

# サトウキビ酢の発酵経過について

鵜木隆文\*，瀬戸口眞治\*，亀澤浩幸\*，下野かおり\*

## Study on Fermentation Passage of Sugarcane Vinegar

Takafumi UNOKI, Shinji SETOGUCHI, Hiroyuki KAMESAWA and Kaori SHIMONO

鹿児島県の奄美・種子島地域で醸造されているサトウキビ酢について、品質管理上で重要な醸造工程中の一般成分や微生物叢の変化を調べた。醸造初期に乳酸発酵が先行して腐造を防止し、並行してアルコール発酵が起こる。続いて酢酸発酵へ移行する発酵経過となった。品質管理上で重要な点は、微生物を添加しない静置発酵法でサトウキビ酢を醸造させるには、発酵タンクなどに醸造微生物が十分に棲息している環境が整わなければ、発酵が進まないと示唆された。また初発糖度（Brix）の調整を管理することが、酢酸発酵へ順調に移行するのに重要である。

**Keyword**：サトウキビ酢，乳酸発酵，アルコール発酵，酢酸発酵，糖度（Brix）

### 1. 緒言

鹿児島県内には、麹以外の微生物の添加を行わない伝統的な壺造りによる福山地方の米黒酢があり、その健康機能性が注目されて需要が伸びている。福山米黒酢の発酵経過に関する研究<sup>1)~4)</sup>は、当センター及び大学や企業等で詳細に研究されている。しかしながら、鹿児島県の奄美・種子島地域で醸造されているサトウキビ酢については、発酵経過に関する詳細な研究が行われていない。

奄美・種子島地域のサトウキビ酢は、地域の基幹作物であるサトウキビを搾汁して、微生物の添加を行わない静置発酵法で醸造されている。最近の研究<sup>5)~7)</sup>によって、サトウキビ酢の健康機能性としてラジカル消去能が強いことや、がん細胞の増殖抑制作用があることが解明されており、健康食品として注目されている。2002年5月末現在、奄美・種子島地域でサトウキビ酢を醸造している企業は休止中も含めて6社（内、3社は共同瓶詰め体制）だけであった。しかし、ここ数年、健康食品として注目されて以来、サトウキビ酢を新規に醸造したいと計画する数社の企業から、当センターへ技術相談する事例が増えてきた。今回、サトウキビ酢の醸造に関して技術指導する際、醸造工程中に腐造するなど品質管理上で発酵経過を把握する必要性があったことから、醸造工程中の一般成分の変化や微生物叢の変化を調べたので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

小仕込み試験では、種子島、奄美大島、与論島で収穫したサトウキビを搾汁して小仕込み試験に用いた。また大島郡喜界町のサトウキビ酢工場の協力を得て、発酵途中のモ

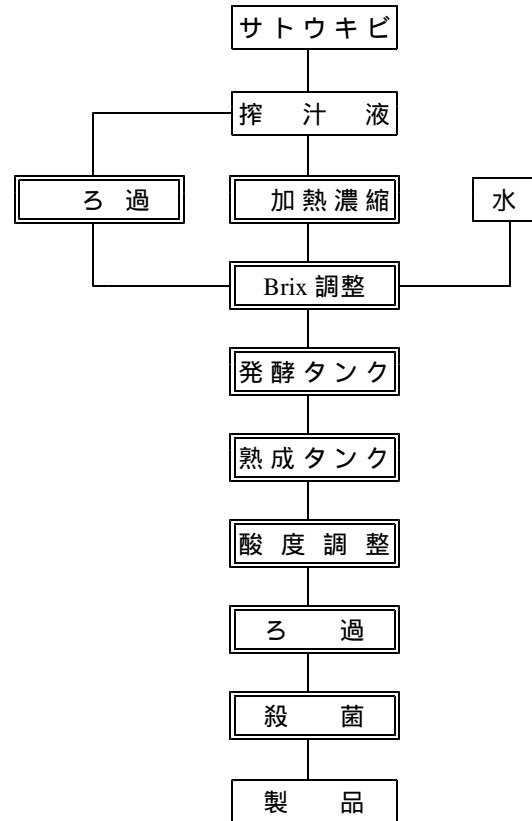


図1 サトウキビ酢の醸造方法

ロミを採取し分析に供した。

#### 2.2 サトウキビ酢の醸造方法

サトウキビ酢を醸造している大島郡喜界町と瀬戸内町の工場において、サトウキビ酢の醸造方法を調査した。醸造方法の概略を図1に示す。

毎年2月末～5月初めに収穫されたサトウキビを農家から買い取り、新鮮なうちに搾汁機にかける。次にサトウキビ搾汁液は、工場によって異なる処理を行う。その処理方

\*食品工業部

法とは、生の搾汁液を未加熱で利用する方法と、黒糖を製造するための直火炊きの釜で加熱濃縮する方法である。の方法では、搾汁液中のアクをろ布でろ過して取り除く。の方法では、石灰(炭酸カルシウム)を入れて加熱中に浮かんでくるアクを取り除きながら、4時間ほど加熱する。次にやの搾汁液は、水を加えて一定の濃度までBrixを希釈調整した後に1.0~1.5tのFRP製発酵タンクに移す。発酵タンクでは、微生物を添加せずに静置発酵により発酵が進む。発酵タンクで半年~1年かけて発酵を行った後に熟成タンクで1~2年間熟成させ、酸度調整を行い製品とする。

### 2.3 小仕込み試験

3L容ガラス製サンプル瓶にサトウキビ搾汁液を2L入れて、30で一定の恒温水槽内で静置発酵を行った。なお、搾汁液は、比較のために未加熱の試験区と沸騰後30分間加熱処理した試験区を設定して、最後に滅菌水でBrixを調整して小仕込み試験に供した。また発酵モロミに使用した微生物は、当センター所有の鹿児島工試酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)と酢酸菌(*Acetobacter pasteurianus*)を前培養を行った後、添加した。

アルコール発酵試験は、500ml容三角フラスコに搾汁液を450ml入れて、30で一定の恒温水槽内で静置発酵を行った。アルコール発酵の経過は、発生する炭酸ガス重量をモロミの減少重量から算出して求めた。

### 2.4 分析方法

#### 2.4.1 一般成分

醸造工程中における発酵モロミでの一般成分の変化を調べるために、pH、Brix、酸度、有機酸、糖類及びエタノールを測定した。

pHはpHメーターを、Brixは糖度計を用いて分析した。酸度は醸造酢の日本農林規格<sup>9)</sup>に従い酢酸として算出した。有機酸は、BTB(プロモチモールブルー)を反応試薬として利用したポストカラム誘導体化-可視吸収検出法による高速液体クロマトグラフ(日本分光(株)製)で測定した。糖類及びエタノールは、示差屈折検出器による高速液体クロマトグラフ(日本分光(株)製)または電気化学検出器によるイオンクロマトグラフ糖分析システム(東亜ディーケーケー(株)製)で測定した。

#### 2.4.2 微生物叢

醸造工程中における発酵モロミでの微生物叢の変化を調べるために、一般細菌数、乳酸菌数、酵母数及び酢酸菌数を測定した。

一般細菌数は、カピサイジン添加標準寒天培地を用い、混釈法により35で2日間培養後生育したコロニーを測定した。乳酸菌数は、MRS寒天培地に炭酸カルシウム及びシクロヘキシミドを添加して、混釈法により30で3日間

培養後生育したコロニーを測定した。酵母数は、クロラムフェニコール添加YM寒天培地を用い、混釈法により25で5日間培養後生育したコロニーを測定した。酢酸菌数は、炭酸カルシウム含有GYP寒天培地にエタノール3%、酢酸1%となるように添加して、混釈法により30で5日間培養後生育したコロニーを測定した。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 初発Brixを同じにした小仕込み試験

サトウキビ酢の発酵経過を把握するために、当センターにおいて初発Brixを14.7に揃えて小仕込み試験を行った。

サトウキビ搾汁液(搾汁時:Brix20.0)は、表1に示す未加熱試験区( )と加熱試験区( )を設定して小仕込み試験を90日間行った。またこの時、醸造微生物の添加による違いについても試験した。

表1 小仕込み試験の試験区

| Sample No. | 搾汁液の処理 | 初発Brix (%) | 微生物の添加 |     |
|------------|--------|------------|--------|-----|
|            |        |            | 酵母     | 酢酸菌 |
|            | 未加熱    | 14.7       | ×      | ×   |
|            | 未加熱    | 14.7       |        |     |
|            | 加熱     | 14.7       | ×      | ×   |
|            | 加熱     | 14.7       |        |     |

酵母は0日目に添加した。酢酸菌は4日目に添加した。

各試験区の発酵経過について、一般成分の変化は図2~4のとおりとなり、微生物叢の変化は図5のとおりとなった。

図2と図3に示すように、未加熱とでは乳酸生成によって急激にpH3.0へ低下したが、加熱とではpH低下が緩やかであった。また図4と図5に示すように、醸造1日目の未加熱とでは搾汁液中の乳酸菌数が増加しており、乳酸を生成する乳酸発酵が先行して起こった。しかし、加熱処理の微生物無添加ではpH低下が最も緩やかで乳酸も生成せず、一般細菌数が5日目で $10^7$ (CFU/ml)以上もあり、腐敗臭が漂い腐造している状態であった。

以上のことから、搾汁液を未加熱処理した場合、醸造初期には福山米黒酢の場合<sup>2)</sup>と同じように搾汁液中に存在する野生乳酸菌によって乳酸発酵が起こり、初期の腐造を防ぐ重要な因子となっていることがわかった。搾汁液を加熱処理すると、乳酸菌が殺菌されてしまい腐造の可能性が高くなることがわかった。

次に図4に示すように、とでは乳酸発酵と並行して搾汁液中の糖類(主にシュクロース)が消費されてエタノールが生成しており、アルコール発酵が進んでいる。とくに酵母無添加では酵母添加と比較してエタノール生成が遅れていることから、野生酵母によるアルコール発酵は培養酵母に比べて緩やかに行われていると示唆された。ま

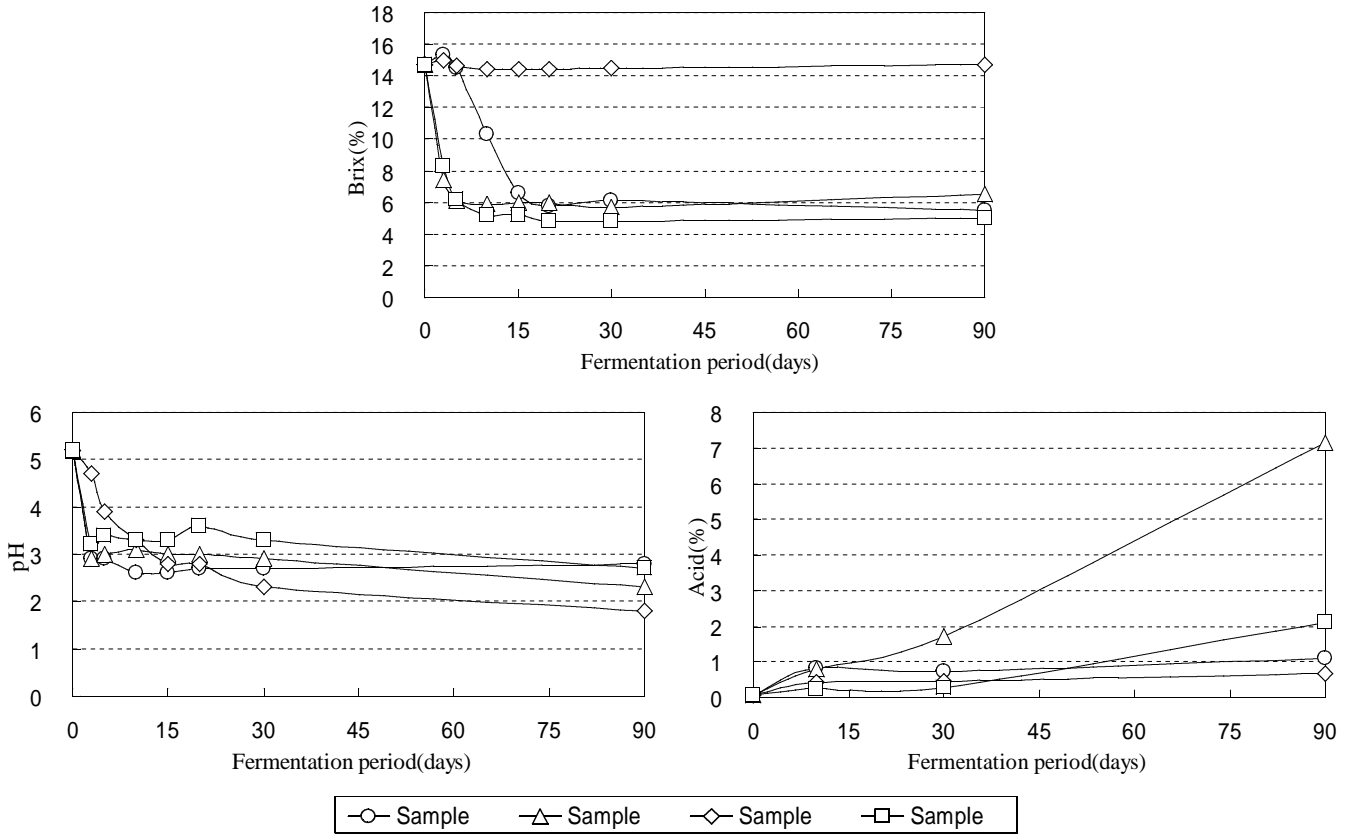


図2 小仕込み試験の発酵経過 (Brix, pH, 酸度)

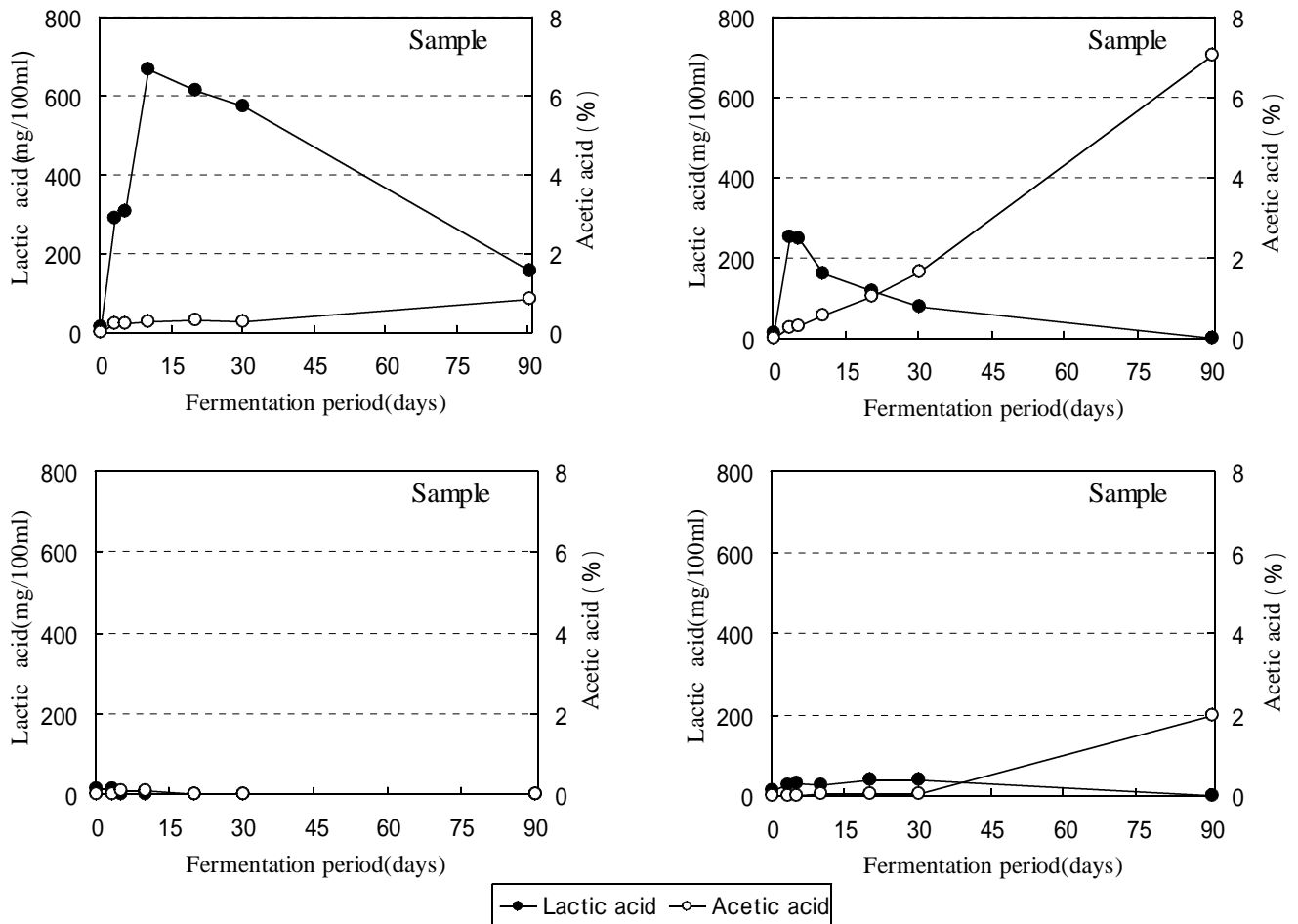


図3 主な有機酸の発酵経過

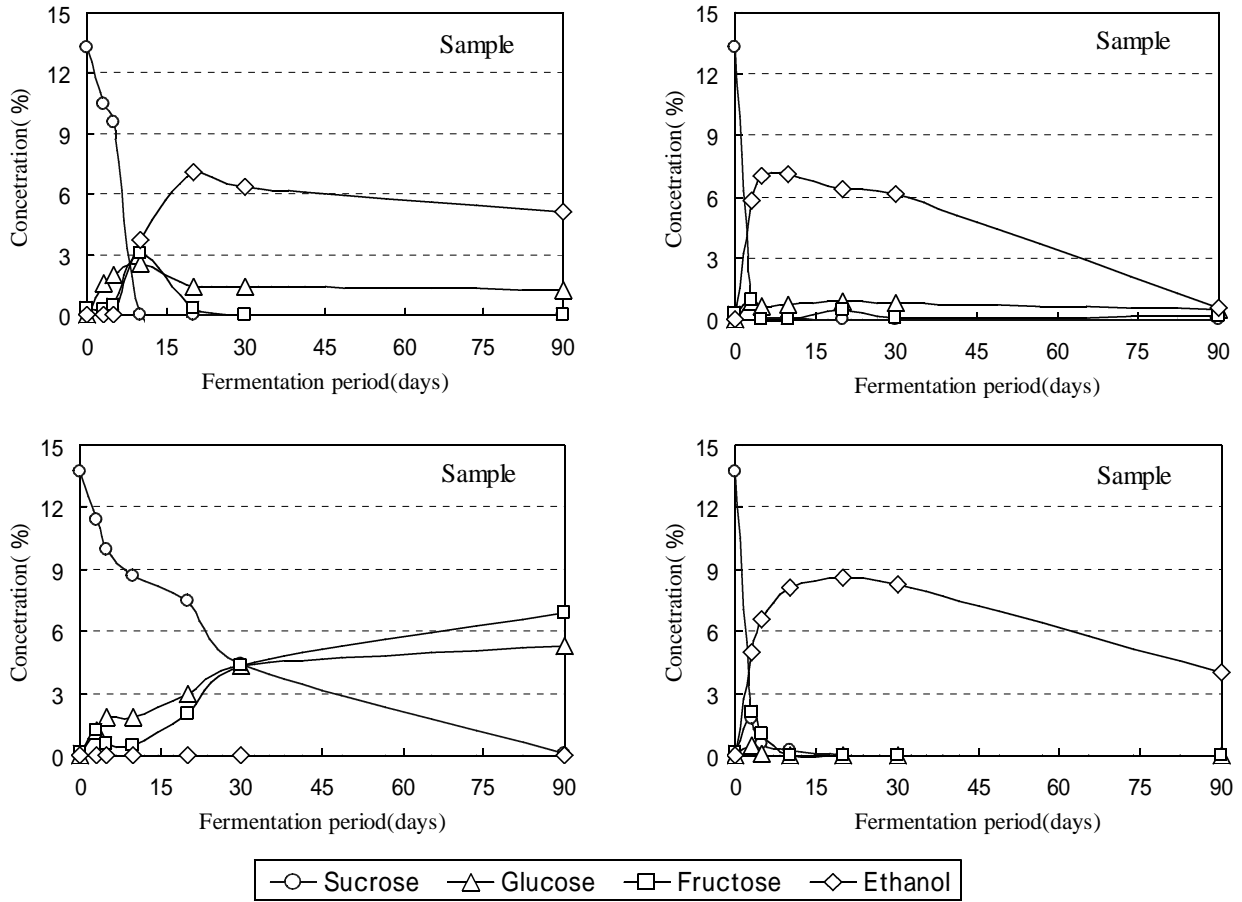


図4 糖類とエタノールの発酵経過

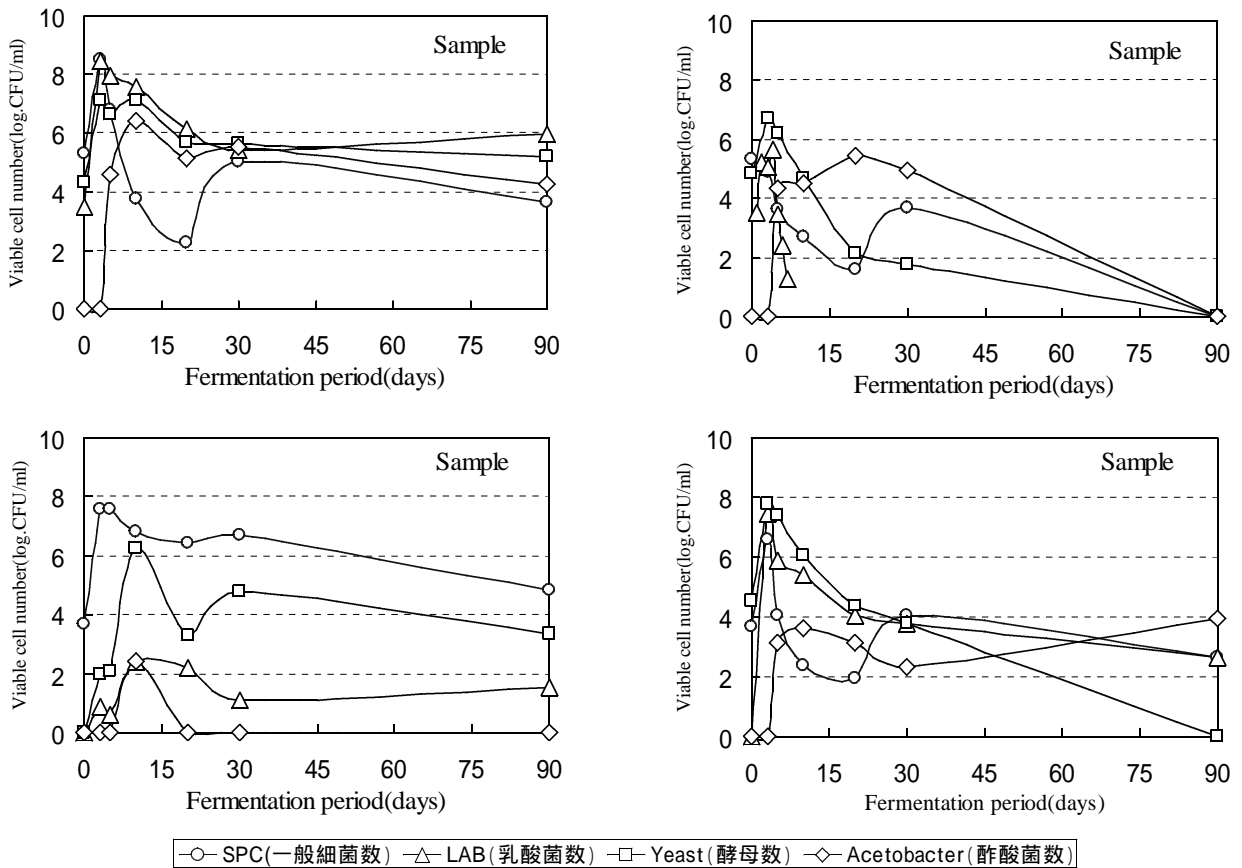


図5 微生物叢の発酵経過

た加熱 は酵母無添加なのでエタノール生成がなく、腐造モロミから正常モロミへは回復できなかったが、 は酵母を添加しているのに糖類が消費されてエタノールが生成するアルコール発酵が起こった。

続いて図3, 図4及び図5に示すように、酢酸菌数の増加により、エタノールが酸化減少して酢酸を生成する酢酸発酵へ順調に移行したのは、酢酸菌を添加した未加熱のだけであった。図2に示すように、90日目で の酸度は7.1%となった。

酢酸菌無添加で未加熱の では酢酸発酵が起こらず、モロミ表面に5日目以降、白濁した産膜酵母が発生した。またセルロースを生成する不良酢酸菌 の一種 ”コンニャク菌 (*A. xylinum*) ” も30日目に確認された。図5に示すように、 の酢酸菌数が30日目で $10^5$  (CFU/ml)であるのは、このコンニャク菌が発生したことを示している。

以上のことから、実験室での小仕込み試験において微生物を添加しないと順調にアルコール発酵と酢酸発酵が起こらず、腐造する可能性が高いことが示唆された。

通常の醸造酢の製造法では、酵母や種酢などの醸造微生物を添加しているが、微生物を添加しないでサトウキビ酢を製造しようとするのは難しい。新規に操業する企業においては、工場内での醸造微生物環境が充分でないで、例えば発酵タンクなどに蔵付きの酵母や酢酸菌が十分に棲息していない可能性は大きいと示唆され、醸造途中で腐造してしまう相談事例が多い。

図4に示すように、加熱 は20日目でエタノール濃度8.6%となっており酢酸発酵へなかなか移行しなかった。40日目に酢酸菌を再添加したところ酢酸発酵が起こり、90日目の酸度は2.1%となった。しかし、と同じく酵母添加した のエタノール濃度は、10日目の7.1%が最高であった。このことは、加熱処理の方が、未加熱と比較して同じ初期Brixであっても、酵母によるエタノール生成濃度が高くなってしまふ可能性が示唆された。

### 3.2 初発Brixの違いによる小仕込み試験

サトウキビ搾汁液(搾汁時: Brix15.1)を表2に示すように、加熱処理後に初発Brixを各々の濃度に希釈調整して小仕込み試験を行った。

各試験区の発酵経過について、一般成分の変化は図6~

表2 小仕込み試験の試験区

| Sample No. | 搾汁液の処理 | 初発Brix (%) | 微生物の添加<br>酵母 酢酸菌 |
|------------|--------|------------|------------------|
|            | 加熱     | 13.9       |                  |
|            | 加熱     | 16.1       |                  |
|            | 加熱     | 19.3       |                  |

酵母は0日目に添加した。酢酸菌は5日目に添加した。

図8のとおりとなった。

図6に示すように、搾汁液を加熱処理した場合、pHの低下がpH3.0へ急激に低下せず緩やかになったのは、搾汁液中の乳酸菌が加熱処理により殺菌されてしまい、乳酸発酵が起こりにくくなったと考えられる。

また図7に示すように、醸造初期にはいずれの試験区においてもBrixの低下が急激になって、酵母添加によるアルコール発酵が順調に進んでいるのが観察された。とくに では、10日目には酢酸菌膜の形成がモロミ表面に観察されて、酢酸発酵へ移行した。最終的には図6に示すように、 の酸度は7.3%、 の酸度は8.3%となった。

初発Brixが最も高い は、酢酸発酵が起こらなかったことから、48日目にエタノール濃度を分析したところ9.8%であった(図8)。サトウキビ酢と同じく種酢を添加しない静置発酵法による福山米黒酢の場合、エタノール濃度8%以上、酸度1%以下のモロミでは、経験的に酢酸菌膜の形成は難しいことがわかっている。 のエタノール濃度が高いのを解消するために、エタノール濃度を7.5%へ希釈して、酢酸菌を再添加したところ酢酸発酵へ移行し、酸度は7.1%となった(図6)。

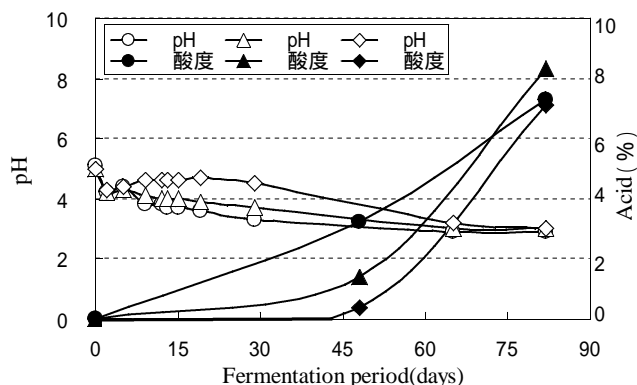


図6 小仕込み試験の発酵経過 (pH, 酸度)

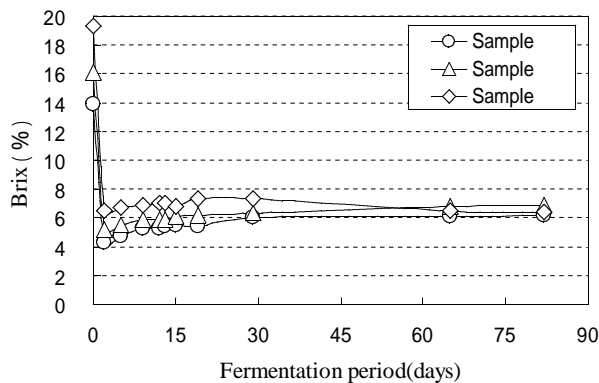


図7 小仕込み試験の発酵経過 (Brix)

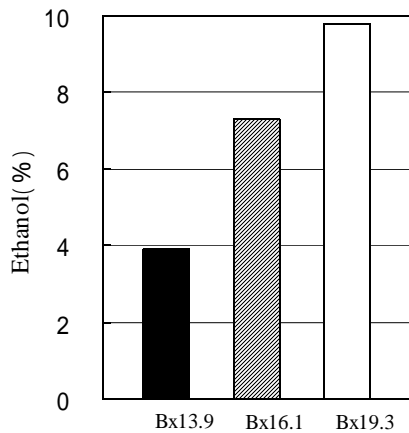


図8 醸造48日目のエタノール濃度

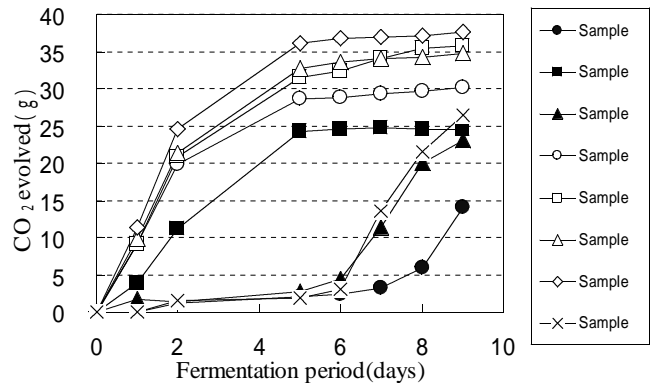


図9 アルコール発酵試験の経過

3.3 初発Brixの違いによるアルコール発酵試験

サトウキビ搾汁液（搾汁時：Brix14.4）の初発 Brix とエタノール生成量との関係を確認するために、表3に示すように、初発 Brix を各々の濃度に希釈調整してアルコール発酵試験を行った。なお、は酵母無添加で、とについては酵母添加の時期を遅らせた。

表3 アルコール発酵試験の試験区

| Sample No. | 搾汁液の処理 | 初発Brix (%) | 酵母の添加時期 |
|------------|--------|------------|---------|
|            | 未加熱    | 14.4       | -       |
|            | 未加熱    | 14.4       | 0day    |
|            | 未加熱    | 14.4       | 2days   |
|            | 加熱     | 13.9       | 0day    |
|            | 加熱     | 15.1       | 0day    |
|            | 加熱     | 16.1       | 0day    |
|            | 加熱     | 17.1       | 0day    |
|            | 加熱     | 13.9       | 5days   |

酵母は0, 2, 5日目に添加した。

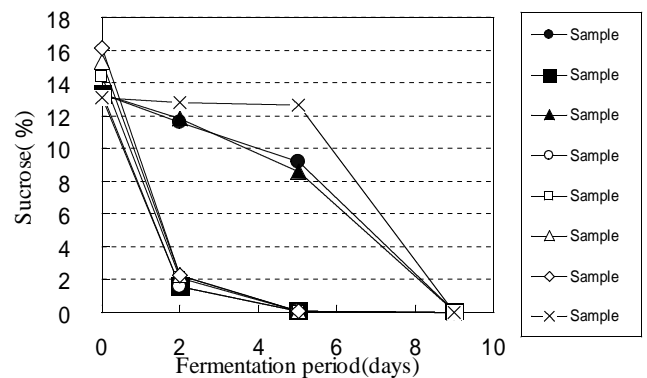


図10 シュクロース残存量の経過

図9に示すように、初発 Brix が異なる試料 ~ においてアルコール発酵の経過は、初発 Brix が高濃度ほど炭酸ガス発生量が多くなっている。酵母添加時期を遅らせた試料 と では、同じ Brix の試料 と と比べてアルコール発酵は遅れた。

9日目までのシュクロース残存量とエタノール生成量は、図10と図11のとおりとなった。初発 Brix が高濃度になるほどエタノール生成量も高濃度となった。アルコール発酵5日目まで酢酸菌が生育しにくいエタノール濃度8%以上となってしまうのは、初発 Brix15以上の試料 ~ であった。

以上のことから、サトウキビ酢の発酵過程で酢酸発酵へ順調に移行させるためには初発 Brix の調整を管理して適正なエタノール濃度になるようにすることが重要である。

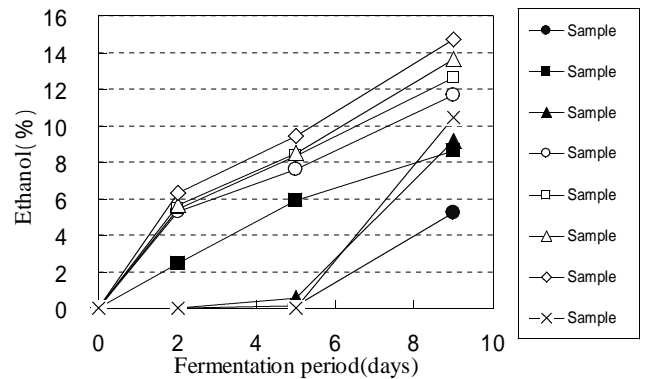


図11 エタノール生成量の経過

3.4 サトウキビ酢工場での発酵経過

サトウキビ酢工場での発酵経過について、発酵途中のモロミを分析した結果を図12に示す。

小仕込み試験で確認したのと同じく、醸造初期に pH が急激に低下する乳酸発酵が先行していた。並行してアルコール発酵が酵母を添加していないにも関わらず起こった。この時のエタノール生成濃度は、5日目で10.9%、20日目で8.6%となっていた。この酢酸菌の生育が難しいエタノール濃度8%以上のモロミは、60日目まで続いた。通常、静置発酵では、約3ヶ月ほどで酢酸発酵が終了するが、この

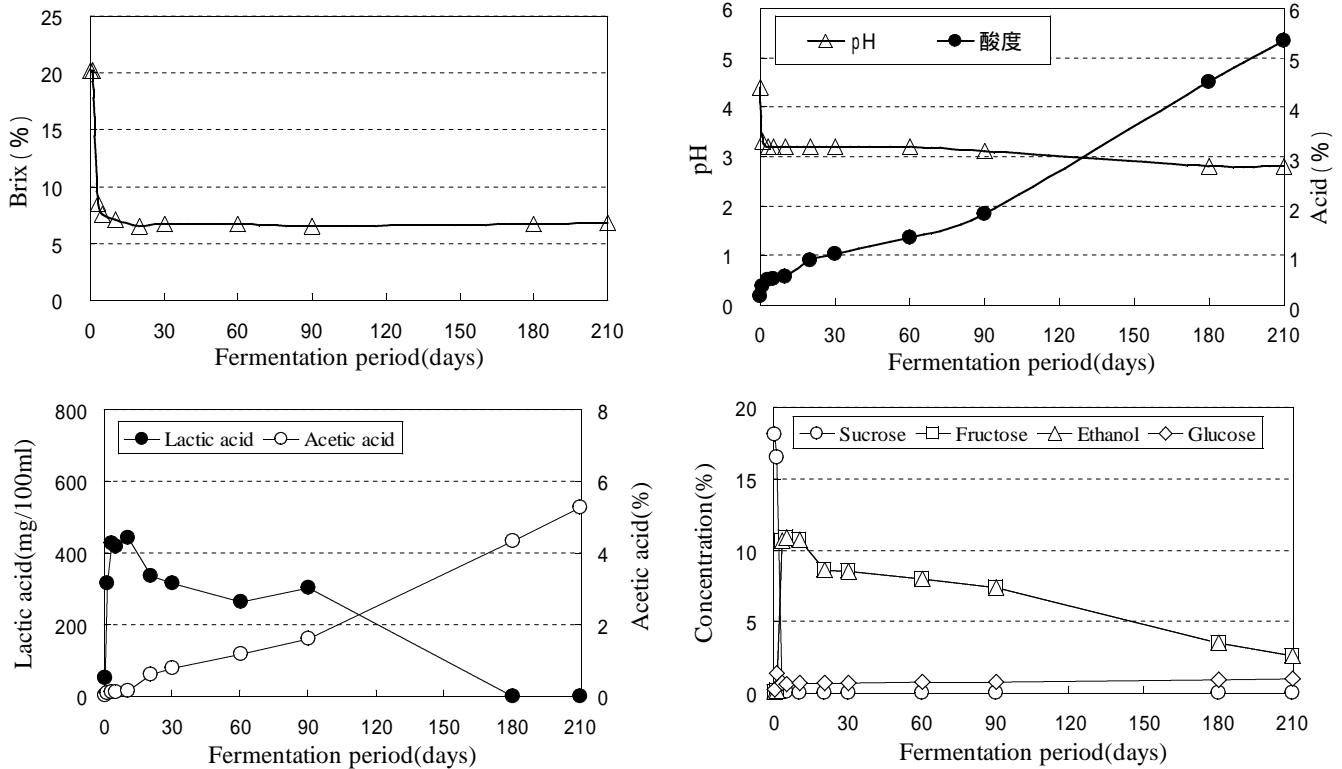


図12 サトウキビ酢工場の発酵経過

工場では、酢酸発酵が緩やかに進み、210日目になって酸度が5.3%となっていた。

エタノール濃度が8%以上で酢酸発酵が行われるのは、小仕込み試験の結果と異なっており、高エタノール耐性酢酸菌の存在が示唆される。

この工場は操業20年以上経っており、現在、ほとんど腐造も起こっていない。操業当初は、腐造するモロミが多かったとの話を聞いている。現在、工場内に棲息する醸造微生物の環境は十分に安定していると推測されることから、微生物添加を行わないでも発酵が順調に進んでいると考えられた。

#### 4. 結 言

サトウキビ酢の醸造における品質管理上、重要な部分を把握するために、当センターにおける小仕込み試験及びサトウキビ酢工場における発酵モロミを分析した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) サトウキビ搾汁液を未加熱処理した場合、乳酸発酵が先行し、pHが急激に低下して醸造初期の腐造を防止する。しかし、加熱処理した場合、乳酸菌が殺菌されてしまい乳酸発酵が起こりにくくなると考えられる。
- (2) 乳酸発酵と並行してアルコール発酵が起こるが、未加熱処理では野生酵母によるアルコール発酵が緩やかに進んでいると示唆される。
- (3) 工場においてサトウキビ酢を微生物添加しないで静置

発酵させるためには、発酵タンクなどに醸造微生物が十分に棲息している環境が整わなければ、発酵が進まないとし唆される。

- (4) アルコール発酵に続いて酢酸発酵へ移行するが、酢酸発酵へ順調に進むためには、エタノール生成濃度が8%以上にならないように初発 Brix の調整を管理することが重要である。

#### 謝 辞

今回、研究を進める上で工場内の調査や試料を提供していただいたサトウキビ酢工場の皆さんに感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 東邦雄, 水元弘二, 盛敏, 前田フキ: 鹿児島県工業試験場年報, 20, 58(1973)
- 2) 吉村浩三, 岩屋あまね, 下野かおり, 間世田春作: 鹿児島県工業技術センター研究報告, 13, 9(1999)
- 3) 小泉幸道ら: 日本食品工業学会誌, 35, 670(1988)
- 4) 円谷悦造, 正井博之: 醗酵工学, 63, 211(1985)
- 5) 九州沖縄農業研究成果情報, 16, 607(2001)
- 6) 吉元誠ら: 九州沖縄農業研究成果情報, 19, 101(2004)
- 7) 鈴木賢洋ら: 日本農芸化学会大会講演要旨集, 244(2002)
- 8) 醸造酢の日本農林規格: 制定昭和54年6月8日農林水産省告示第801号, 最終改正平成16年6月23日農林水産省告示第1215号