産学官連携による紫サツマイモ発酵醸造酒の開発

醸造原料の機能性を生かすためには発酵醸造酒として活用する方法が有望である。著者らは地域資源を用いた地域産業の活性化を図るために、機能性を有する紫サツマイモに着目し、機能性保持のために生の無蒸煮原料を用い、クエン酸を生成する焼酎麴を組み合わせることにより、高い生体調節効果が期待できるユニークな醸造酒を開発した。本稿ではその開発経緯と製造方法、期待される効果について詳しく解説頂いた。

三枝 敬明・大庭理一郎

崇城大学・応用微生物工学科・食品生物科学講座にて開発された紫サツマイモ発酵醸造酒（商品名「ぱーぶる」）が2004年4月に発売開始となった。この発酵醸造酒の開発は1996年よりスタートし、その後、熊本TLOによって特許を取得した。現在、千代の園酒造株式会社（熊本県山鹿市）にて製造・販売されている。九州沖縄農業研究センターにて開発された紫サツマイモと焼酎用米麴（白麴）のみを原料とし、独創性に富んだ製造方法による、これまでに類のない一風変わった発酵醸造酒である。この発酵醸造酒はワイン様の香りを持ち、長期間安定な鮮やかな赤い色調を呈している。白麴の生産するクエン酸には疲労回復効果があり、紫サツマイモのアントシアニン色素には生活習慣病に対する予防効果がある。筆者らは、この発酵醸造酒「ぱーぶる」が人々の健康維持に貢献できることを期待している。

1. はじめに

筆者らは現在、地域産業の活性化を目的にサツマイモの新規利用拡大に取り組んでいる。その一環として、特にアルコール飲料への利用について研究を進めている。近年、九州沖縄農業研究センターにおいて、消費者が求める多様な食の需要に対応するために、新規加工用のサツマイモ品種すなわち、紫色サツマイモ（アントシアニン高含有）、オレンジ色サツマイモ（カロチン高含有）および黄色サツマイモ（フラボノイド高

含有）の育種がこれまでに続けられている。

その中でも紫色サツマイモ「アヤムラサキ」（*Ipomoea batatas* cv. Ayamurasaki）はこれまでの報告より、紫サツマイモの中でもアントシアニン色素含有量が多く、色素安定性も高いことが確認されている¹⁾。更に抗酸化能²⁾、抗変異原性³⁾、肝機能軽減作用⁴⁾などの生体調節機能性に優れていることも多数報告されている。

一方、アヤムラサキをはじめ紫サツマイモの新規利用法としては発泡酒⁵⁾やヨーグルト^{6,7)}など様々な利用もこれまでに多数報告されている。その中で筆者らは、アヤムラサキ本来の持つ高い生体調節機能性を損なわずに発酵醸造酒（以下、発酵酒）に生かすことができるような製造工程の確立を目的として開発研究を進めてきた。

本稿では、産学官連携により誕生したアヤムラサキ発酵酒「ぱーぶる」（写真1）の開発と商品化に至るまでの経緯について紹介する。

2. 発酵酒に適する紫サツマイモの選抜⁸⁾

筆者らは紫サツマイモを原料とする発酵酒の開発を目的に、九州119号、九系165号、九系174号、九系194号、九系195号およびアヤムラサキの計6種類の紫サツマイモの中から最も発酵酒に適したサツマイモの選抜を行った。蒸し器で1時間蒸した蒸煮紫サツマイモを各々原料とし、*Aspergillus niger* 由来のグル

Development of Alcoholic Fermentation Beverage Produced from Purple-fleshed Sweet Potato
Noriaki SAIGUSA and Riichiro OHBA (Department of Applied Microbial Technology, Faculty of Biotechnology and Life Science, Sojo University)

写真1 紫サツマイモ“アヤムラサキ”発酵醸造酒
「ぱーぶる」

コアミラーゼ製剤を糖化剤として用いて、協会9号酵母により、初発 pH 3.5, 25°Cにてアルコール発酵を行った。その結果、アヤムラサキを原料とした発酵酒はイソアミルアルコールやイソブチルアルコール等の高級アルコール類の濃度が高く、香りにおいても最も良好でブドウを原料とする赤ワインの香りに類似していた。また、酸度は他の5種類に比べて最も低く、比較的飲みやすかったことより、アヤムラサキは発酵酒の原料として期待できると考えられた。

更に、色調においても、アヤムラサキ発酵酒の 530 nm における吸収値が他に比べて高く、アントシアニン色素を多く含んでいると思われた。以上の結果から、アヤムラサキを発酵原料に使用することで、赤ワインに類似したフルーティーな香りを持つ発酵酒が期待できた。また、アントシアニン色素を多く含むことにより、生活習慣病の予防効果も更に期待できると思われた。

3. 発酵酒の品質に及ぼす蒸煮工程の影響⁹⁾

次に筆者らは、省エネルギーの観点から、あるいはアヤムラサキに含まれる生体調節機能性物質を損なわずにそのまま発酵酒に使用したいという考えから、熱処理を加えていない生のアヤムラサキを発酵原料に使用して発酵酒を試醸し、その特徴について検討した。

前項において述べたように、生および蒸煮アヤムラサキを各々原料とした発酵酒を試醸したところ、生アヤムラサキは蒸煮アヤムラサキに比べて約2倍の発酵時間を要したものの、発酵終了時にはほぼ同程度の二酸化炭素発生量を示した。また香気成分濃度を調べたところ、生アヤムラサキ発酵酒にはイソアミルアルコール、イソブチルアルコール、*n*-プロピルアルコール等の高級アルコール類が蒸煮アヤムラサキ発酵酒に比べて多く含まれていた。更に市販のワインと比較しても生アヤムラサキ発酵酒の高級アルコール類が多く含まれる傾向にあった。生アヤムラサキ発酵酒および蒸煮アヤムラサキ発酵酒の香りは共にブドウから製造した赤ワインに類似していたが、特に生アヤムラサキ発酵酒の香りが良好であった。液量に関しては生アヤムラサキ発酵酒が蒸煮アヤムラサキ発酵酒に比べて多く得られた。残渣について比較したところ、生アヤムラサキ発酵酒は蒸煮アヤムラサキ発酵酒に比べて約半分の重量と少なかった。

次に発酵酒の色調について分析したところ、生アヤムラサキ発酵酒に比べて蒸煮アヤムラサキ発酵酒の赤色が強く濃かった。また発酵酒の連続吸収パターンにおいてはアヤムラサキを蒸煮して使用することにより 530 nm における吸収値が生アヤムラサキ発酵酒に比べて高くなった。

以上のように生アヤムラサキ発酵酒と蒸煮アヤムラサキ発酵酒の品質に大きな違いが確認された。アヤムラサキに含まれるアントシアニン色素はシアニジンおよびペオニジンを基本骨格とする少なくとも8種類以上のアントシアニン色素が報告されている^{3,10-12)}。そこで発酵酒に含まれるアントシアニン色素を TLC および HPLC にて分析したところ、共にシアニジンおよびペオニジンを基本骨格とするアントシアニン色素を10種類同定することができた¹³⁾。特に、蒸煮アヤムラサキ発酵酒にはアシル化されたアントシアニン色素が生アヤムラサキ発酵酒に比べて多く含まれており、逆に生アヤムラサキ発酵酒には非アシル化アントシアニン色素が比較的多く含まれる傾向にあった(第1図、第2図)。これは、生アヤムラサキをすりつぶしたことによって生アヤムラサキ中に存在する脱アシル化酵素がアントシアニン色素に作用したことによると推察した。一方、蒸煮アヤムラサキにおいては熱処理工程により酵素が失活し、脱アシル化が起こらなかったと

リテンションタイム (分)

第1図 蒸煮アヤマラサキ(A), 生アヤマラサキ(B)を原料とした発酵醸造酒
およびアヤマラサキ15%酢酸抽出液(C)のHPLCパターン
カラム: Inertsil ODS-3 (5 μ m) 4.6 I.D.×250 mm
溶出液: A) リン酸/水 (15/985)
B) リン酸/酢酸/アセトニトリル/水 (15/200/250/535)
濃度勾配: B 45%---(30分)---55%---(70分)---65%
流速: 1.0 ml/分, 温度: 35°C, 検出: 530 nm,
感度: 0.064 AUFS, 注入: 20 μ l

第2図 アヤマラサキ発酵醸造酒に含まれるアントシアニン色素の構造
シンボル: Caf, カフェ酸; Phb, パラヒドロキシ安息香酸; Fer, フェルラ酸

思われた。しかし、生のアヤマラサキを原料に用いて
発酵酒を製造することにより以下のことが期待できた。
すなわち、

- ① アヤマラサキにはアントシアニン色素が多く含
まれることからアヤマラサキ発酵酒を飲むことに

よって生活習慣病の予防が期待できる(発酵酒の
アントシアニン色素が保持できた場合)。

- ② 蒸煮工程を省くので、省エネルギーの観点から
有効である。
- ③ 蒸煮発酵酒の液量に比べて生発酵酒の液量が多

第3図 発酵開始前放置時間と温度の異なる生アヤマラサキ発酵醸造酒の連続吸収パターン
シンボル：◇，0時間；□，1時間；△，2時間；○，3時間。

いことより製造コストの面から有利である。

④ 発酵残渣が少ないので、環境問題の点から有効である。

⑤ 香りがワインに類似しており、蒸煮発酵酒に比べて良好であるので、嗜好品として有利である。

しかしながら、生アヤマラサキ発酵酒は蒸煮アヤマラサキ発酵酒に比べて、赤色が淡く、アントシアニン色素含量が少ないことが欠点である。生アヤマラサキ発酵酒に含まれるアントシアニン色素をいかに多く保持するかが検討課題である。また、そのような製造工程を確立することは、アヤマラサキ発酵酒の持つ生体調節機能性の向上につながると思われた。

4. アントシアニン退色制御法の検討¹⁴⁾

前項でも述べたように、アヤマラサキの様々な機能性を損なわずにそのまま発酵酒の付加価値として利用するためには、生のアヤマラサキを原料として用いることが望ましいと思われた。しかし、実際問題として、発酵酒を工場規模で製造する際、生のアヤマラサキをすりつぶして、発酵を開始するまでの間、何らかの方法で退色を制御する技術が必要である。そこで、可能な限りアントシアニン色素の退色を制御できる方法について検討した。

はじめに、アヤマラサキを原料に用いて、以下のよ

うな方法で発酵酒を試醸した。皮をむいた生アヤマラサキをすりつぶした後、5°Cあるいは30°Cで1，2，3時間各々暗所に放置した。その後酵母，グルコミラーゼ製剤および水を加え，pHを乳酸により3.0に調整し，発酵を開始した。発酵終了後，各発酵酒の色調について検討した。生アヤマラサキをすりつぶした後，発酵開始まで放置した各発酵酒は，生アヤマラサキをすりつぶして直ぐにpHを3.0に調整し，発酵を開始した発酵酒に比べると，530 nmにおける吸収値の減少，すなわちアントシアニン色素の減少が確認された。また，その減少は放置時間の長さに依存した(第3図)。退色の原因はおそらくアヤマラサキ中のポリフェノールオキシダーゼ等のアントシアニン色素分解酵素によるものと思われた。5°Cに設定したものは30°Cに比べて僅かに退色が抑制されていたが，温度による退色抑制は困難であると思われた。また，色差計による色質評価を行った結果，すりつぶした後の放置時間が長くなるに従って，赤色の強さの指標であるa値の減少と透明度の指標であるL値の増加が見られた。これは発酵酒中のアントシアニン色素の減少による影響であり，特に30°Cにて放置した発酵酒において大幅なa値の減少とL値の増加が見られた。

そこで次に，アヤマラサキに含まれるアントシアニン色素の退色を制御できるpHについて検討した。蒸

煮アヤマラサキ水抽出液に対して、生アヤマラサキ水抽出液あるいはこの生アヤマラサキ水抽出液を沸騰水浴中にて10分間熱処理したものを各々添加し、30°Cで24時間反応させ、530nmにおける吸収値を測定した。反応液中のpHは各々3.0、4.0、5.0および6.0の4通りで行った。生アヤマラサキ水抽出液添加の場合、pH 6.0においては、23%の退色が確認されたが、pH 3.0においては全く退色は見られなかった。一方、熱処理した水抽出液に関しては、今回分析した全てのpHにおいて退色は見られなかった（第4図）。以上のことから、pHを3.0に調整することで、生アヤマラサキのアントシアニン色素の退色を抑制できることが判明した。そこで次の5種類の発酵酒を試醸し、その530nmにおける吸収値を比較評価することにより、退色制御の更なる確認を行った。（発酵酒A）蒸煮アヤマラサキにグルコアミラーゼ製剤、協会ワイン4号酵母を添加し、乳酸にてpHを3.0に調整後、25°Cにて発酵を行った。（発酵酒B）生アヤマラサキを発酵原料とし、すりつぶして直ぐに乳酸でpHを3.0に調整して、Aと同様に発酵を行った。（発酵酒C）生アヤマラサキを発酵原料とし、すりつぶしてから30°C、3時間、暗所にて放置後、pHを乳酸にて3.0に調整して、Aと同様に発酵を行った。生アヤマラサキをすりつぶして直ぐに、乳酸あるいはクエン酸でpHを3.0に調整し、30°Cで3時間放置した後に、Aと同様に発酵を行った（乳酸添加は発酵酒D、クエン酸添加は発酵酒E）。5種類の発酵酒の530nmにおける吸収値を比較したところ、発酵酒BとDが最も高く、次に発酵酒AとEであった（第1表）。乳酸に比べると僅かにクエン酸による退色制御力は弱かったが、共に生アヤマラサキ発酵酒の製造においては有効であると思われた。特に、クエン酸で退色を制御した発酵酒には、高級アルコール類であるイソアミルアルコールとイソブチルアルコールが多く含まれており、今回試醸した5種類の中で最も香りが強く、官能的に良好であった。これはクエン酸がアルコール発酵の代謝経路に何らかの影響を及ぼしているのではないかと推察した。アヤマラサキ発酵酒の製造において、クエン酸の有効性が示唆された。しかし、酸度に関しては、乳酸あるいはクエン酸を添加した発酵酒がともに高く、この状態では酸味が強すぎて、飲むのに困難であった。しかし、生アヤマラサキ発酵酒の製造において、色調ある

第4図 アントシアニン色素の退色におけるpHの影響
色素残存率(%)は反応0時間に対する反応24時間の530nmにおける吸収値の比(A24/A0)

第1表 pH調整により退色を制御したアヤマラサキ発酵酒の530nmにおける吸収値

	アヤマラサキ発酵酒				
	A	B	C	D	E
A ₅₃₀	1.68	1.90	0.68	1.96	1.69

A：蒸煮発酵酒，B：生発酵酒（放置時間0時間），
C：生発酵酒（放置時間3時間），
D：生発酵酒（乳酸添加・放置時間3時間），
E：生発酵酒（クエン酸添加・放置時間3時間）。
3回測定の平均値。

いは香りの点から、クエン酸の有効性が示唆され、このことは、アントシアニン色素の機能性に加え、クエン酸の疲労回復効果を含む機能性発酵酒の開発に期待がもたれた。

更に、クエン酸で退色を制御した仕込み方法において、各種酵母（清酒用、ワイン用、焼酎用）を用いて発酵酒を試醸した。その中でも、特に協会ワイン4号酵母を使用した発酵酒は、イソアミルアルコールとイソブチルアルコール濃度が最も多く含まれており、香りも良好であった。アヤマラサキ発酵酒の製造には協会ワイン4号酵母が最適であることも確認された。

第5図 紫サツマイモ“アヤマラサキ”発酵醸造酒「ぱーぶる」の製造方法

5. 最適仕込み配合の検討

前項において、生アヤマラサキ発酵酒の退色制御ならびに香りの改良にはクエン酸が効果的であり、更に協会ワイン4号酵母を使用することが望ましいことを述べた。しかしながら、味に関しては、まだ課題が残されていた。そこで、筆者らは、クエン酸を生成する、白麹に着目して、紫サツマイモと白麹を原料とする発酵酒について検討した。

初発糖濃度を統一し、発酵酒のエタノール濃度が10%(V/V)になるようにアヤマラサキと白麹および水の割合をかえて仕込みを行った。その結果、総仕込割合「アヤマラサキ：白麹：水=20：30：85」が最も香りが良好であることが判明した。これらの結果を踏まえ、筆者らは以下の方法により、アヤマラサキ発酵酒の味の改良を行い、発酵酒を完成させた。先ほど述べた様に総仕込割合は「アヤマラサキ：白麹：水=20：30：85」となるようにし、次の手順で行った。はじめに、白麹、協会ワイン4号酵母および水を混合し、25°Cで発酵させ、この発酵もろみを一次もろみとした。一方で、白麹、生アヤマラサキおよび水を混合し、55°Cで約6時間糖化し、糖化液を作製した。この糖化液は白麹のクエン酸により、酸性に保たれ、アントシアニン色素の退色を抑制している。この糖化液を一次もろみに加え、更に発酵させ（約一晚）、米麹による酸味と糖化液による甘みが調和した時点でろ過し、発酵酒が完成した（第5図）。

6. 抗酸化能

「ぱーぶる」の抗酸化能について、市販のビール（2種類）、焼酎（1種類）、清酒（1種類）、赤ワイン

（4種）、および白ワイン（1種）と比較評価した。

DPPH（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl）ラジカル消去能に関しては、分析した酒類中、4種の赤ワインに次いで消去能が高かった。しかしながら、 β -カロテンを用いた脂質過酸化阻止能に関しては、分析した酒類中最も高く、機能性発酵酒としての可能性が示唆された。

7. 商品化

崇城大学・応用微生物工学科にて開発した紫サツマイモ発酵醸造酒の製造技術は熊本TLOに技術移転され、特許を取得した。千代の園酒造株式会社にライセンスし、現在、製造・販売されている。この発酵醸造酒の名称とパッケージは本大学芸術学部の学生により考えられたものである。熊本県内の大学で開発され、同県内の西原村で栽培されたアヤマラサキを使用して、熊本県内の酒造会社で製造・販売されている、熊本の新しい酒である（第6図）。

8. おわりに

以上、紫サツマイモ“アヤマラサキ”発酵醸造酒「ぱーぶる」の開発と商品化に至った経緯について紹介させていただいた。千代の園酒造株式会社、崇城大学、九州沖縄農業研究センターの産学官共同開発商品であり、熊本県オリジナル商品である。白麹の生産するクエン酸には疲労回復効果があり、紫サツマイモのアントシアニン色素には生活習慣病に対する予防効果があるが、「ぱーぶる」としての機能性評価に関しては、まだまだ検討すべき課題が多く残されている。今後、多くの方々に飲んで頂き、健康維持に貢献できるように更に努力する所存である。

第6図 産学官連携による「ばーぶる」の開発と商品化

<崇城大学応用微生物工学科>

参考文献

- 1) 吉元 誠, 山川 理, 須田郁夫: 食品と開発, 33, 15-17 (1998)
- 2) S. Furuta, I. Suda, Y. Nishiba and O. Yamakawa: *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, 4, 33-35 (1998)
- 3) M. Yoshimoto, S. Okuno, M. Yoshinaga, O. Yamakawa, M. Yamaguchi and J. Yamada: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 63, 537-541 (1999)
- 4) 須田郁夫, 古田 収, 西場洋一, 山川 理, 松ヶ野一郷, 杉田浩一: 日食科工誌, 44, 319-324 (1997)
- 5) 鮫島吉廣, 中島雅樹: 醸協, 93, 615-620 (1998)
- 6) 工藤康文, 松田茂樹: 日食科工誌, 47, 619-625 (2000)
- 7) 工藤康文, 松田茂樹: 日食科工誌, 47, 727-730 (2000)
- 8) 大庭理一郎, 三枝敬明, 堀井 恒: 醸協, 95, 207-213 (2000)
- 9) 三枝敬明, 堀井 恒, 大庭理一郎: 醸協, 95, 771-775 (2000)
- 10) 津久井亜紀夫, 鈴木敦子, 小巻克己, 寺原典彦, 山川 理, 林 一也: 日食科工誌, 46, 148-154 (1999)
- 11) 小竹欣之輔, 畑中顕和, 梶原忠彦, 室井てる予, 西山浩司, 山川 理, 寺原典彦, 山口雅篤: 日食工誌, 41, 287-293 (1994)
- 12) 津久井亜紀夫, 鈴木敦子, 椎名隆次郎, 林 一也: 日食科工誌, 47, 311-316 (2000)
- 13) N. Saigusa, N. Terahara and R. Ohba: *Food Sci. Technol. Res.*, 11, 390-394 (2005)
- 14) N. Saigusa, N. Kawashima and R. Ohba: *Food Sci. Technol. Res.*, 13, 23-27 (2007)