

トマトを主原料とした醸造酢の製造

丸山裕慎*, 山崎栄次*, 山岡千鶴*

Fermented Vinegar by the Substance Derived from Tomato

Hironori MARUYAMA, Eiji YAMAZAKI, and Chizuru YAMAOKA

Tomatoes are eaten all over the world and many processed products of tomato are produced, but there are still few uses for fermented foods. So we studied that Tomato puree and Tomato juice were fermented by the sake yeast (MK-5) developed by Mie prefecture and the alcohol from Tomato juice was fermented by the acetic fermentation starter. As a result, the sugar (glucose and fructose) contained in raw materials was almost converted to alcohol and the alcohol obtained by fermentation was converted to acetic acid with a yield of about 80 %. In addition, the obtained tomato vinegar left a flavor of tomatoes derived from raw materials.

Key word: Tomato, Vinegar, Fermentation, Sake Yeast

1. はじめに

近年、第1次産業に携わる農林漁業従事者が製造・販売を行うことで、新たな付加価値の形成や事業の拡大を目指す農林水産業の6次産業化が進められている。平成30年2月時点で農林水産省の支援を受けた事業は約2300件あり、内訳は野菜(31.5%)、果樹(18.5%)、畜産物(12.3%)、米(11.8%)、水産物(5.4%)と続いている¹⁾。6次産業化の主要品目となっている野菜では、通常、外観に問題がある生食用としての販売に向かないものを加工原料として使ってきたが、最近の6次産業化によって生産される野菜加工物の中には、加工用としては高い品質を有したものを原料として利用し、高級な加工品を製造するというビジネスモデルが増えてきた。その代表的な野菜としてトマトが挙げられる²⁾。

多くの国産野菜の生産量が減少を続けている中、トマトの年間生産量は約75万トンで推移し、横

ばいを続けている数少ない野菜のひとつである³⁾。三重県においても北勢地域で産地が形成されており、岐阜県、愛知県と合わせてトマトの主要産地のひとつとなっている。従来、トマトの加工製品は搾汁したジュースやペースト状にしたトマトピュレ等に限られていたが、近年では品種改良や栽培技術の進化により果実糖度が10%を超えるフルーツトマトの栽培が可能となった⁴⁾。その為、これらフルーツトマトを加工に用いた高級なトマト加工品が商品化されており、ジュース以外にもスイーツ類など幅広く商品展開されているが、この高い糖度に着目したトマトの発酵食品への展開はほとんど見受けられない。

そこで我々は、トマトを用いた発酵食品の中でもトマト酢の造酢に着目し、高糖度のトマト果実を主原料とし、アルコール発酵を経て造酢を行うトマト酢の製造を試み、トマト加工品のさらなる商品展開の可能性を検討した。

* 食と医薬品研究課

2. 実験方法

発酵に用いるトマト果実は浅井農園（津市）から購入したトマト（商品名「フルティカ」）及び市販のトマトジュースを用いた。トマト果実はへたを取り、コロイドミルで粉碎したもの（以下、トマトピューレと呼ぶ）を用いた。トマトピューレ及びトマトジュースの糖組成は表1の通りである。現状、市場に出回っているフルーツトマトでは、トマト果実由来の糖のみでは目的とするアルコール度数までアルコール発酵を進めることができない為、トマトピューレ及びトマトジュースにそれぞれグルコース及びフルクトース含有量が5%(w/v)となるように補糖を行い、発酵用原料とした。

アルコール発酵には三重県工業研究所が研究開発で育種した清酒酵母であるMK-5を使用した。使用酵母はYPD培地に1%植菌し、インキュベーターで30℃、48h静置培養したものを準備し、発酵用原料の重量割合で5%となるように添加した。アルコール発酵は15℃で静置して実施し、トマトピューレ及びトマトジュースのアルコール発酵物を得た。

上記方法で得たトマトジュースのアルコール発酵物ならびにその遠心分離後の上清を用いてそれぞれ酢酸発酵を行った。酢酸発酵に用いる種酢は山二造酢（津市）から提供された種酢を30℃で静置培養したものをを用いた。

酢酸発酵は、各アルコール発酵物、種酢、お湯をそれぞれ500mlずつ混合したものを酢酸発酵原料とし、30℃で静置培養を行った。

糖（グルコース、フルクトース）、エタノール、酢酸の分析は高速液体クロマトグラフ(Waters製2695)で定量した。カラムはRezex ROA - Organic Acid H+ (8%) (Phenomenex製)を使用し、カラム温度は60℃、移動相は硫酸水溶液(0.005 N, 0.6 ml/min)を用いた。検出器は示差屈折率計(Waters製1414)を使用し、検出温度は40℃とした。

表1 トマトピューレ及びトマトジュースの糖組成 (% ,w/v)

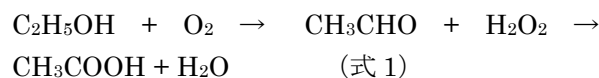
	グルコース	フルクトース
トマトピューレ	2.4	2.7
トマトジュース	1.4	1.5

3. 結果と考察

トマトピューレ及びトマトジュースのアルコール発酵によるエタノールの蓄積を図1に示す。図1より、山崎らの既報の通り、トマトピューレ及びトマトジュースで問題なくアルコール発酵が行われ、総糖量の約半分にあたる5%(w/v)前後のエタノールの蓄積を確認した⁵⁾。発酵4日目においてグルコース及びフルクトースがすべて資化され、また、エタノールの蓄積が最大となることを確認した。トマトピューレ及びトマトジュースのアルコール発酵に差がないことが確認できたことから、ロット間で成分組成が安定しているトマトジュースのアルコール発酵物を用いて酢酸発酵を実施した。また、本研究のアルコール発酵で使用している酵母が清酒酵母であり、アルコール耐性が強いことから、トマトジュースのアルコール発酵物を遠心分離することで酵母を除去した上清を酢酸発酵させる実験系も併せて実施した。

図2にトマトジュースのアルコール発酵物およびその遠心分離後の上清を用いた酢酸発酵の酢酸蓄積経過を示す。酢酸濃度は発酵開始から上昇を続け、発酵6日目あたりから微増となり、発酵8、9日目で最高酢酸濃度となった。一方、基質であるエタノールは酢酸の蓄積に同調して減少し、発酵9日目には含有していたエタノールのほとんど全量が消費された。

酢酸菌がアルコールを酸化し酢酸を生ずる場合、嫌氣的反応と好氣的反応がある。嫌氣的な場合には2分子のアセトアルデヒドから1分子のエタノールと1分子の酢酸が生成されるが、正常な造酢工程では次式であらわされる好氣的反応が行われる。



式1の通り、1分子のエタノールが1分子の酢酸に変換されるが、その間、中間物質としてアセトアルデヒドが生成されている。酢酸菌の酢酸生成機構は一般的な発酵とは異なり、酸素の消費を通じて基質を酸化することで達成されることから酸化発酵と呼ばれている。酸化発酵は酢酸菌の細胞膜外表面に結合した酸化還元酵素に依存した不完全酸化反応であり、これら酸化還元酵素が基質を酸化することで引き抜いた電子を膜内に存在す

るユビキノンに伝達し、その末端で機能するユビキノール・オキシダーゼを介して酸素を水に還元し反応を行っている^{6,7)}。

その為、酢酸発酵原料内に存在するエタノールは、上記の酸化発酵の機構により細胞膜表面でアセトアルデヒドに酸化され、更に酸化されることで酢酸が生成される。

この発酵の特徴として、細胞膜外のペリプラズム領域内で反応が完結することから、消費する基質に対して得られる発酵生産物の収率が高いことが挙げられる。本実験においても、基質であるエタノールの消費量に対する酢酸生成量の割合はトマトジュースのアルコール発酵物を用いた条件では約 80%，その遠心分離後の上清を用いた条件では約 90%と高い収率であることを確認した。このことから、上記方法で行った酢酸発酵はいずれも酢酸菌への酢酸生成阻害はなく、順調に酢酸発酵

が行われたことがわかる。

上記方法で得られたトマト酢の成果物を図 3 に示す。図 3 (左) より、通常の方法で得られたトマト酢はトマトの色調を有し、一方で、図 3 (右) より、遠心分離後の上清を酢酸発酵したトマト酢では通常のトマト酢に比べ淡桃色であった。

トマトは果皮の色によって桃色系トマト、赤色系トマト、黄色系トマトの 3 つに大別される。これら色調の差異はトマトが含有しているカロテノイドの種類や量によるものであり、赤色系になるほどリコペンが多く、黄色系になるほどβ-カロテンが多く含まれる⁸⁾。このことから、通常の方法で得られたトマト酢がトマトの色調を有しているということは、原料であるトマト由来のリコペンを多量に残存しているためであることが示唆される。カロテノイドは天然に広く分布する脂溶性色素であり、多くの疫学調査でカロテノイドが生活習慣病の罹患リスクの軽減や発がん抑制作用、抗酸化活性などを有していることが明らかとされており、トマトを摂取することでも同様の結果となることが複数報告されている^{9,10)}。トマトの加工品においても、これらカロテノイドに由来する機能性が多数報告されていることから、上記方法で得られたトマト酢についても同様の機能性を有していることが期待される^{11,12)}。

また、これらトマト酢の風味について 10 名のパネルで比較したところ、双方トマト由来の風味は残しつつ、通常のトマト酢では「旨味」を感じ、

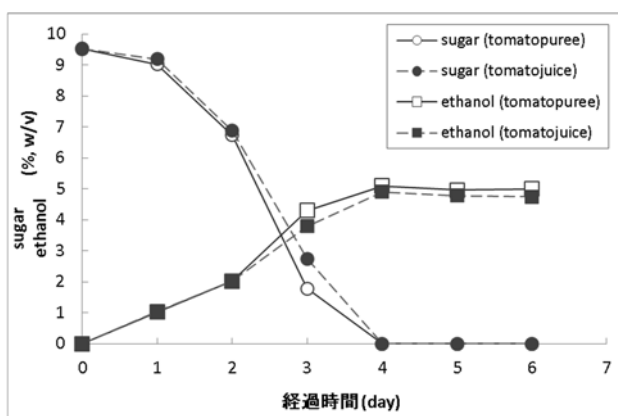


図 1 アルコール発酵経過

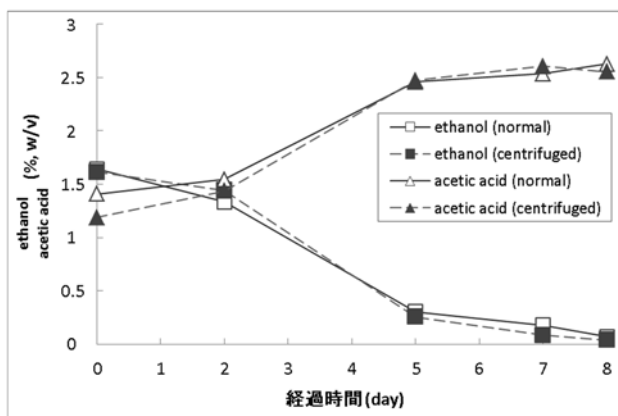


図 2 酢酸発酵経過



図 3 トマト酢外観 (左：通常，右：遠心分離後上清)

遠心後上澄みを用いたトマト酢では「すっきり感」を感じる結果となった。

トマトに含まれる遊離アミノ酸はグルタミン酸やアスパラギン酸が多く含まれていることが知られており¹³⁾、野菜や果実を主原料とした醸造酢では原料由来のアミノ酸と似通ったアミノ酸組成となることが報告されていることから¹⁴⁾、トマト酢においても原料由来のアミノ酸により旨味が残ったと考えられる。

これらの結果より、トマト由来のアルコール発酵物を用いて酢酸発酵が可能であることが確認できた。更に、得られたトマト酢の色調や風味に及ぼす原料由来の成分の関与について現在研究を進めており、機能性や旨味との関与について明らかにしたい。

4. 結論

トマト由来の原料を用いて三重県酵母によるアルコール発酵を行い、得られたアルコール発酵物を用いて酢酸菌による酢酸発酵を行った。その結果、アルコール発酵では発酵用原料中に含まれるグルコースとフルクトースのほぼ全量が酵母によりエタノールに変換され、酢酸発酵ではほぼ全量のエタノールが酢酸菌により酢酸に変換された。この方法で得られたトマト酢は色感や香味も良好で、トマト由来の機能性や旨味を残存していることが示唆された。

参考文献

- 1) 農林水産省：“6次産業化をめぐる情勢について”
- 2) 農林水産省：“6次産業化の取組事例集”
- 3) 農林水産省：“統計データ”
- 4) 綾部園子ほか：“同じ条件で栽培した高糖度トマトと大玉トマトの比較”。日本調理科学会誌, 42 (3), p188-193 (2009)
- 5) 山崎栄次ほか：“酵母によるトマト化学成分の変換”。三重県工業研究所研究報告, 40, p54-56 (2016)
- 6) 飴山 實：“酢の科学”。朝倉書店. p120-139 (1990)
- 7) 松下一信：“好気呼吸による「発酵」を行う酢酸菌”。生物工学会誌, 90 (6), p340-343 (2012)
- 8) 広田才之ほか：“トマト純系 strains の果肉中のカロチノイド分析”。日本食品工業学会誌, 29 (8), p477-483 (1982)
- 9) 眞岡孝至：“カロテノイドの多様な生理作用”。食品・臨床栄養, 2, p3-14 (2007)
- 10) R. M. Callejon et al.: “Enhancing the Health-Promoting Effects of Tomato Fruit for Biofortified Food”. Mediators of Inflammation, 2014, (2014)
- 11) J. H. Lee et al.: “New vinegar produced by tomato suppresses adipocyte differentiation and fat accumulation in 3T3-L1 cells and obese rat model”. Food Chemistry, 141, p3241-3249 (2013)
- 12) M. Koyama et al.: “Fermentation-induced changes in the concentrations of organic acids, amino acids, sugars, and minerals and superoxide dismutase-like activity in tomato vinegar”. Int. J. Food Prop, 20(4), p888-898 (2017)
- 13) 高田式久：“トマトのアミノ酸について”。日本家政学会誌, 63 (11), p745-749 (2012)
- 14) R. M. Callejon et al.: “Determination of amino acids in grape-derived products: A review”. Talanta, 81(4-5), p1143-1152 (2010)

(本研究は、法人県民税の超過課税を財源としています。)