato without Cooking, J. Ferment. Technol., **60**, 599 (1982)
- (10) 牟田邦基, 田中勝利：アミロ法に関する研究（第3報），農化，**12**，129（1935）
- (11) 中沢亮治, 中野政弘, 小林喜三郎：甘藷生芋よりアルコールの製造，農化，**13**，815（1936）
- (12) 武田義人, 高松 旦：アミロ法用強力糖化菌，農化，**23**，815（1946）
- (13) Seinosuke Ueda, Celia T. Zenin, Domingos A. Monteriro, Yong K. Park : Production of Ethanol from Raw Cassava Starch by a Nonconventional Fermentation Method, Biotechnol. Bioeng., **23**, 291 (1981)
- (14) アルコールハンドブック，本田紀元編，発酵工業協会，p.128（1978）