

サトイモ焼酎の香味特性と焼酎粕の機能性

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	曾,伝濤 劉,夢迪 吉崎,由美子 遠城,道雄 奥津,果優 二神,泰基 玉置,尚徳 高峯,和則
発行元	日本醸造協会
巻/号	117巻10号
巻号補足	
掲載ページ	p. 701-711
発行年月	2022年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



サトイモ焼酎の香味特性と焼酎粕の機能性

曾 伝濤¹・劉 夢迪²・吉崎由美子^{1,3*}・遠城道雄⁴・奥津果優³・二神泰基^{1,3}・玉置尚徳^{1,3}・
高峯和則^{1,3}

(¹ 鹿児島大学大学院連合農学研究科, ² 鹿児島大学大学院農林水産学研究科, ³ 鹿児島大学農学部附属焼酎・
発酵学教育研究センター, ⁴ 鹿児島大学農学部附属農場)

令和3年9月2日受理

Flavor properties of Taro-shochu and the bioactive function of the distillation residue

Chuntao ZENG¹, Mengdi Liu², Yumiko YOSHIZAKI^{1,3*}, Michio ONJO⁴, Kayu OKUTSU³, Taiki FUTAGAMI^{1,3},
Hisanori TAMAKI^{1,3}, Kazunori TAKAMINE^{1,3}

(¹The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto, Kagoshima, Japan,

²Graduate School of Agriculture, Forestry and Fisheries, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto,
Kagoshima, 890-0065, Japan,

³Education and Research Center for Fermentation Studies, Faculty of Agriculture, Kagoshima University,
1-21-24 Korimoto, Kagoshima, 890-0065, Japan,

⁴Experimental Farm, Faculty of Agriculture, Kagoshima University)

The aims of this study were to produce taro-shochu, identify the characteristic flavors of taro-shochu, and determine the bioactivities of the distillation residue by comparison with sweet potato-shochu. Peeled and unpeeled taro were used for the preparation of shochu. Taro-shochu moromi was fermented to a similar degree as sweet potato-shochu moromi. Therefore, it was confirmed that the taro skin did not affect the fermentation. The acidity of taro-shochu moromi was higher than that of sweet potato-shochu moromi. The alcohol yield from the distillation of taro-shochu was similar to that from sweet potato-shochu. The sensory evaluation indicated that taro-shochu had significantly weaker fruity and floral flavors than sweet potato-shochu, while, taro-shochu had a tendency for a stronger green flavor than sweet potato-shochu although there is no significant difference between the two shochus. In addition, taro-shochu had more astringency, bitterness, and richness. From the comparison of the volatile compounds using gas chromatography mass spectrometry, taro-shochu was determined to contain lower concentrations of esters and terpenoid compounds, which have characteristic fruity and floral aromas, and higher concentrations of alcohols and aldehydes, which have green and soapy aromas, than sweet potato-shochu. Furthermore, the supernatant from the distillation residue of taro-shochu had both anti-glycation activity and strong angiotensin converting enzyme inhibition activity.

Key words : サトイモ焼酎 (Satoimo-shochu), 香气特性 (flavor property), 官能評価 (sensory evaluation),
焼酎粕 (distillation residue), 機能性 (bioactive function)

* <責任著者> 吉崎由美子 : k7814020@kadai.jp

緒 言

サトイモは、東南アジア原産のタロイモ類と同じサトイモ科の植物である。サトイモは、親イモに付く形で子イモ、孫イモとイモになる。主に子イモが食され、親イモはえぐみがあるためにほとんど食されず、廃棄される。圃場に破棄した場合は、病害の発生源の一つになることなどから、栽培の健全化に加えて、有効活用することによる農業所得の向上、食品産業の活性化、地産地消の促進を図るために、親イモを活用した加工製品の開発が求められており、その活用方法の一つとして、焼酎原料としての利用が期待される。

サトイモの焼酎や醸造物への利用を目指した研究はこれまでも行われており、製造への適応性の確認や非発酵部位として外皮の除去方法が検討されている^{1,2)}。しかしながら、サトイモ焼酎の香り特性について明らかにした研究はない。我々は、これまでの研究において、サツマイモの外皮を含む外側部分に芋焼酎の特徴的香り成分であるモノテルペンアルコールの前駆体が多く含まれることを明らかにし、独特な香気の形成に外皮を含む外側の部位が寄与していることを報告している³⁾。したがって、サトイモの同様の部分も香気に影響を有する可能性が考えられる。

また、サトイモは加熱後にホクホクさと粘りが特徴の食品であり、その粘り気には増粘多糖（アラビノガラクトタン）やタンパク質が寄与することが報告されている⁴⁾。焼酎製造では、もろみ粘度が高いと、発酵温度が不均一になることや蒸留時に蒸気がもろみの一部に集中することでアルコール回収率の低下やもろみの焦げ付きによる風味の低下をもたらすことになる。さらに、サトイモはサツマイモと比べてデンプン価が低い⁵⁾ため、サツマイモ焼酎と同じ仕込み配合では二次もろみアルコール度数が低くなり、蒸留歩合が低くなると考えられる。二次もろみアルコール度数をできるだけ高くするには、仕込み配合におけるサトイモ使用量を増やし、汲み水量を減らすことが効果的であるが、その一方でサトイモの粘性が高いことから二次もろみ粘度が高まることに留意しなければならない。したがって、二次もろみアルコール度数ならびにサトイモの粘性を考慮した仕込み配合を決定することが求められる。

一方、焼酎製造時の副産物として排出される焼酎粕

は、平成19年4月以降の海洋投棄が原則禁止されたことによりメタン発酵や焼却、活性汚泥法による陸上処理が行われている。近年、持続可能な開発目標（SDGs）を設定することが求められており、特産品を用いて焼酎を製造した場合には、焼酎粕の有効活用まで検討しておくことが重要である。生体内においてタンパク質の糖化は、非酵素的な化学反応により生じている。糖化したタンパク質は、糖化最終生成物（advanced glycation end products: AGEs）となる。糖化によるAGEsの蓄積は、糖尿病合併症や皮膚老化、認知症、高血圧、動脈硬化、骨粗鬆症などの進展に関与することが分かっている⁶⁾。したがって、近年「抗糖化」に着目した食品の探索などが活発に展開されている。我々が日常的に摂取する野菜の多くにも抗糖化活性があり、今回の実験材料であるサトイモやサツマイモにも抗糖化活性が報告されている⁷⁾。またアンジオテンシンⅠ変換酵素（angiotensin converting enzyme: ACE）は、アンジオテンシンⅠのC末端ジペプチドを切断し、強い血圧上昇作用を示すアンジオテンシンⅡを生成する酵素であり、ACEの活性を阻害することで血圧の上昇を抑えることが報告されている⁸⁾。様々な食品にこのACE阻害作用が認められており、米焼酎粕および芋焼酎粕にもACE阻害活性が認められている⁹⁾。このことから、サトイモ焼酎粕にも抗糖化活性およびACE阻害活性があることが期待された。

そこで本研究では、サトイモの親イモを焼酎の原料とした新たな価値を生み出すことを目的とし、外皮を残したサトイモ（皮あり）および外皮を含む外側部分を除去したサトイモ（皮なし）の2種類を原料として小仕込み試験を行い、サトイモ焼酎の香味の特徴を見出すことを試みた。さらに焼酎粕の機能性を調べたので報告する。

実験方法

1. 使用菌株および試薬、原料

焼酎用白麹菌は、(株)河内源一郎商店（鹿児島）より購入した河内白麹菌を使用した。酵母は鹿児島県工業技術センターより分譲された鹿児島5号酵母を用いた。一般分析に使用した試薬類は、特に明記しない限り、市販の特級試薬を使用した。麴米は、本坊商店(株)より購入した焼酎用原料米を使用した。サトイモは、鹿児島県農業開発総合センター大隅支場の圃場で栽培され、

2019年6月に収穫された品種“大吉”(*Clocasia esculenta* Schott cv. Daikichi)の親芋を使用した。サツマイモは、品種“コガネセンガン”(*Ipomoea batatas* L. cv. Koganesengan)を小売店(鹿児島市)より購入した。

2. サトイモのデンプン価の測定

サトイモのデンプン価は、国税庁所定分析法注解に準じて行った¹⁰⁾。サトイモは、家庭用蒸し器にて1時間蒸煮後、約1 cm³に粉碎したものを測定に用いた。

3. 仕込み試験

サトイモは外皮を残したそのままのものと外皮を含む外側部位を剥いたものの2種類を準備した。以降は、それぞれをサトイモ皮ありおよびサトイモ皮なしと表記する。サツマイモは皮を残したそのままのものをを使用した。仕込み試験は、すべて3連で行った。一次仕込みの仕込み配合は、麴米140 g相当量の米麴、汲み水168 gとした。汲み水は、予め水163 gと酵母培養液5 mLを混合したものをを使用した。一次もろみは30℃の温浴水槽で5日間発酵させた。二次仕込みに使用するサツマイモおよびサトイモは家庭用蒸し器にて1時間蒸煮した後、金属製メッシュに通して約1 cm³に粉碎して準備した。サツマイモ焼酎は、サツマイモ700 gおよび汲み水392 gを一次もろみに添加した。サトイモ焼酎は、皮ありまたは皮なし共に980 gおよび汲み水112 gを一次もろみに添加した。二次もろみは30℃の温浴水槽で7日間発酵させた。蒸留には、発酵終了後のもろみ800 gを使用した。ガラス製蒸留器を用いて、蒸気吹き込みによる常圧蒸留により行った¹¹⁾。留液のアルコール度を携帯型密度(DMA-35, アントンパール社)にて測定し、10%以下になったところを蒸留の終点とした。原酒は、メンブレンフィルター(親水性PTFE, 孔径5 μm, Merck Millipore)でろ過し、1ヶ月以上冷暗所にて保存した。その後、アルコール濃度が25% (v/v)になるように脱塩水にて割水し、再び同じメンブレンフィルターでろ過したものを焼酎サンプルとした。

4. もろみの発酵経過観察

発酵経過は、アルコール発酵に伴い生成する二酸化炭素量をもろみ重量の減少量により簡易的に測定する

ことで観察した。具体的には、もろみを含む容器の重量を毎日測定し、その減少量を積算した値をプロットした。

5. 酵母数の測定

発酵終了後のもろみをよく攪拌した後、ガーゼろ過したろ液を用いて酵母の総菌数および生菌数をヘマトメーターにより計測した。生菌数の測定にはアルカリメチレンブルー染色法を用いた¹²⁾。

6. もろみ一般分析(アルコール度数および揮発酸度)

もろみアルコール度数、もろみ酸度、揮発酸度、全糖量および直接還元糖量の測定は、国税庁所定分析法注解に準じて行った¹⁰⁾。

7. 粘度測定

粘度測定には回転粘度計(ビスコテスター VT-06, リオン㈱, 東京)を使用した。粘度測定は、1号ローター(φ24×53×166 mm), 回転数は62.5 rpmの条件で行なった。もろみは測定前に攪拌し、均一な状態にし、測定を行った。

8. 官能評価

焼酎サンプルは、アルコール濃度が25% (v/v)になるように脱塩水にて割水し、メンブレンフィルターでろ過したものを使用した。本格焼酎近未来評議会が作成した焼酎のフレーバーホイール¹³⁾を参考にして著者らが選んだ香り28項目、味8項目から官能評価用語の抽出を行った。具体的には、鹿児島大学農学部の教員および学生の13名(男性7名, 女性6名)のパネルにサトイモ焼酎およびサツマイモ焼酎サンプル中に官能的に感じられた用語をすべて挙げてもらった。これを集計し、選択人数の多い用語、香り7項目(甘臭, 果実香, 草様, ミルク様, 酸臭, アルコールおよび花様), 味5項目(甘味, キレ, 苦味, 渋味, および濃厚)を使用して、再度13名のパネルで香味の強度を分析する官能評価を行った。具体的には、焼酎サンプル情報を伏せた状態で、それぞれの焼酎サンプルの香味強度を6段階(0=感じない, 1=かすかに, 2=弱い, 3=普通, 4=強い, 5=非常に強い)で評価し、得られたデータの平均値をレーダーチャートに示した。

9. 揮発成分の同定および定量分析

焼酎サンプルの揮発成分の同定および定量分析は、Stir bar sorptive extraction 法 (SBSE 法) と連結をしたガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC-MS) により行った。焼酎サンプルは、アルコール濃度が 25% (v/v) になるように脱塩水にて割水し、メンブレンフィルターでろ過したものを使用した。アルコール類 7 成分、エステル類 23 成分、テルペン化合物 9 成分、アルデヒド類 3 成分、脂肪酸類 3 成分、その他 4 成分、合計 49 成分を定量した。測定機器および条件は、藏菌らの報告と同様に行なった¹⁴⁾。成分の一次同定は、AgilentChemStation ソフトウェアと NIS-T05a マススペクトルライブラリーにより行った。香氣寄与度である Odor Activity Value (OAV) は、サンプルに含まれる各化合物の濃度をその化合物の匂い閾値濃度で除した値で算出した。

10. 抗糖化活性および Angiotensin I-converting enzyme (ACE) 阻害活性の測定

サトイモ焼酎粕またはサツマイモ焼酎粕を 4,800 × g にて 15 分間、遠心分離して得られた上清および後述のカラムクロマトグラフィーによる分画画分を測定サンプルに用いた。抗糖化活性は、グリセルアルデヒドによるアルブミンの糖化反応を測定することができるアルブミン抗糖化アッセイキット (グリセルアルデヒド) (コスモ・バイオ㈱, 東京) を用いて測定した。ACE 阻害活性は、ACE 阻害活性測定キット (同仁化学研究所㈱, 熊本) を用いて測定した。測定の方法は、添付のプロトコールに準じた。

11. SEPABEADS カラムクロマトグラフィーによる粕上清液の分画

10 で示した方法で焼酎粕より得られた上清 500 mL をセパビーズ担体 (約 500 mL, 内径 6 cm × 60 cm, 三菱化学㈱, 東京) を充填したガラスカラムに供した。始めに水を 1,000 mL を流し、非吸着画分を回収した。続いてエタノール溶液による 0-99.5% (v/v) のリニアグラジエントにて総量 5,000 mL で溶出した。エタノール溶液による溶出液は 200 mL ずつ分画し、得られた 25 本すべての 280 nm における吸光度分析を行い、溶出ピークごとにまとめた。まとめた画分は、ロータリーエバポレーターにてエタノールを除去、濃縮

した。濃縮サンプルは分析に使用するまで -20℃ で保存した。

実験結果および考察

1. サトイモ焼酎の仕込み配合

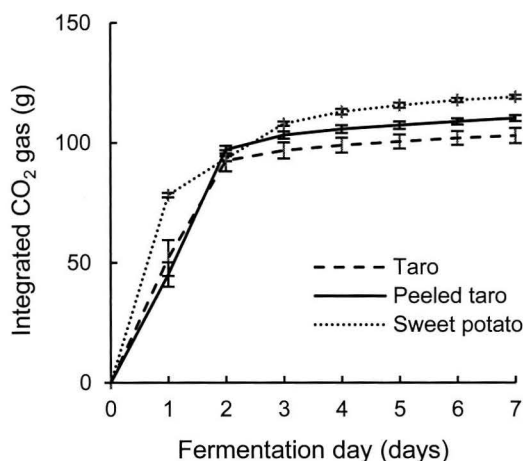
サトイモ焼酎の仕込み配合を検討するために、サトイモのデンプン価と水分量を測定した。その結果、本研究で用いた蒸したサトイモのデンプン価は 20.8%、水分量は 74.8% であった。蒸しサツマイモのデンプン価は日本食品標準成分表の炭水化物 31.2% および食物繊維 3.8% の数値より概ね 27.5% と算出され、水分量は 66.4% である⁵⁾。サトイモのデンプン価は、サツマイモのそれより低いものの、水分含量が高いことからサツマイモ焼酎の仕込み配合を参考にし、発酵二次もろみアルコール度数が同程度となるようにサトイモ焼酎の仕込み配合を決定した。具体的にはサツマイモ焼酎は蒸したサツマイモ 700 g および汲み水 392 g を一次もろみに加えた (麹歩合 20%, 汲み水歩合 66.7%) のに対して、サトイモ焼酎は主原料由来のデンプン量がサツマイモ焼酎と同等になるように皮ありまたは皮なしサトイモ共にサツマイモよりも 280 g 多い 980 g に増やし、増加した分は汲み水を 280 g 減らすことで調整し、汲み水 112 g を一次もろみに添加した (麹歩合 14%, 汲み水歩合 25%)。比較のためにサツマイモ焼酎の小仕込み試験も行った。

2. もろみおよび蒸留分析

サツマイモ焼酎の仕込み配合を参考にし、二次もろみのアルコール度数がサツマイモ焼酎と同程度になるように作成した今回の仕込み配合では、汲み水歩合が低いことなどからもろみの粘性が高くなり、発酵や蒸留を妨げるのではないかと懸念された。そこで発酵および蒸留に関する分析を行った。

アルコール発酵経過を観察したところ、二次仕込み一日目でサツマイモ焼酎もろみの発酵が一番速く、サトイモ焼酎もろみはやや遅かった (Fig. 1A)。サツマイモは加熱時に糊化したデンプンにサツマイモに含まれる β -アミラーゼが作用することによりマルトースが多量に生成する¹⁵⁾。蒸煮後のマルトース含量は、約 9% (w/w) となることから¹⁶⁾、サツマイモ焼酎もろみの二次仕込み直後のマルトース含量は約 5% である。これを麹の酵素が速やかにグルコースへと分解し、

(A)



(B)

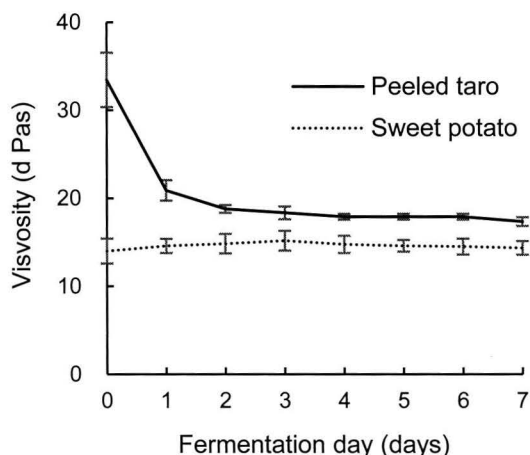


Fig. 1 Time course of alcohol fermentation and viscosity of second moromi.

(A) Alcohol fermentation. Alcohol fermentation was monitored by the amount of carbon dioxide gas generated which measured the reduction in the weight of the fermented sample every day. The integration curve for the weight reduction was plotted on a graph. Vertical bars indicate the standard deviations of three independent experiments. (B) Viscosity. Broken line, solid line, and dotted lines show taro, peeled taro, and sweet potato-shochu, respectively

酵母が資化したことで発酵が促進されたことがサツマイモもろみの初期発酵速度が速かった理由と考えられた。サトイモ焼酎もろみの発酵も2日目にはサツマイモ焼酎の発酵経過に追いついたことから、サトイモ焼酎もろみの発酵経過は遅延していないと判断した。発酵経過はいずれのもろみも2日目までに旺盛な発酵が観察され、その後は緩やかに進行しており、傾向は類似していた。発酵終了後の二次もろみ分析結果から、もろみアルコールはサツマイモ焼酎が高く、サトイモ焼酎(皮あり)がやや低い値となったが、ほぼ計画どおりの製造ができたと判断した。またサトイモ焼酎もろみは、サツマイモ焼酎もろみとほぼ同等の全糖量(残糖)と還元糖量であり、これらの結果から本実験で実施した仕込み配合が適応可能であること、サトイモの外皮および外皮に近い部分は発酵に影響を与えないことが確認された。

もろみの酵母総菌数と生菌率は、サトイモの方がサツマイモと比べて低かった(Table 1)。またもろみ酸度は、サトイモの方がサツマイモと比べて高かった。サトイモとサツマイモに含まれる有機酸含量は、日本食品標準成分表よりそれぞれ0.6 g/100 g生芋と0.4 g/100 g生芋とサトイモにやや多く有機酸が含まれていることが分かっている¹⁷⁾。サツマイモよりもサトイモに多く含まれる有機酸はリンゴ酸であり、もろみ酸度が高くなった要因の一つであると考えられた。酵母は、もろみの高い糖濃度や低pH、浸透圧といったストレス環境下において増殖することで酢酸の生成が高くなることが報告されている^{18,19)}。したがって、サトイモでは今回の仕込み配合による初期もろみの浸透圧が高くなったこと、ならびに主原料に依存した低いもろみpHが酵母の生育にストレスを与え、生菌率の低下ならびに酢酸の生成量が増加したと考えられた。

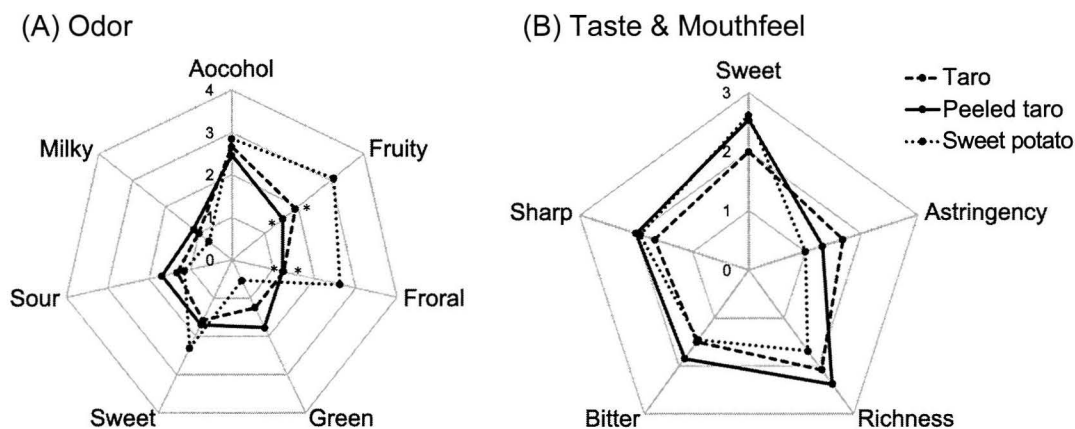
蒸留歩合は、サツマイモ焼酎もろみよりサトイモ焼酎もろみの方が低いものの、皮ありの蒸留歩合はほぼ90%の蒸留歩合を示し、皮なしの蒸留歩合は90%を越えていた(Table 1)。サトイモの二次もろみ粘度は高いものの、発酵が進行するにつれて、粘度が低下し、発酵最終日にはサツマイモの二次もろみの粘度とほぼ同等もしくはやや高い程度であることが観察された(Fig. 1B)。サトイモの二次もろみ粘度が発酵の進行と共に低下した原因として2つ考えられる。一つ目は、サトイモ焼酎の二次もろみは、汲み水量が少ないため

Table 1 The analysis of moromi and distillation

	Taro	Peeled taro	Sweet potato
(Moromi analysis)			
Alcohol content of the moromi (%)	12.8 ± 0.1	13.4 ± 0.3	14.5 ± 0.3
Acidity	8.9 ± 0.2	8.9 ± 0.2	6.9 ± 0.1
Volatile acidity	1.9 ± 0.1	2.0 ± 0.2	1.7 ± 0.1
Total sugar content (%)	1.4 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.4 ± 0.1
Reducing sugar (%)	0.33 ± 0.00	0.32 ± 0.01	0.29 ± 0
Total yeast cells ($\times 10^8$ cells/mL)	1.3 ± 0.2	1.7 ± 0.1	2.3 ± 0.3
Viable yeast cells ($\times 10^7$ cells/mL)	1.4 ± 0.1	2.5 ± 0.2	6.7 ± 1.1
Survival rate of yeast cells (%)	10.8 ± 1.5	14.6 ± 1.0	28.7 ± 2
(Distillation analysis)			
Alcohol content of the distillate (%)	29.6 ± 5.4	34.7 ± 1.1	34.3 ± 1.0
Volume of the distillate (mL)	315.5 ± 59.6	284.5 ± 6.3	296.3 ± 11.2
Alcohol recovery by distillation (%)	89.3 ± 1.1	92.3 ± 1.8	94.5 ± 1.4

に発酵初期の粘度が高くなったが、発酵が進むことでデンプンの分解が進み、保水力が低下することで蒸しサトイモ中の水分が自由水となり、粘度が低下したと考えられた。二つ目は、サトイモの増粘物質であるアラビノガラクトンが発酵中に麹菌の酵素による分解を受け、粘性が低下したことが考えられた。*Aspergillus oryzae* より造られた麹は、食物繊維を分解する酵素を含むことが報告されており、その中にはアラビノガラクトンを分解する酵素である α -L-arabinofuranosidase もある²⁰⁾。本研究で用いた白麹菌においてもアラビノガラクトンの分解活性は直接調べられていない

が、アラビノキシランを分解できる2つの α -L-arabinofuranosidase を生産することが報告されている²¹⁾。したがって、発酵中に白麹菌の α -L-arabinofuranosidase によりアラビノガラクトンが分解されたことで、もろみの粘度低下が進行したと示唆された。したがって、本研究の結果からサトイモ焼酎の仕込み配合においてサツマイモ焼酎の仕込み配合のデンプン価を参考に設定しても、十分発酵や蒸留が可能であることが確認された。

**Fig. 2** Sensory evaluations of taro, peeled taro and sweet potato-shochu.

Sensory evaluations were carried out by 13 panelists. The panelist evaluated the intensity of odor and taste. (A) Odor. (B) Taste and mouthfeel. Broken line, solid line, and dotted lines show taro, peeled taro, and sweet potato shochu, respectively. Asterisks (*) showed the statistically significant difference ($P < 0.05$, student's t -test) between sweet potato and each taro-shochu.

3. サトイモ焼酎の香気特性

サトイモ焼酎の香気の特徴を明らかにするために官能評価を行った。官能評価用語は、香り7項目（甘臭、果実香、草様、ミルク様、酸臭、アルコールおよび花様）、味5項目（甘味、キレ、苦味、渋味、および濃厚）を使用した。香りに関しては、アルコール様香気を除き、すべての項目で強度2（弱い）以下であり、全体的に強度が低いことが分かった（Fig. 2A）。また際立って高いまたは低く評価される項目がなく、すべての香気をほぼ均衡に有することも分かった。草様の香りは有意差がつかないものの（ $P=0.067$ ）サトイモ焼酎に強い傾向が認められた。弱い香気の中で、サトイモ焼酎には草様の香気がサツマイモ焼酎にはない特徴であることが確認された。サトイモ焼酎の皮ありまたは皮なしは、ほぼ同じ香気プロファイルであったが、皮なしの方が、特徴的香気である草様とミルク様の香気が強くなる傾向が確認された。一方で、サツマイモ焼酎はサトイモ焼酎と比べて花様と果実香が強いことが確認された。味では、サトイモ焼酎はサツマイモ焼酎よりわずかに渋味および苦味、濃厚さが強い傾向が見られたが、ほぼ同じ様な形のプロファイルを示した（Fig. 2B）。以上のことから、サトイモ焼酎はこれまでの「芋焼酎」とは異なる特徴的な香気特性を有していることが確認された。

4. サトイモ焼酎の揮発成分分析

GC-MS 分析から 49 成分（アルコール類 7 成分、エステル類 23 成分、テルペン化合物 9 成分、アルデヒド類 3 成分、脂肪酸類 3 成分、その他 4 成分）を定量した（Table 2）。サトイモ焼酎は、サツマイモ焼酎よりも多くの成分において含有量が低く、特にエステル類およびテルペン化合物では、多くがサツマイモ焼酎よりも少なかった。具体的には、サツマイモ焼酎よりも 0.77 倍以上少ない成分としてエステル類 12 成分（ethyl butyrate, ethyl 2-methylbutyrate, ethyl hexanoate, ethyl octanoate, ethyl dodecanoate, isobutyl acetate, asobutyl hexanoate, isoamyl acetate, hexyl acetate, 2-ethylhexyl acetate, n-octyl acetate, methyl salicylate）が⁸、テルペン化合物 6 成分（linalool, geranyl acetate, geraniol, rose oxide, nerol oxide, myrtenol）が⁹あった。

エステル類は酵母により発酵時に生成されるが、サ

トイモ焼酎もろみの酵母総菌数がサツマイモ焼酎もろみより約 0.6~0.7 倍少なく、生菌数がサツマイモ焼酎もろみより約 0.2~0.4 倍少なかったことからエステル類の生成量が低くなったと考えられた（Table 1）。一方で、アルコール類（1-butanol, 1-heptanol, 1-nonanol）およびアルデヒド類（Nonanal, decanal）はサトイモ焼酎に多く含まれる傾向にあった。

各化合物の匂い閾値から算出した OAV は、両焼酎合わせて、14 成分において OAV が 1 を越えていた。サツマイモ焼酎では、OAV が 1 を越え、かつサトイモ焼酎よりも 1.3 倍以上多く含まれる成分として 8 成分あった。これら 8 成分から OAV が 4 を越えるもので高い順に ethyl 2-methylbutyrate, ethyl butyrate, ethyl hexanoate, isoamyl acetate の 4 成分があり、すべてリンゴやパイナップル、バナナなど甘い果実様の芳香をもつ化合物であった。OAV が 1 以上 2 未満の成分として linalool, geranyl acetate, ethyl octanoate, および 2-undecanone の 4 成分であった。Ethyl octanoate は甘い香りと果実様の香気を有し、linalool と geranyl acetate はカンキツやバラ様の香気を有し、2-undecanone は油やかビ様の香気を有する。これら化合物の香気特性はサツマイモ焼酎の果実様や花様、甘香の官能評価が高くなる結果と一致した。一方、サトイモ焼酎において OAV が 1 を越え、かつサツマイモ焼酎のものより 1.3 倍以上高い成分は、1-heptanol, 2-phenylethyl alcohol, decanal の 3 成分であった。1-heptanol は青草臭をもつ化合物である。サトイモ焼酎の草様の香りは 1-heptanol に起因することが示唆された。2-Phenylethyl alcohol はバラ様の香気を有する化合物であり、decanal はカンキツ様およびセッケン様の香気を有する化合物である。サトイモ焼酎の果実様および花様の香りはサツマイモ焼酎より評価が低くなった。サツマイモ焼酎に含まれるエステル化合物が高い果実様香気に寄与していることが示された。花様の香気特性をもつ 2-phenylethyl alcohol はサトイモ焼酎に多く、linalool と geranyl acetate はサツマイモ焼酎に多く含まれていた。これらはいずれもサトイモまたはサツマイモ焼酎に顕著に多いものではなかった。したがってサツマイモ焼酎の方が花様の評価が特徴的に高くなった理由としては、linalool と geranyl acetate の類似した香気が合わさることによるものであったと考えられた。

Table 2 Volatile compounds in shochu.

Compounds	Odor description	m/z	Concentration (μg/L)			Odor threshold (μg/L)	OAV			Ref
			Peeled taro	Taro	Sweet potato		Peeled taro	Taro	Sweet potato	
<i>(Alcohols)</i>										
Isoamyl alcohol	Alcohol, harsh, bitter	55	176,763 ± 31932	175,273 ± 45811	172,238 ± 34291	64,000	2.8	2.7	2.7	23
1-Butanol	Medicinal, alcohol	56	4,264 ± 771	3,943 ± 1113	2,756 ± 624	420,000	0.01	0.01	0.01	23
1-Heptanol	Green	70	74 ± 17	63 ± 16	51 ± 28	5.4	13.8	11.7	9.4	24
1-Octanol	Fatty, green	56	23 ± 9	20 ± 11	34 ± 12	125.8	0.2	0.2	0.3	24
1-Nonanol	Oily	56	56 ± 16	54 ± 21	46 ± 9	45.4	1.2	1.2	1.0	24
2-Undecanol	Fruity	45	nd	nd	8 ± 1.2	Nf	-	-	-	25
2-Phenylethyl alcohol	Floral, rose	91	82,648 ± 25762	73,325 ± 20920	62,509 ± 18435	35,000	2.4	2.1	1.8	23
<i>(Esters)</i>										
Ethyl butyrate	Strawberry, apple	71	377 ± 59	433 ± 57	510 ± 56	55	6.9	7.9	9.3	26
Ethyl 2-methylbutyrate	Apple, sweet	102	36 ± 7	47 ± 12	53 ± 10	2.2	16.5	21.4	24.3	26
Ethyl isovalerate	Fruity	88	5 ± 2	7 ± 3	6 ± 3	2.6	2.1	2.8	2.1	26
Ethyl lactate	Fruity, lactic, raspberry	45	1,928 ± 250	5,623 ± 3453	1,633 ± 287	14,000	0.1	0.4	0.1	27
Ethyl benzoate	Fruity	105	2.4 ± 0.3	2.5 ± 0.7	2.5 ± 0.4	575	0.004	0.004	0.004	28
Ethyl phenylacetate	Rose, honey	91	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.5	2.5 ± 0.5	100	0.03	0.03	0.03	29
Ethyl hexanoate	Fruity, floral	88	133 ± 34	192 ± 33	218 ± 39	42	3.2	4.6	5.2	23
Ethyl heptanoate	Fruity	88	2.8 ± 0.2	2.8 ± 0.4	2.5 ± 0.7	220	0.01	0.01	0.01	30
Ethyl octanoate	Pineapple, pear, floral	88	298 ± 24	574 ± 162	856 ± 208	630	0.5	0.9	1.4	23
Ethyl nonanoate	Floral, fruity	88	12 ± 2	14 ± 1	16 ± 2	1300	0.01	0.01	0.01	25
Ethyl decanoate	Fruity, fatty, solvent	88	51 ± 8	50 ± 9	77 ± 16	1,300	0.04	0.04	0.06	23
Ethyl dodecanoate	Sweet, floral, fruity, cream	88	2.4 ± 0.6	1.8 ± 0.7	2.7 ± 1.3	260	0.009	0.007	0.010	31
Ethyl palmitate	Fatty, rancid, fruity	88	2.0 ± 1.9	0.3 ± 0.8	0.1 ± 0.3	14,000	0.0001	0.00002	0.00001	27
Isobutyl acetate	Sweet	56	32 ± 6	38 ± 8	64 ± 8	1,605	0.02	0.02	0.04	28
Isobutyl hexanoate	-	99	0.7 ± 0.1	1.2 ± 0.3	1.8 ± 0	800	0.001	0.001	0.002	32
Isoamyl acetate	Banana	70	1,613 ± 350	1,899 ± 445	2,652 ± 433	540	3.0	3.5	4.9	23
Isoamyl hexanoate	Pineapple, cheese	70	tr	0.13 ± 0.03	0.22 ± 0.03	1,400	-	0.0001	0.0002	27
Isoamyl n-octanoate	Sweet, light fruity, cheese, cream	70	9.2 ± 2.5	9.5 ± 3.0	8.1 ± 2.8	125	0.1	0.1	0.1	28
2-Phenylethyl acetate	Floral, rose	104	1,973 ± 440	1,966 ± 386	2,141 ± 506	2,400	0.8	0.8	0.9	23
Hexyl acetate	Fruity, pear	56	2.3 ± 0.4	3.0 ± 0.8	4.3 ± 1.0	1500	0.002	0.002	0.003	33
2-Ethylhexyl acetate	-	70	6.0 ± 0.7	8.6 ± 1.6	9.1 ± 2.1	Nf	-	-	-	-
n-Octyl acetate	Orange floral, jasmine	43	3.5 ± 0.3	4.7 ± 0.6	6.1 ± 0.9	50,000	0.0001	0.0001	0.0001	33
Methyl salicylate	Mint, herbal	120	nd	nd	58 ± 10	560	-	-	0.1	32
<i>(Terpenoids)</i>										
Linalool	Citrus, floral	71	6.8 ± 1.1	6.6 ± 1.3	13.5 ± 2.8	14	0.5	0.5	1.0	26
Citronellol	Citrus	95	12.3 ± 2.1	13.1 ± 3.5	14.0 ± 2.9	580	0.02	0.02	0.02	26
Geranyl acetate	Rose, bergamot, lavender	69	8.7 ± 0.6	12.2 ± 2.1	16.4 ± 2.3	9	1.0	1.4	1.8	29
Geraniol	Rose, fral	69	24.6 ± 3.1	20.2 ± 10.3	28.7 ± 13.5	72	0.3	0.3	0.4	26
Nerolidol	Floral, wood	69	43.7 ± 8.6	47.5 ± 10.5	48.5 ± 13.0	1,000	0.04	0.05	0.05	30
Nerol	Rose, lime	69	5.9 ± 0.7	6.0 ± 0.9	10.1 ± 1.2	1,900	0.00	0.00	0.01	26
Rose oxide	Rose, sweet	139	nd	nd	0.1 ± 0.0	0.35	-	-	0.4	34
Nerol oxide	Rose, apple, citrus	68	nd	nd	34.6 ± 7.2	80	-	-	0.4	35
Myrtenol	-	79	nd	nd	55.4 ± 21.5	Nf	-	-	-	-
<i>(Aldehydes)</i>										
Nonanal	Green, sweet	57	5.3 ± 1.8	4.4 ± 1.2	tr	15	0.4	0.3	-	25
Decanal	Citric, soapy	43	9.5 ± 3.4	8.2 ± 2.6	5.6 ± 3.1	1	9.5	8.2	5.6	25
Furfural	Bread, sweet	95	41.7 ± 9.3	39.5 ± 7.6	34.2 ± 16.3	14,100	0.0	0.0	0.0	28
<i>(Acids)</i>										
Octanoic Acid	Sweet, cheese	60	920 ± 183	1,027 ± 253	1,064 ± 280	2,200	0.4	0.5	0.5	31
n-Decanoic acid	Fatty, unpleasant	60	778 ± 78	827 ± 121	899 ± 141	15,000	0.1	0.1	0.1	35
Dodecanoic acid	Dry, metallic, laurel oil	73	211 ± 30	251 ± 47	283 ± 57	7,200	0.03	0.03	0.04	27
<i>(Others)</i>										
Phenylacetaldehyde diethyl acetal	Rose	103	39.0 ± 5.7	24.0 ± 4.4	17.7 ± 2.9	Nf	-	-	-	-
Isovaleraldehyde diethyl acetal	Fruity	103	51.3 ± 10.5	44.5 ± 12.0	34.4 ± 3.3	Nf	-	-	-	-
3-hoxypyrpanal diethyl acetal	-	103	346 ± 89	407 ± 95	253 ± 64	Nf	-	-	-	-
2-Undecanone	Tallow, musty	58	2.8 ± 0.2	3.4 ± 0.4	8.1 ± 1.0	7	0.4	0.5	1.2	29

The samples were used after adjusting the alcohol content 25% (v/v). nd, not detected. tr, trace. Odor threshold obtained from references : [23] Oishi, 2013 ; in 25%(v/v)ethanol, [24] Giri et al., 2010 ; in water, [25] Welke et al., 2014 ; in 10% ethanol, [26] Osafune et al., 2019 ; in 25% (v/v)ethanol, [27] Salo et al., 1972 ; in synthetic wine (11%(w/w)ethanol), [28] Ferreira et al. 2000 ; in synthetic wine(11%(w/w)ethanol), [29] Buttery et al., 1988 ; in water, [30] Zea et al., 2001, [31] Osafune et al., 2021 ; in 25%(v/v)ethanol, [32] Buttery et al., 1990 ; in water, [33] Li et al., 2008 ; in a 12% ethanol mixture, [34] Takamine et al., 2011 ; in 25% (v/v)ethanol, [35] Guth, 1997 ; in water/ethanol (90+10, w, w).

5. サトイモ焼酎粕の機能性

サトイモとサツマイモ焼酎粕は、両方とも濃度依存の抗糖化活性が認められた (Fig. 3A)。またサトイモ焼酎粕と比べて、サツマイモ焼酎粕が強い抗糖化活性を示した。サトイモ皮ありと皮なしの各試料は抗糖化活性に大きな差は認められなかった。これまでに米焼酎粕、芋焼酎粕および麦焼酎粕について抗糖化活性が調べられている⁹⁾。この報告では、アルブミンに対してリボースを用いた AGEs の評価がされ、米焼酎粕にはほとんど抗糖化活性が認められなかったが、芋焼酎粕および麦焼酎粕において抗糖化活性が同程度存在することが確認されている。本研究では疾病の発症に関連が報告されているグリセルアルデヒド由来 AGEs を評価していることから、先行研究との関連は直接説明できないが、サツマイモ焼酎粕において抗糖化活性があることで一致していた。またサトイモおよびサツマイモの乾燥粉末においてヒト血清アルブミンに対してグルコースを用いた AGEs の評価がされ、サトイモ粉末の 50% 阻害濃度は 1.677 mg/mL であるのに対してサツマイモ粉末のそれは 12.084 mg/mL と算出されており、サトイモ粉末の方がより抗糖化活性が高いことが示されている⁷⁾。焼酎粕の抗糖化活性とは一致しておらず、サトイモに含まれる抗糖化に関係する成分が発酵において減少していることが示唆された。また両焼酎粕とも濃度依存的に ACE 阻害活性が確認された (Fig. 3B)。10 倍希釈の試料の中で、サツマイモ焼酎粕の ACE 阻害率はサトイモ焼酎粕のそれとほぼ同程度であったが、高希釈倍率 (100~500 倍希釈) の試料では、サトイモ焼酎粕の ACE 阻害率はサツマイモ焼酎粕より高く、皮ありおよび皮なしに関係なく、ACE 阻害活性を持つことが確認された。焼酎粕を 500 倍希釈したサンプルにおいても ACE 阻害活性が十分認められたことからサトイモ焼酎粕の ACE 阻害活性は非常に高いことが分かった。また全体的にサトイモ皮ありの焼酎粕は高い ACE 阻害活性を示した。

サトイモ皮ありの焼酎粕から調製した上清液を SEPABEADS カラムクロマトグラフィーに供し、分画を行った。クロマトグラムから Fraction 1-7, 8-14, 15-19 および 20-25 の 4 画分にまとめた (画分 I~IV) (Fig. 3C)。非吸着画分含む 5 画分の ACE 阻害活性を測定した。その結果、ACE 阻害活性は非吸着画分を含む前半画分に認められた (Fig. 3D)。また画分

I および II には抗糖化活性も確認された (Fig. 3E)。我々は、画分 I および II にはペプチドが多く含まれることを確認している (データは示さない)。ACE 阻害活性を示す物質としてペプチドは様々な食品から単離されており、清酒および清酒粕からも単離されている²²⁾。今後、さらなる精製を進め、ACE 阻害活性および抗糖化能に寄与する成分の同定を進めていく必要がある。これらのことからサトイモ焼酎粕は機能性を有する副産物として利用可能であることが示された。

要 約

本研究ではサトイモ焼酎の製造と特徴香気および焼酎粕の機能性の探索を試みた。サトイモのデンプン価を測定し、サツマイモ焼酎の仕込み配合を参考とし、二次もろみのアルコール度数が同程度になるように主原料由来のデンプン量を合わせ、さらに汲み水も調整した仕込み配合表でサトイモ焼酎を仕込んだ。サトイモは、皮付きのもの (皮あり) または、皮を除いたもの (皮なし) を用いて焼酎を製造し、サツマイモ焼酎と比較した。サトイモ焼酎のもろみは、サツマイモ焼酎とはほぼ同等に発酵した。このことからサトイモの外皮および外側部分は発酵に影響を与えないことが確認された。またサトイモ焼酎のもろみ酸度はサツマイモ焼酎よりも高く、サトイモの成分が酵母の生育にストレスを与えたと考えた。蒸留歩合はサツマイモより、サトイモの蒸留歩合が低いものの、十分蒸留できると判断した。焼酎の官能評価より、サツマイモ焼酎と比べて、サトイモ焼酎の香りは草様が強いことが特徴であった。味は、渋味、苦味、濃厚さが強い傾向であることが分かった。香気成分分析よりサトイモ焼酎は、サツマイモ焼酎より果実香や花様の香りを有するエステル化合物やテルペン化合物の含量少なく、一方で草様やセッケン様の香りを有するアルコールやアルデヒドを多く含むことが明らかになった。加えて、サトイモ焼酎粕の上清液には、抗糖化活性と強い ACE 阻害活性を持つことを確認した。このことから、サトイモ焼酎の香味はサツマイモ焼酎と比べて草様が強く、果実香と花様の香りが弱い特徴を持つが、全体としては全ての項目に強弱なく、均整が取れていることが確認された。さらにサトイモは、焼酎粕の有効活用も期待できる原料であることが示された。

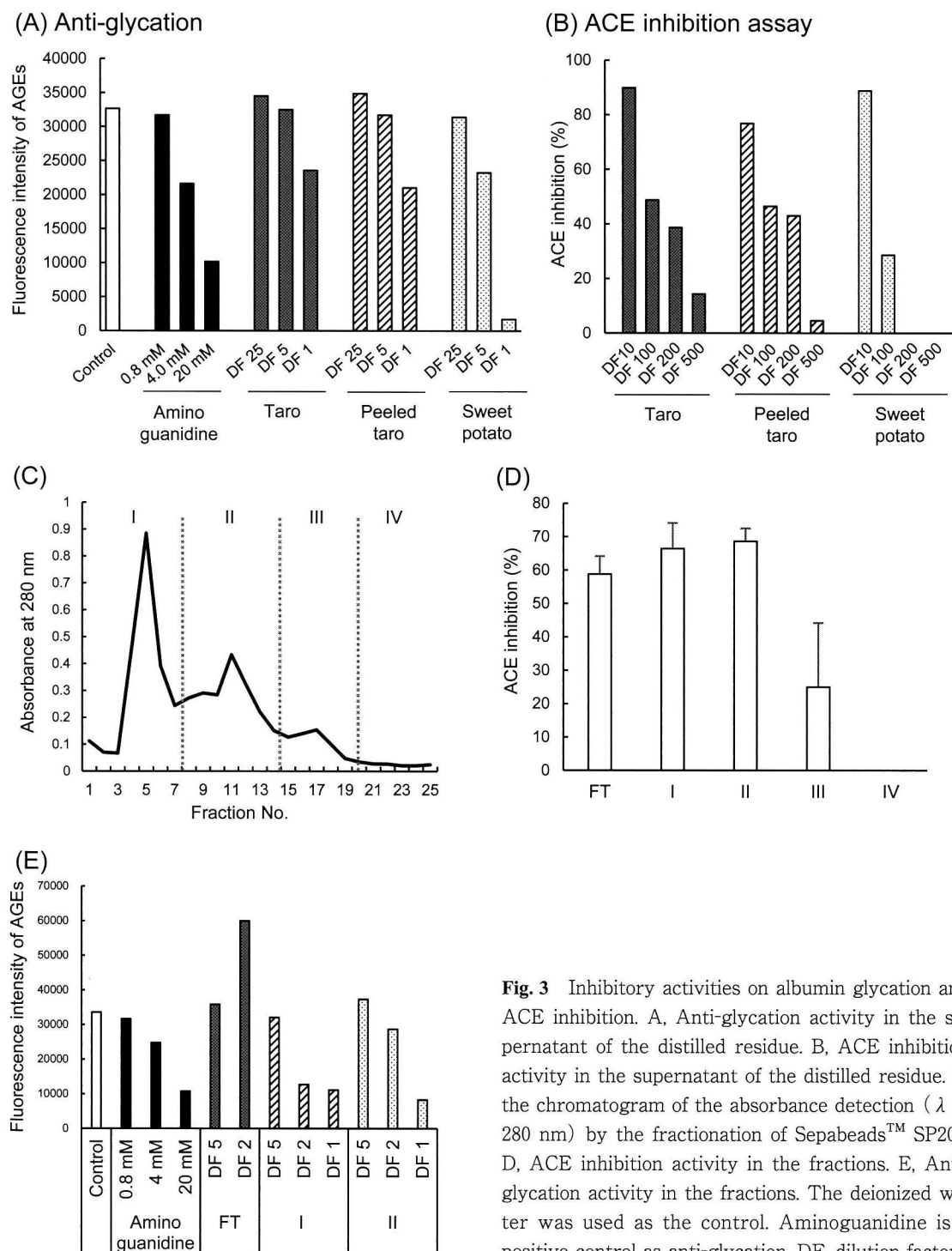


Fig. 3 Inhibitory activities on albumin glycation and ACE inhibition. A, Anti-glycation activity in the supernatant of the distilled residue. B, ACE inhibition activity in the supernatant of the distilled residue. C, the chromatogram of the absorbance detection ($\lambda = 280$ nm) by the fractionation of Sepabeads™ SP207. D, ACE inhibition activity in the fractions. E, Anti-glycation activity in the fractions. The deionized water was used as the control. Aminoguanidine is a positive control as anti-glycation. DF, dilution factors. FT, flow through fraction.

謝 辞

本研究に使用したサトイモは、農業開発総合センター池澤和広氏により提供いただいた。

参考文献

- 1) 家壽多正樹, 星野徹也: 千葉県産業支援技術研究所研究報告, **6**, 59-62 (2008)
- 2) 豊田敦至, 宮本輝雄, 近藤君夫: 長野県工業技術総合センター研究報告, **5**, 150-152 (2010)
- 3) 高峯和則, 吉竹一哉, 山本優, 吉崎由美子, 鮫島吉廣: 醸協, **107**, 782-787 (2012)
- 4) 石々川英樹, 中川建也: 愛媛県農林水産研究報告, **6**, 34-38 (2014)
- 5) 香川芳子, 五訂増補食品成分表 2008 (女子栄養大学出版部, 東京) (2007)
- 6) 八木雅之, 高部稚子, 石崎香, 米井嘉一: オレオサイエンス, **18**, 67-73 (2018)
- 7) Y. Ishioka, M. Yagi, M. Ogura, and Y. Yonei: *Glycative Stress Research*, **2**, 22-34 (2015)
- 8) H. S. Cheung, D. W. Cushman: *Biochim. Biophys. Acta*, **293**, 451-463 (1973)
- 9) 森村茂, 関孝弘, 重松亨, 木田建次: 醸協, **100**, 607-617 (2005)
- 10) 注解編集委員会編, 第四回改正国税庁所定分析法注解 (財団法人日本醸造協会, 東京) (1996)
- 11) 白石洋平, 竹浦滂, 奥津果優, 吉崎由美子, 二神泰基, 玉置尚徳, 和久豊, 高峯和則: 醸協, **116**, 39-48 (2021)
- 12) M. Sami, M. Ikeda, and S. Yabuuchi: *J. Ferment. Bioeng.*, **78**, 212-216 (1994)
- 13) 本格焼酎近未来評議会, <https://acel.agrikagoshima-u.ac.jp/shochu/pdf/190513.pdf> (2018)
- 14) 藏菌秀伍, 吉崎由美子, 印璇, 奥津果優, 高峯和則: 醸協, **116**, 182-194 (2021)
- 15) 伊東哲代, 安藤孝雄, 市川邦介: 家政学雑誌, **19**, 170-173 (1968)
- 16) 劉根僑, 吉崎由美子, 奥津果優, 二神泰基, 玉置尚徳, 高峯和則: 醸協, 印刷中
- 17) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告, 日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂) 炭水化物成分表編別表 2, https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_01110.html (2020)
- 18) Y. Shimazu and M. Watanabe: *J. Ferment. Technol.*, **59**, 27-32 (1981)
- 19) F. Radler: *Wine microbiology and biotechnology*. G. H. Fleet (ed.), P. 169-172. Harwood Academic Publishers, Chur (1993)
- 20) T. Hashimoto, Y. Nakata: *J. Biosci. Bioeng.*, **96**, 164-169 (2003)
- 21) T. Koseki, M. Okuda, S. Sudoh, Y. Kizaki, K. Iwano, I. Aramaki, H. Matsuzawa: *J. Biosci. Bioeng.*, **96**, 232-241 (2003)
- 22) 齊藤義幸, 中村圭子, 川戸章嗣, 今安聰: 日本農芸化学会誌, **66**, 1081-1087 (1992)
- 23) 大石雅志, 猫垣加奈子, 梶原康博, 高下秀春, 下田雅彦, 岡崎直人: 醸協, **108**, 113-121 (2013)
- 24) A. Giri, K. Osako, T. Ohshima: *Food Chem.*, **120**, 621-631 (2010)
- 25) J. E. Welke, M. Zanuz, M. Lazzarotto, C. A. Zini: *F. Res. Int.*, **59**, 85-99 (2014)
- 26) Y. Osafune, K. Toshida, J. Han, A. Isogai, N. Mukai: *J. Inst. Brew.*, **127**, 417-423 (2020)
- 27) P. Salo, L. Nykänen, H. Suomalainen: *J. Food Sci.*, **37**, 394-398 (1972)
- 28) V. Ferreira, R. López, J. F. Cacho: *J. Sci. Food Agric.*, **80**, 1659-1667 (2000)
- 29) R. G. Buttery, J. G. Turnbaugh, L. C. Ling: *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 1006-1009 (1988)
- 30) L. Zea, L. Moyano, J. Moreno, B. Cortes, M. Medina: *Food Chem.*, **75**, 79-84 (2001)
- 31) 長船行雄, 利田賢次, 韓錦順, 磯谷敦子, 向井伸彦: 醸協, **116**, 279-289 (2021)
- 32) R. G. Buttery, R. Teranishi, L. C. Ling, J. G. Turnbaugh: *J. Agric. Food Chem.*, **38**, 336-340 (1990)
- 33) H. Li, Y.-S. Tao, H. Wang, L. Zhang: *Eur. Food Res. Technol.*, **227**, 287-292 (2008)
- 34) 高峯和則, 吉崎由美子, 島田翔吾, 高屋総一郎, 玉置尚徳, 伊藤清, 鮫島吉廣: 醸協, **106**, 50-57 (2011)
- 35) H. Guth, H.: *J. Agric. Food Chem.*, **45**, 3027-3032 (1997)