

キクイモの食品への利用

— キクイモ酢の調製 —

本堂正明, 橋渡 携, 奥村幸広

Utilization for Food of Jerusalem Artichoke Tuber — Preparation of Vinegar from Jerusalem Artichoke Juice —

Masaaki HONDO, Tazusa HASHIDO and Yukihiro OKUMURA

The possibility of developing Jerusalem artichoke vinegar containing inulin was investigated. Acetic acid fermentation was performed with *Acetobacter pasteurianus* IFO14814 of acetic acid bacteria. Jerusalem artichoke juice with and without alcohol fermentation treatment by Kyokai Yeast No.1 (OC-2) were used, and surface culture and shaking culture were carried out in acetic acid fermentation.

Acetic acid fermentation was conducted under the following conditions: 30°C, initial pH 5.0, initial ethanol concentration 3.5%, 5.0% and 5.5%, and acetic acid bacteria pre-culture concentration 10% (v/v). The pH and ethanol, acetic acid and sugar content of the culture in acetic acid fermentation were measured, and vinegar after acetic acid fermentation was evaluated.

In surface culture, the juice with alcohol fermentation treatment fermented smoothly but acetic acid fermentation of the juice without treatment was slow. Conversely, the juice without treatment fermented completely in shaking culture. Inulin content of the juice with alcohol fermentation treatment after surface culture for 22 days and the juice without treatment after shaking culture for 7 days was 4.8% and 7.4%, respectively. Inulin survived almost completely without degradation in acetic acid fermentation.

A sensory evaluation was carried out using the sample juice which was fermented smoothly. As a result, undesirable odor from Jerusalem artichoke juice was almost eliminated in acetic acid fermentation. Therefore, it is suggested that Jerusalem artichoke vinegar could be developed.

キクイモ (学名, *Helianthus tuberosus* L) は, 保健機能を有するフラクトオリゴ糖¹⁾ (スクロースにフルクトースが数個 β -2, 1 結合で直鎖状につながったもの) とともに, 多糖類イヌリン (フラクトオリゴ糖よりもさらに多く, 約 30 個ほどのフルクトースが同様の結合様式でつながったもの) を多量に含有している。キクイモ塊茎中にはイヌリンが, 10~12% 含まれ, キクイモは, 同じキク科のチコリとともに, イヌリンを貯蔵する代表的な植物である。

イヌリンは, 胃や腸の消化管では消化吸収されにくく, 難消化性でカロリーの低い糖質である。大腸内に生息す

るビフィズス菌等によって初めて資化される。このため, 有用なビフィズス菌等が腸内で優勢になり, 腸内細菌の菌叢が改善されること²⁾ が知られている。このようなプロバイオテックスの効果を有しているほか, 水溶性食物繊維の機能をもち, 最近の報告から, 血中脂質の低減, 血糖値の上昇抑制やミネラルの吸収促進等の保健機能³⁾⁴⁾⁵⁾ が明らかにされている。

これまで, キクイモ塊茎をフルクトース⁶⁾ やアルコール⁷⁾ の製造原料あるいは家畜の飼料⁸⁾ 等として利用する事例が報告されてきたが, 最近では, 生活習慣病予防の健康食品素材として注目され, 一部キクイモパウダーや

事業名: 受託研究

課題名: キクイモイヌリンの高度利用技術の開発

漬物が商品化されている。しかし、いまだ食品加工素材として十分利用されているとは言いがたい。

そこで、以上のような保健機能をもつイヌリンを含有した新たなキクイモ加工品の開発を目的に、キクイモ塊茎を汁液と残渣（パルプ）に分け、汁液を食品素材に、残渣を飼料として利用することを考えた。本研究では、これまでのヤーコン酢に関する報告⁹⁾¹⁰⁾を参照しながら、品質良好なイヌリン含有キクイモ酢を調製する方法について、キクイモ汁液の発酵性、発酵中のイヌリン含有量及び発酵による不快臭低減等を検討した。

実験方法

1. 試料及び使用菌株

札幌市内で自生のキクイモ塊茎を採取した。洗浄後凍結保存し、使用時に解凍した。また、アルコール及び酢酸発酵用の菌株として、ワイン用酵母の協会酵母1号（OC-2）と *Acetobacter pasteurianus* IFO14814 (*A. pasteurianus* と略記) を用いた。

2. 汁液の調製

キクイモ塊茎を解凍後、1個体ごとに細かく裁断し、塊茎（重量1）に対して、蒸留水（容量1）を加えて、ワーリングブレンダーで、2分間磨砕した。次に磨砕液中の酵素を失活しイヌリンを十分に溶解させるため、湯浴で80°C、15分間加熱した。その後、水道水で冷却し、3枚に重ねたガーゼで搾汁した。得られた加水汁液をキクイモ汁液とし以後の試験に供した。

3. 汁液のアルコール発酵

1000 ml の汁液をステンレス製ポット（3 L 容）に入れ、湯浴で80°C、15分間加熱殺菌した後、水道水で冷却した。この殺菌汁液に、既報⁹⁾に従い調製された OC-2 菌体懸濁溶液 5 ml を添加（ 1×10^7 個/汁液 1 ml）し、25°C で、6 日間静置培養した。これを以後 OC-2 発酵汁液とした。また、OC-2 で 6 日間静置培養しなかった汁液を OC-2 未発酵汁液とした。

4. 汁液の酢酸発酵

(1) *A. pasteurianus* 前培養液（種菌）の調製

既報⁹⁾に従い、*A. pasteurianus* の懸濁溶液より種菌を調製した。

(2) 供試汁液と発酵方法

OC-2 未発酵汁液と OC-2 発酵汁液を用いた表面発酵（以下、静置培養とする。）法では、400 ml、OC-2 未発酵汁液を用いた全面発酵（以下、振とう培養とする。）法では、160 ml を供試した。

(3) 培養液のエタノール濃度調整、pH 調整及び加熱殺

菌

OC-2 未発酵汁液を用いた静置及び振とう培養の場合、初発エタノール濃度をそれぞれ 5.0% と 5.5% とした。OC-2 発酵汁液を用いた静置培養では、初発エタノール濃度を 3.5% とした。それぞれ、所定量のエタノール（純度、99.5%）を添加後、0.1 M、1 M-NaOH もしくは 0.1 M、1 M-HCl 溶液を用いて、初発 pH を 5.0 に調整した。次に、静置培養では 450 ml、振とう培養では 180 ml の容量に蒸留水で調整後、1 L 容バツフル付き三角フラスコに入れ、冷却管を付けて 65°C、15 分間、湯浴で加熱殺菌した。その後、速やかに、水道水で冷却した。

(4) *A. pasteurianus* 前培養液（種菌）添加と発酵条件

初発エタノール濃度、初発 pH 及び容量を調整した殺菌汁液に種菌を添加（静置培養の場合、50 ml、振とう培養では 20 ml、いずれも種菌添加量は、培養液に対して 10% 添加）した。静置培養では、30°C で、32 日間まで培養した。振とう培養では、30°C、回転数、200 rpm で、7 日間まで培養した。

5. 分析方法

(1) 分析試料の調製

アルコール及び酢酸発酵中の各培養液より、試料液を経時的に数 ml サンプルングした。pH を測定後、遠心分離（3000 rpm、10 分）した上清液を、0.45 μ m のメンブランフィルターで精密ろ過し、得られた透明液をエタノール、酢酸及び各糖質成分測定用試料とした。

(2) pH

pH メータを使用し、スターラで攪拌しながら測定した。

(3) エタノール、酢酸及び各糖質含量

エタノール；既報⁹⁾に従い、ゲルろ過分離モードの TSKgel G-Oligo-PW カラムを用いた HPLC 法で測定した。

酢酸；既報⁹⁾に従い、有機酸分析カラムを用いた BTB 法による反応型 HPLC 法で測定した。

フルクトース、スクロース、3 糖のフラクトオリゴ糖（1-ケストース）、4 糖のフラクトオリゴ糖（ニストース）及びイヌリン；既報⁹⁾に従い、ゲルろ過分離モードの TSKgel G-Oligo-PW カラムを用いた HPLC 法で測定した。本カラムでは、5 糖以上のフラクトオリゴ糖とイヌリンの分離が難しいため、前者のフラクトオリゴ糖をイヌリンとして測定した。また、単糖のピークをフルクトースとして算出した。

6. 官能評価

酢酸発酵後の培養液を遠心分離して得られた清澄液を

供試した。主に香りについて、3点法、非常に良い(◎)、良い(○)、悪い(×)で評価した。

実験結果と考察

1. 汁液の回収率

1.5 kg の塊茎に対して、1.5 L 加水し、搾汁液が 2.16 kg 得られた。従って汁液の回収率は 72%であった。

2. アルコール発酵中の汁液のエタノール及び各糖質含量と pH

図 1 に、OC-2 で静置培養した汁液の生成エタノール及び各糖質含量と pH の経時変化を示した。6 日間の培養で、pH は 6.3 から 5.7 に、エタノールは 2.0% 生成された。初発でスクロースは 0.8%、フルクトースは 0.3%、ニストースは 0.8%、1-ケストースは 0.6% 含まれたが、資化されてなくなった。イヌリン含量は 9.8% から 6.4% に大幅に低下した。OC-2 はフラクトオリゴ糖を資化することができる¹⁴⁾ため、恐らく、5 糖以上のフラクトオリゴ糖が資化され、結果的にイヌリン含量が減少したものと考えられる。全糖質含量は、12.3% からほぼ半分の 6.4% に減少した。計算上では、糖質 4% から、2% のエタノールが生成されるはずであるから、約 2% の糖質が、OC-2 の呼吸に消費されたり、あるいは菌体増殖や有機酸等の生成に利用されたことになる。

3. 酢酸発酵中の培養液のエタノール及び酢酸含量と pH

図 2 にエタノール及び酢酸含量と pH の経時変化を示した。pH は、OC-2 未発酵汁液を用いた 32 日間静置培養で、3.8 に、OC-2 発酵汁液を用いた 22 日間静置培養で 3.8 に、いずれも低下した。さらに、エタノール含量も、

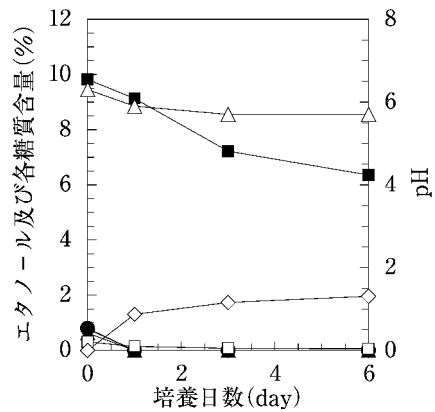


図 1 培養液中のエタノール及び各糖質含量と pH に及ぼす汁液の OC-2 アルコール発酵の影響

- ; イヌリン;
- ◆; ニストース (4糖);
- ▲; 1-ケストース (3糖);
- ; スクロース (2糖);
- ; フルクトース (単糖);
- ◇; エタノール;
- △; pH

両者の試料ともに、ほぼ 0% になった。これらのことから、両者の試料ともに、少なくとも、エタノールが酢酸に変換されて、酢酸発酵が行われているものと考えられた。おおよそ、エタノール 1% から酢酸 1% が生成されるといわれているが、酢酸は、前者の場合、初発エタノール濃度が 5.0% であったにもかかわらず、2.5% しか生成されなかった。一方、後者では、初発エタノール濃度が 3.5% であったが、酢酸は 3% 生成され、そのほとんどが酢酸に変換されたものと考えられた。前者よりも後者で、酢酸発酵が順調に行われた要因としては、後者の場合には酢酸発酵時の初発エタノール濃度が低かったことや

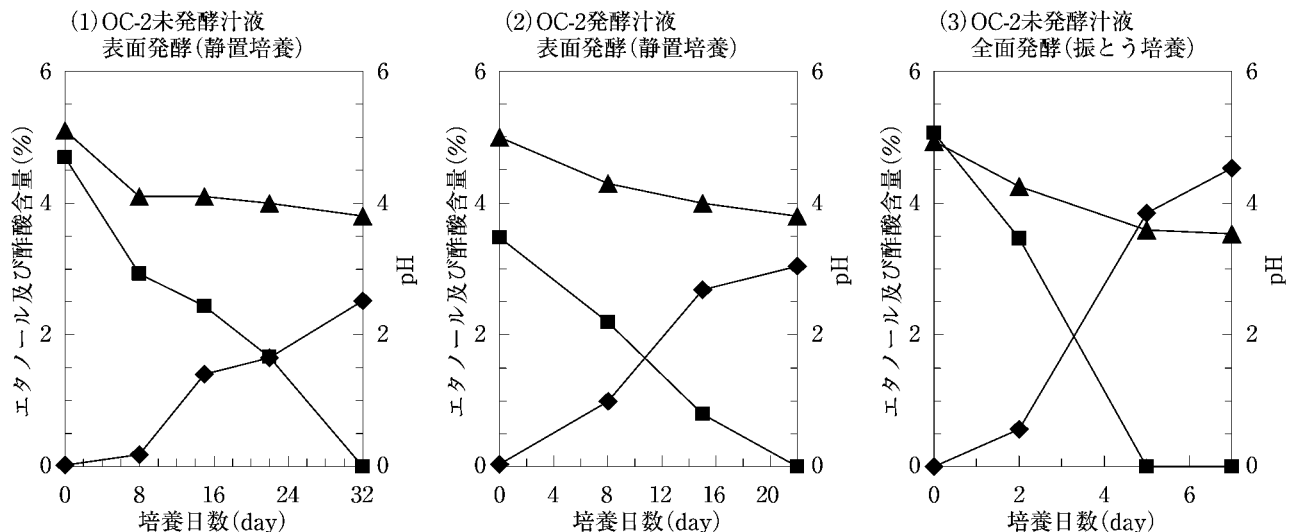


図 2 培養液中のエタノール及び酢酸含量と pH に及ぼす *A. pasteurianus* 酢酸発酵の影響

- ; エタノール;
- ◆; 酢酸;
- ▲; pH

OC-2 アルコール発酵で、酢酸発酵を阻害する成分が減少したり、あるいは促進する成分等が生成されたりしていること等があげられる。

OC-2 未発酵汁液を用いた振とう培養では、培養 7 日後に、pH が 3.5 に低下し、エタノール含量も、培養 5 日後に、ほぼ 0 % になった。さらに、酢酸が、7 日後に 4.5 % 生成された。このように、酢酸発酵が順調に行われ、所定量の酢酸が生成されたが、この理由としては酢酸発酵が好気発酵のため、振とう培養で空気が十分に供給されたためと考えられた。

4. 酢酸発酵中の培養液の各糖質含量

図 3 に各糖質含量の経時変化を示した。OC-2 未発酵汁液を用いた 32 日間静置培養では、イヌリンは、16.5 % 減少した。ニストース、1-kestose 及びスクロース含量は、顕著な差がなかったが、フルクトース含量は、5.1 倍に増加した。一方、OC-2 発酵汁液を用いた 22 日間静置培養及び OC-2 未発酵汁液を用いた振とう培養では、イヌリン含量は、顕著な変化がなかった。前者の場合には、OC-2 発酵でニストースや 1-kestose ばかりでなく、イヌリンとして扱った 5 糖以上のフラクトオリゴ糖も資化されてなくなった結果、酢酸発酵時にはイヌリンが大部分を占めるために変わらなかったものと考えられる。後者では、培養液 pH の低下にもかかわらず、培養日数が短いことから、5 糖以上のフラクトオリゴ糖の分解が少なかったためと考えられる。少なくとも、イヌリンはアルコール発酵中の酵母によって資化されず、また、

酢酸発酵中に酸で加水分解されにくくほとんど残存しているものと推測できる。

5. 試作キクイモ酢のフラクトオリゴ糖及びイヌリン含量と官能評価結果

OC-2 発酵汁液を用いた静置培養及び OC-2 未発酵汁液を用いた振とう培養試料で、酢酸発酵が順調に行われたことから、これらのキクイモ酢を供試した。

キクイモ酢のフラクトオリゴ糖及びイヌリン含量を示した(表 1)。キクイモ酢は、市販食酢では含まれない保健機能を有するフラクトオリゴ糖とイヌリンを含有しているのが特徴である。とりわけ、OC-2 発酵汁液を用いた静置培養試料においても、イヌリンが、4.8 % 残存しており、機能性イヌリン含有食酢として期待できる可能性がある。

主に、キクイモ酢の香りの官能評価を行った(表 1)。原料のキクイモ汁液は、特に香りが悪く、決して食品素材として利用できるとは言いがたかったが、酢酸発酵により、キクイモ特有の異臭が低減されることで、香りが改善され、品質的には良好なものできたと考えられた。

要 約

キクイモの食品素材化及び食品への加工利用を図るために、キクイモに多量に含まれる機能性多糖類イヌリンに着目し、イヌリン含有キクイモ酢の調製法を検討した。OC-2 未発酵汁液を用いた静置培養(32 日間)と振とう培養(7 日間, 200 rpm) 及び OC-2 発酵汁液を用いた静置

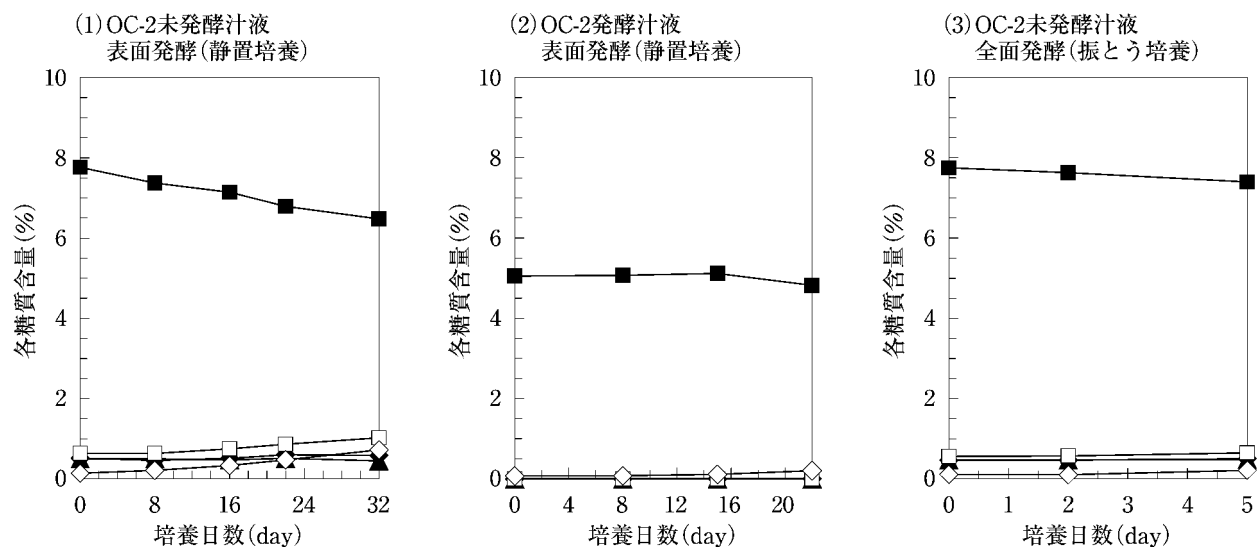


図 3 培養液中の各糖質含量に及ぼす *A. pasteurianus* 酢酸発酵の影響

- ; イヌリン ;
- ▲ ; 1-kestose (3糖) ;
- ◆ ; ニストース (4糖) ;
- ◇ ; フルクトース (単糖) ;
- ; スクロース (2糖) ;

表1 試作キクイモ酢のフラクトオリゴ糖及びイヌリン含量と官能評価 (%)

試料	フラクトオリゴ糖			官能評価 香り
	1-ケストース (3糖)	ニストース (4糖)	イヌリン	
キクイモ酢① ¹⁾	0.0	0.0	4.8	○ ³⁾
キクイモ酢② ²⁾	0.5	0.5	7.4	○ ³⁾

- 1) ①：OC-2 アルコール発酵汁液を用い、静置培養で22日間酢酸発酵したもの。
 2) ②：OC-2 未発酵汁液を用い、振とう培養で7日間酢酸発酵したもの。
 3) ○：酢酸発酵により、キクイモ汁液の異臭がほとんどなくなり、香りが改善されている。

培養(22日間)の3条件で、それぞれ酢酸発酵を行った。すなわち、初発 pH5.0, 初発エタノール濃度(それぞれ、5.0%, 3.5%と5.5%), *A. pasteurianus* IFO 14814 前培養液の添加量10%及び30°Cの条件で行った。酢酸発酵中の培養液のpH, エタノール, 酢酸及び各糖質含量の経時変化を調べ、また酢酸発酵後のキクイモ酢を官能評価した。

- 1) OC-2 未発酵汁液を用いた静置培養法では、酢酸発酵が遅かったが、OC-2 発酵汁液を用いた静置培養法及びOC-2 未発酵汁液を用いた振とう培養法で、いずれも、順調に酢酸発酵が行われた。後2者のイヌリン含量は、酢酸発酵後にもかなり残存し、7.4%と4.8%を示した。
 2) 正常に酢酸発酵が行われた後2者のキクイモ酢は、原料に由来するキクイモ汁液の異臭が、少なくとも酢酸発酵により軽減され、香りが改善されており、品質的に良好と考えられた。

文 献

- 1) 日高秀昌, 柴田利章, 足立堯, 斉藤安弘, 農化, **61**, 915-923 (1987)
 2) A. V. Rao, *Journal of Nutrition*, **129**, 1442-1445 (1999)
 3) K. G. Jackson et al, *British Journal of Nutrition*, **82**, 23-30 (1999)
 4) K. R. Niness, *Journal of Nutrition*, **129**, 1402-1406 (1999)
 5) I. G. Carabin et al, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **30**, 268-282 (1999)
 6) S. R. Parekh et al, *Journal of Food Science*, **51**, 854-855 (1986)
 7) J. J. Allais et al, *Biotechnology and Bioengineering*, **92**, 778-782 (1987)
 8) E. R. Farnworth et al, *Canadian Journal of Animal Science*, **71**, 531-536 (1991)
 9) 本堂正明, 宇野豊子, 奥村幸広, 山木携, 北海道立食品加工研究センター研究報告, **3**, 21-32 (1998)
 10) 本堂正明, 奥村幸広, 山木携, 日食科工誌, **47**, 803-807 (2000)
 11) 本堂正明, 宇野豊子, 奥村幸広, 山木携, 北海道立食品加工研究センター研究報告, **2**, 35-41 (1996)