

コーヒー生豆のモデル発酵とそれによる風味変化

神山 伸^{†*}、佐藤佑香[†]、太田ひかる、曾根英行

コーヒー生豆の発酵による新しいコーヒー開発の可能性を検討するため、乳酸菌とワイン酵母によるコーヒー果実粉末を用いた発酵モデルと、牛乳及びぶどうジュースを資化源とした発酵、及びワイン及び日本酒によるフレーバー付加の3つの方法によりコーヒーの風味の変化を検証した。酵母を用いた発酵では、コーヒー果実の発酵モデル、ぶどうジュースを用いた発酵モデルともに、酵母発酵により酸味が増加する一方で苦味が減少したが、これは味成分の変化ではなく、フラン類の増加によるフルーティな香りの付加による可能性が示された。一方、乳酸菌による発酵では、香りにおける「香ばしさ」や「好ましさ」が増加する傾向がみられ、ピラジン類の増加による香ばしい香りの付加が示唆された。ワイン及び日本酒によるフレーバー付加では、ともにフラン類によるフルーティな香りや発酵醸造酒特有の香りが付加され、酸味が増加し、苦味が減少する傾向がみられた。これらのいずれも酸味の評価と滴定酸度、苦味の評価と総ポリフェノール量との相関はみられず、発酵による呈味の変化は味成分よりも香りの変化によることが示唆された。

キーワード：コーヒー、発酵、乳酸菌、酵母、香気

はじめに

食品の「おいしさ」は味のみならずさまざまな要因が影響しているが、コーヒーにおいて特に重要なものが「香り」であり、焙煎によって生じる「香ばしさ」がコーヒーの美味しさを構成する上で重要な役割を果たしている。コーヒーの味としては酸味や苦味のほか、広義の味として渋みや「コク」などがあるが、焙煎前のコーヒーの生豆自体は極めて固く、ほとんどコーヒーらしい味を示さない。コーヒー豆の味と香りに大きく影響するものが焙煎であり、その焙煎度により風味が大きく変化する^{1, 2)}。コーヒーの焙煎では通常生豆を200℃前後に加熱するが、一般的に焙煎度が浅いほど酸味が強くなり、深煎りになるほど苦味と焙煎香が増加する¹⁾。焙煎による変化としては、還元糖とアミノ酸がメイラード反応によりメラノイジンへ変化し、褐色色素が増加する³⁾。コーヒーの酸味成分である有機酸は、加熱によりキナ酸、カフェ酸、酢酸などが生じることにより中煎りの段階まで増加するが、それ以上の焙煎では揮発や分解、

コーヒー豆組織への吸着により減少する⁴⁾。一方、コーヒーの苦味成分の一つであるカフェインは加熱により一部揮発して減少するが、焙煎によって生じるクロロゲン酸やカフェ酸などの加熱分解物がよりコーヒーらしい苦味を示すとともに、タンパク質由来の加熱生成物であるジケトピペラジン類やメラノイジンのようなメイラード反応生成物も苦味成分として寄与する^{3, 5)}。コーヒーの酸味は含まれる有機酸の総量とそれに伴うpH低下が相関しているが、苦味成分に関してはさまざまな成分が関与しており、特定の成分のみで代表することは困難である⁵⁾。

また、焙煎によって生じた様々な成分がコーヒーの香りを構成する。コーヒーの香気成分は800種類以上に及ぶが、その大部分が焙煎によって糖、アミノ酸、クロロゲン酸などから生じる⁶⁾。「コーヒーらしい香り」に寄与する主要な香気成分だけでもフラノン類、ピラジン類、フェノール類など数十種類存在しているが⁷⁻⁹⁾、単独でコーヒーの香りを再現できる香気成分はなく、多くの香気が集合して「コーヒーの香り」を構築する⁶⁾。焙煎によって生じる含硫化合物

新潟県立大学人間生活学部健康栄養学科

* 責任著者 連絡先：kammy@unii.ac.jp

†共同筆頭著者

利益相反：なし

もコーヒーの香りに大きく寄与しており、「最もコーヒーらしい香り成分」と示唆されている2-フルフリルチオールは高濃度では極めて不快な臭いとなるが、低濃度では甘い焦げ臭さ（ロースト香）を与え、熱に不安定で失われやすいことから、コーヒーの淹れたて感に寄与している¹⁰⁾。一方、アルデヒドやケトン類はコーヒーに独特の風味を与えるが、コーヒーの刺激臭やオフフレーバーの一因ともなる。コーヒーの味自体もその香气によって大きく影響を受けており、たとえば雪室貯蔵したコーヒー豆では香气成分が変化するために苦みと渋みが減少して「マイルド」な風味になることが示されている¹¹⁾。

焙煎後のコーヒー豆に含まれる成分は不安定であり、特に香气は揮発と劣化臭（オフフレーバー）の増加によりその品質が大きく低下するのに対し、生豆は乾燥した良好な保存条件であれば長期間の保存に耐える。一方、コーヒー豆の精製過程で生じる発酵が、コーヒーの香味に大きく影響することが知られている^{2, 3)}。コーヒー果実からコーヒー豆（種子）を得るためには果肉と内果皮（パーチメント）を除く必要があり、これには収穫した果実を乾燥させてから生豆を取り出す乾式精製（ドライプロセス）と、機械式水洗により果肉を剥ぎ取り洗い流す湿式精製（ウェットプロセス）の2種類の方法がある。乾式精製では、収穫した果実をそのまま日干しして乾燥させてから生豆を取り出すが、乾燥するまでの過程で果実自体の酵素による作用に加え、さまざまな微生物により発酵が生じる²⁾。まず、果実表面の乳酸菌などの細菌により発酵を受けた後、酵母やカビ類による発酵を受けるが、その増殖は果実の乾燥状態に影響されており、乾燥が遅く長時間になるほど発酵感が強くなり、「発酵臭」と呼ばれる不快臭に繋がる。また、湿式精製においても、内果皮に付着しているペクチン質の粘質物（mucilage）を取り除くために、水槽中で24時間程度水に浸漬する過程があり、そこでコーヒー豆自身のペクチン分解酵素の作用とともに微生物による発酵を受け、有機酸やアルコール類などが生成する¹²⁾。これらの成分がコーヒーのフローラル感やフルーティ感に寄与しているが、発酵が進みすぎると望ましくないフレーバーが生じ、欠点豆の原

因となる³⁾。

コーヒー豆の発酵はこれまでその風味に与えるマイナス面が強調されており、発酵の進行したコーヒー豆はもっぱら欠点豆として扱われていた。近年ではその良い面も注目されており、精製時にスターターとして特定の酵母や乳酸菌を添加するなど、発酵に関わる微生物群をコントロールすることによりその品質と香味を調節する取り組みもなされている¹³⁻¹⁶⁾。一方、精製後のコーヒー生豆に関しては、発酵を用いた風味改良に関する研究報告はほとんどなく、どのような成分の変化がコーヒーの風味に影響するのかも明確にされていない。したがって本研究では、コーヒー生豆をさまざまな方法で発酵させることにより風味がどのように変化するかを検証し、発酵による新しいコーヒー開発の可能性を探索することを目的として行った。

方法

コーヒー生豆の浸漬と焙煎条件

コーヒー生豆は Jupiter 新潟店で購入したブラジルコーヒー生豆を用いた。コーヒー生豆は浸水により水を吸収し、細胞の構造が変化して焙煎条件が変動するため、予備実験として浸漬時間による吸水率と焙煎後の脱水率の変化を測定した。生豆 10 g を 100 mL の蒸留水に室温（25℃）で 0、10、30、60、120、240 分、および 24 時間浸漬した後、ペーパータオルで生豆に付着した水分を拭き取り、焙煎した。コーヒー豆の焙煎は、100℃に予熱した送風定温乾燥器（FC-410、ADVANTEC）にアルミホイルに包んだ生豆を入れ、200℃まで直線的に昇温し、昇温後 200℃下で 5 分加熱することにより行った。焙煎後室温に冷却し、その後すぐに実験試料として用いた。

図 1 に示したように、浸漬時間は 30 分を境に吸水率が大きく上昇し、その後直線的に増加した。一方、脱水率は 10 分以降では緩やかに増加して大きく増加しないことから、長時間水浸したものは豆内部に水分が残存していることが示唆された。実際、120 分以上浸漬したものは焙煎により膨化せず、完全に焙煎することができなかったことから、コーヒー豆内部の構造変

化が示唆された。これらのことから、本実験では、浸漬時間 30 分を最適条件としてその後の試験に用いた。

発酵条件

コーヒー果実の発酵モデルでは、コーヒー果実粉末として KonaRed 社の Hawaiian coffeeberry superfruit powder を用い、最終濃度が 2%となるように水に溶解した。乳酸菌はレインビオ社のダヒヨーグルト種菌 (*Lactococcus lactis* 及び *Streptococcus thermophilus* 菌) 1 g を蒸留水 20 mL に加えて 35°C で 10 分間加温したものを、ワイン酵母は Redstar 社の Redstar premier rouge wine yeast (*Saccharomyces cerevisiae* Davis 904 株、1 g あたり 1×10^{10} 個以上) 0.5 g を蒸留水 40 mL に加えて 35°C で 10 分間加温したものを、乳酸菌発酵では、コーヒー果実粉末水溶液あるいは成分無調整牛乳 (イオン社) 40 mL に乳酸菌液 10 mL を加えたものに、コーヒー生豆 20 g を 30 分浸漬し、ペーパータオルで水分を拭き取った後ユニパック 4E (生産日本社) に入れて密封し、30°C で 24 時間発酵させた。酵母発酵においては、コーヒー果実粉末水溶液あるいは濃縮還元ぶどうジュース (イオン社) 40 mL に酵母液 10 mL を加えたものに、コーヒー生豆 20 g を 30 分浸漬し、ペーパータオルで水分を拭き取った後ガス抜きバルブ付きのラミネート袋 (ゴリオバルブ付き CP 平袋、清和) に入れ、30°C で 24 時間発酵させた。対照としては、乳酸菌あるいは酵母液の代わりに蒸留水を加え、同様に処理したものを、日本酒とワインによる香り付けでは、吟醸酒 (雪中貯蔵 吟醸、吉乃川酒造) と赤ワイン (岩の原ワイン「善」、岩の原葡萄園) を用い、それぞれにコーヒー生豆を 30 分浸漬したものを試料とした。

コーヒー豆熱水抽出物の調製

総ポリフェノール量と酸度の測定では、焙煎後のそれぞれのコーヒー豆 5 g をフードミル (TML180、テスコム製) で 1 分間粉碎後、95°C に加温した蒸留水 60 mL に 4 g のコーヒー粉末を加え、30 秒攪拌した後 No. 6 濾紙 (アドバンテック) で濾過することにより熱水抽出した。

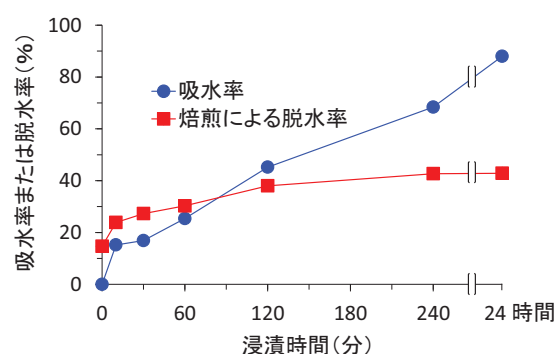


図 1. コーヒー生豆の浸漬による吸水率と焙煎後の脱水率の変化

吸水率は生豆重量に対する浸漬後の重量増加量の割合 (%) として、脱水量は焙煎前の重量に対する焙煎後の重量減少量の割合 (%) として表した。脱水量には水分以外の揮発性物質の量も含まれる。

酸度の測定

コーヒー豆熱水抽出物 0.1 mL を蒸留水で 10 mL にし、1%フェノールフタレインエタノール溶液を指示薬としてマイクロビュレットで 2 mM 水酸化カリウムで滴定することにより滴定酸度を求めた。滴定酸度はコーヒー豆 1 g 当たりの中和に要する水酸化カリウム量 (KOH mg) として求めた。

総ポリフェノール濃度の測定

蒸留水 3 mL に 10 倍希釈したコーヒー豆熱水抽出物 200 μL と、フォーリン・チオカルトー試薬 200 μL を加えて攪拌した。10%飽和炭酸ナトリウム 400 μL を添加し 20 分放置後、700 nm における吸光度を測定した。検量線は、タンニン酸標準液を用いて検量線を作成し、抽出物 100 mL 当たりのタンニン酸量として求めた。

香気成分の測定

コーヒー焙煎豆 5 g を 1 分間、フードミルで粉碎した。香気捕集瓶 (Clean Pin Hole Septum with Vial (40 mL)、ジーエルサイエンス) にコーヒー粉末 0.5 g と蒸留水 10 mL を入れ、蓋の下にモノトラップ (MonoTrap RGE18TD、ジーエルサイエンス) を針金で固定し、シェイキングバス (BW201、ヤマト科学) で 70°C、30 分間

加熱することにより香気成分を揮発及び吸着させた。その後、GC-MS (GCMS-QP2020、島津製作所) でモノトラップに吸着させた香気を分析した。また、それぞれの試料について、においかぎによるピーク香気の特徴付けも行った。

官能検査

焙煎後のそれぞれのコーヒー豆を中挽き設定のコーヒーミルで粉碎し、その後コーヒーメーカー (ACK-A050、タイガー魔法瓶) で抽出した。抽出は、コーヒー焙煎豆 10 g あたり水 150 mL の条件で行った。これらの抽出したコーヒー飲料について新潟県立大学の学生と教員のうち、同意を得られた 18 名 (女性 17 名、男性 1 名) を被験者として、香り (4 項目)、味 (3 項目)、総合評価について評点法により官能検査を行った。未処理のコーヒーを基準 (0 点) とし、それぞれの香りと味、総合評価を-2~+2 点の 5 段階で点数化した。

統計処理

数値は全て平均値と標準誤差 (SE) で表した。統計処理として、群間の平均値の差について一元配置分散分析と Tukey-Kramer 法 (成分分析) あるいは Steel-Dwass 法 (官能検査) による多重比較で有意差検定を行った。解析は R プログラム (v3.1.3) を用いて行い、5% を有意水準とした。

結果及び考察

コーヒー果実粉末溶液による発酵

現在、日本国内のコーヒーの生産量は極めて少なく、果実状態のコーヒーはほとんど流通していない。したがって、本研究の発酵モデルでは市販の精製後の生豆を用い、これを種々の発酵液に浸漬することにより検討を行った。

方法に記した予備実験により、コーヒー生豆の浸漬時間は 30 分が最適条件であったことから (図 1)、本項目では粉末状態の乾燥コーヒー果実 (KonaRed's Hawaiian coffeeberry superfruit powder) の 2% 水溶液を用い、これに乳酸菌あるいは酵母を添加したものにコーヒー生豆を 30 分浸漬した後、30°C で 24 時間発酵させた。

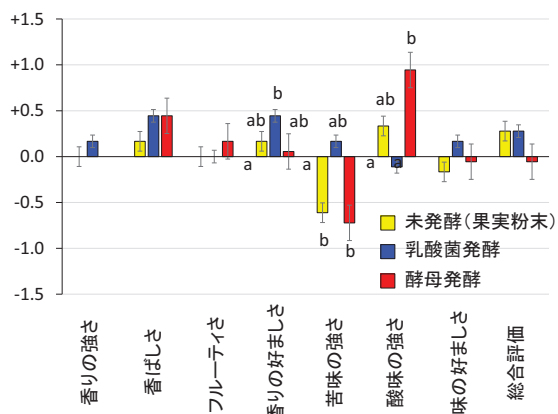


図 2. コーヒー果実粉末溶液による発酵：抽出コーヒーの官能評価

発酵前の生豆を焙煎したものを基準 (0) とし、それぞれの焙煎後の豆の香味を評価法により 5 段階評価した。同一項目で異なる記号を持つものは有意差を表す。

焙煎後のそれぞれのコーヒー豆について、熱水抽出物の官能検査を行った結果を図 2 に示した。未処理のコーヒー豆を基準 (0) とした場合、発酵させない果実粉末で処理したものは味では「苦味」の項目が有意に減少した。一方、これを乳酸菌発酵したものは「香りの好ましさ」の項目が未処理のものとは有意に増加したが、味の傾向としては果実粉末のみと比べて有意ではないものの苦味が増加する傾向がみられた。また、これをワイン酵母で発酵させたものは酸味の強さが増加しており、自由コメントでも「酸味が強い」「ワインのような味」という評価がみられた。

これらの評価が味成分と香気成分のいずれの変化に基づくかを明らかにするため、コーヒー豆抽出物について滴定酸度およびポリフェノール総量の分析と、匂い嗅ぎ GC/MS による香気成分の分析を行った。図 3A に示したように、「酸味」の指標としての滴定酸度は果実粉末処理およびその酵母発酵で有意に増加したが、乳酸菌発酵したものはそれと比較した場合でも有意に増加した。一方、「苦み」の指標としてのポリフェノール濃度としては、乳酸菌発酵、酵母発酵ともに未処理のものに対して有意に増加を示した。いずれも官能検査における「酸味」と

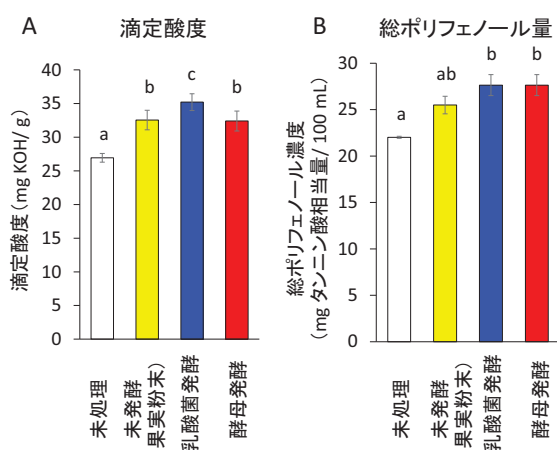


図 3. コーヒー果実粉末溶液による発酵：滴定酸度 (A) と総ポリフェノール量 (B) 滴定酸度はコーヒー豆 1 g 当たりの水酸化カリウム量、総ポリフェノール量は抽出物 100 mL 当たりのタンニン酸量として表示した。カラムの記号で、異なる記号を持つものは有意差を表す。

「苦み」の評価とは相関していなかったことから、これらの変化は味成分よりも香气成分の変化に基づくことが示唆された。

そこで、コーヒー抽出物の揮発性成分について、GC/MS により分析した結果を図 4 に示した。粉末のみで処理したものに対して、乳酸菌では大きな変化が認められなかったが、酵母発酵では酢酸フルフルルを中心にフラン類の香气成分が増加していたことから、これらが酸味を連想させることによって官能検査における酸味の評価に影響した可能性が考えられる。

牛乳とぶどうジュースによる発酵

上述の実験ではコーヒー果実の粉末を発酵のための資化源として用いたが、本項目では乳酸菌とワイン酵母が発酵しやすい牛乳とぶどうジュースをそれぞれの資化成分とすることにより、発酵によってコーヒーの風味がどのように変化するかを検証した。

それぞれのコーヒー豆抽出物について官能検査を行った結果を図 5 に示した。乳酸菌による発酵について、未処理のものと比較すると香

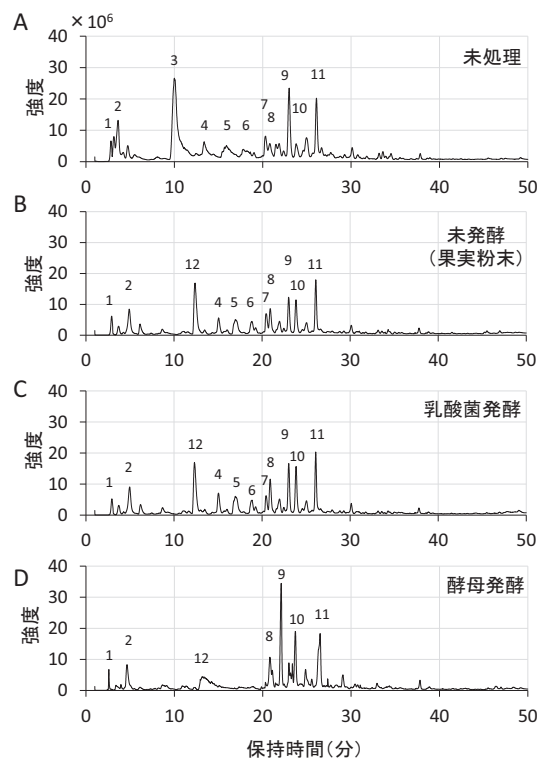


図 4. コーヒー果実粉末溶液による発酵：GC/MS クロマトグラム

A, 未処理、B, 未発酵 (粉末果実のみ)、C, 乳酸菌発酵、D, 酵母発酵。

ピーク 1：ヘキサン、2：2-メチルブタナール、3：2,4 ペンタジエンニトリル (またはピリジン)、4：メチルピラジン、5：2,3/2,5/2,6,-ジメチルピラジン、6：2-エチル-3/5/6-メチルピラジン、7：酢酸、8：フルフルール、9：酢酸フルフルル、10：5-メチルフルフルール、11：フルフルルアルコール、12：ピリジン。

ばしさ、香りの好ましさ、酸味、総合評価が有意に増加し、苦味が有意に減少したが、牛乳のみで処理した場合も同様の評価であったことから、乳酸菌ではなく牛乳によりコーヒーに好ましい香りが付加されたことが推察された。牛乳単独と比較した場合には、乳酸菌により香ばしさの項目で増加する傾向がみられた。一方、酵母による発酵でも同様に、香りの評価はぶどうジュースのみと酵母添加とで類似した変化がみられ、ともにフルーティさが有意に増加した。一方、味の評価ではぶどうジュースのみの処理

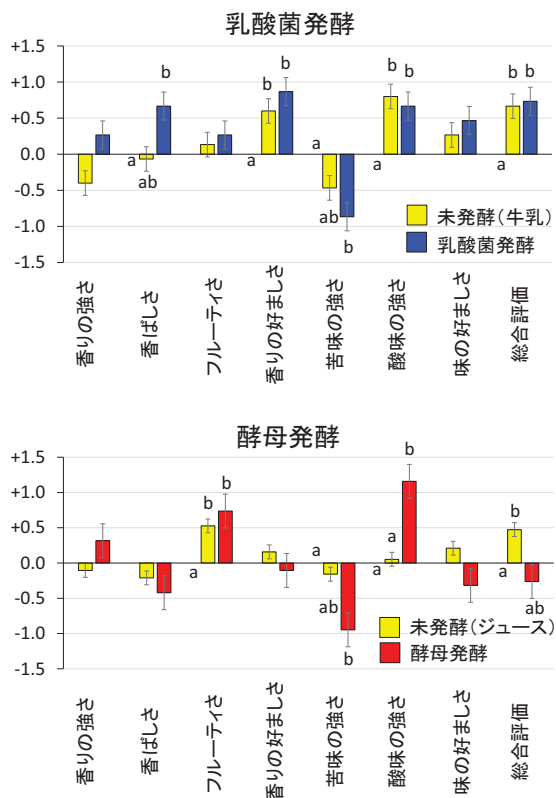


図 5. 牛乳とぶどうジュースによる発酵：抽出コーヒーの官能評価

発酵前の生豆を焙煎したものを基準 (0) とし、それぞれの焙煎後の豆の香気を評価法により 5 段階評価した。同一項目で異なる記号を持つものは有意差を表す。

と比べて、酵母発酵により酸味の強さが有意に増加し、苦味が減少する傾向がみられた。味の好ましさと総合評価も減少傾向にあったことから、酸味が強すぎるにより嗜好性が低下したものと考えられる。

抽出物の滴定酸度と総ポリフェノール濃度を図 6 に示した。乳酸菌発酵、酵母発酵ともに滴定酸度が未処理に対して有意に増加したが、酸度の値は酵母発酵よりも乳酸菌発酵の方が高く、ここでも官能検査の値との関連性はみられなかった。総ポリフェノール濃度に関しては、酵母発酵では差がみられなかったが、乳酸菌発酵では未処理に対して有意に増加していた。

GC/MS による香気成分の分析結果を図 7 に示した。牛乳あるいはぶどうジュース処理による変化が大きく、さまざまな香気が付加された。

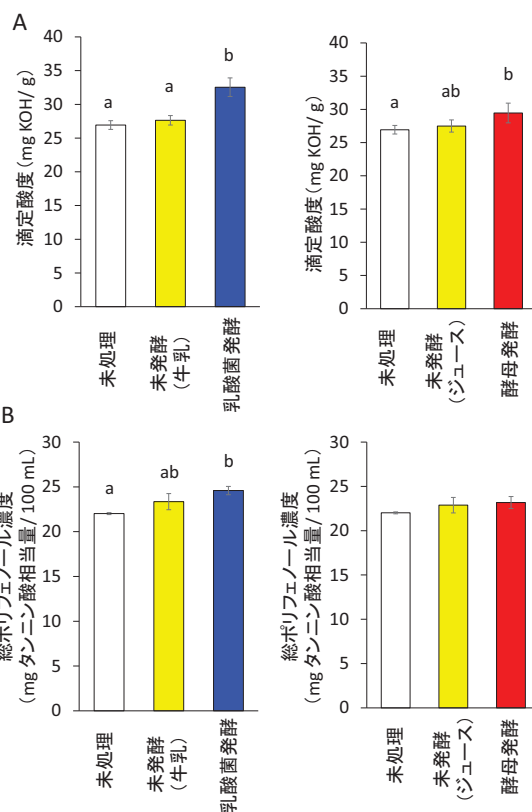


図 6. 牛乳とぶどうジュースによる発酵：滴定酸度 (A) と総ポリフェノール量 (B) 滴定酸度はコーヒー豆 1 g 当たりの水酸化カリウム量、総ポリフェノール量は抽出物 100 mL 当たりのタンニン酸量として表示した。上部の記号で、異なる記号を持つものは有意差を表す。

これに対して、発酵による変化は明確ではなかったが、乳酸菌発酵で香ばしい香りを持つピラジン類、酵母発酵でフルーティな香りを持つフラン類の割合が増加する傾向がみられ、これらの変化が官能検査の相違に繋がった可能性が考えられる。

赤ワインと日本酒による香りづけ

さらに、発酵産物による香り付けとして、酵母による代表的な醸造酒である赤ワインと日本酒を用い、コーヒー生豆にフレーバーを付加した場合の風味の変化を検証した。

コーヒー生豆を赤ワインあるいは日本酒で 30 分浸漬処理したものについて、焙煎後の熱水

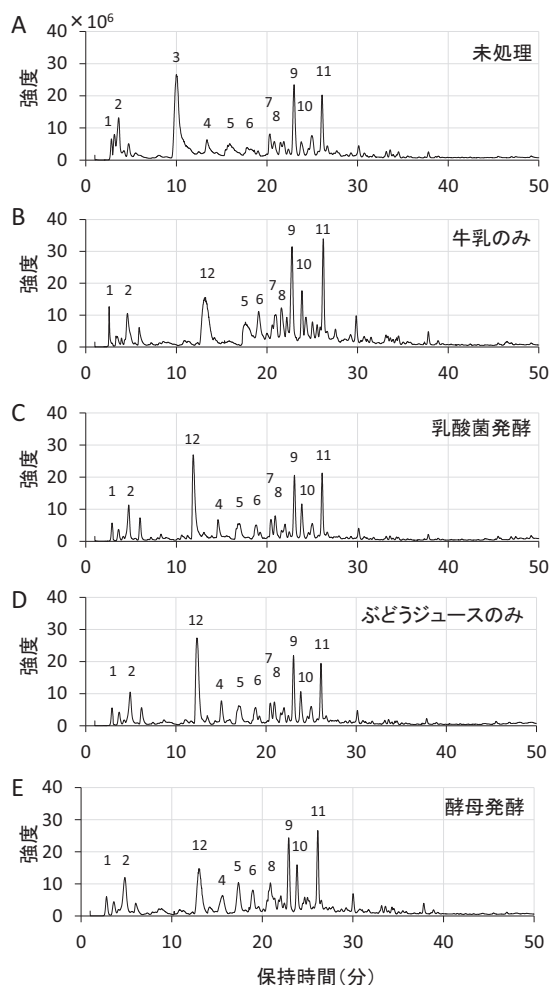


図 7. 牛乳とぶどうジュースによる発酵：GC/MS クロマトグラム

A, 未処理、B, 未発酵（牛乳のみ）、C, 乳酸菌発酵、D, 未発酵（ぶどうジュースのみ）、E, 酵母発酵。
 ピーク 1：ヘキサン、2：2-メチルブタナール、3：2,4 ペンタジエンニトリル（またはピリジン）、4：メチルピラジン、5：2,3/2,5/2,6,-ジメチルピラジン、6：2-エチル-3/5/6-メチルピラジン、7：酢酸、8：フルフラール、9：酢酸フルフリル、10：5-メチルフルフラール、11：フルフリルアルコール、12：ピリジン。

抽出物の官能検査を行った結果を図 8 に示した。赤ワイン、日本酒ともに、酸味が増加し、苦味が減少する傾向がみられた。また、日本酒処理では香りの強さとフルーティな香りが有意に増加した一方で、香ばしさと香りの好ましさが有意に低下した。自由記述に「アルコールのよう

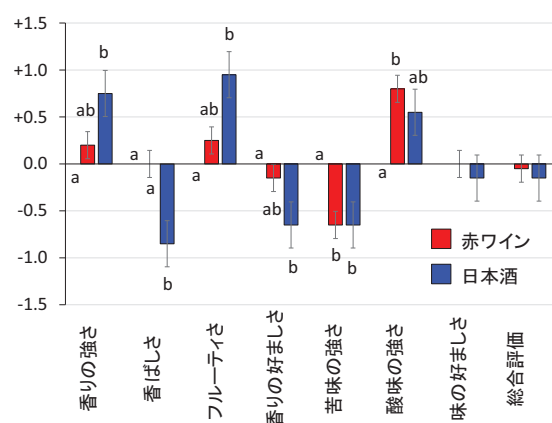


図 8. 赤ワインと日本酒による香りづけ：抽出コーヒーの官能評価

発酵前の生豆を焙煎したものを基準（0）とし、それぞれの焙煎後の豆の香味を評価法により 5 段階評価した。同一項目で異なる記号を持つものは有意差を表す。

な香りが強い」や「コーヒーらしくない」というコメントが多くあったことから、アルコール臭が影響した可能性がある。香りに関しては標準誤差が大きく、好き嫌いが大きく分かれたものと考えられる。

滴定酸度、総ポリフェノール濃度の結果を図 9 に示した。滴定酸度では赤ワイン、日本酒ともに未処理のものと比較して有意に増加したことから、赤ワインあるいは日本酒に含まれる有機酸が影響した可能性が考えられる。一方、官能検査では赤ワイン、日本酒ともに苦味の強さが有意に低下していたのに対し、総ポリフェノール濃度は日本酒処理で増加傾向がみられたものの、有意差はみられなかった。

それぞれの抽出物に含まれる香気成分のクロマトグラムを図 10 に示した。ワインと日本酒はともにほぼ同じようなクロマトグラムとなり、未処理のものと比較して香気に大きな変化がみられた。ともに、香ばしい香りをもつピラジン類が増加するとともに、フルーティな香りをもつフラン類の多くのピークが増加していた。さらに、酢酸エチルやエタノールのようなワインや日本酒に含まれる香気成分も、量は少ないものの多数検出されたことから、ワインまたは日

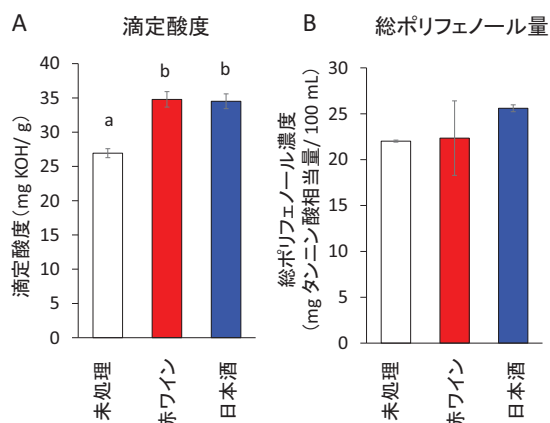


図 9. 赤ワインと日本酒による香りづけ：滴定酸度 (A) と総ポリフェノール量 (B) 滴定酸度はコーヒー豆 1 g 当たりの水酸化カリウム量、総ポリフェノール量は抽出物 100 mL 当たりのタンニン酸量として表示した。カラムの記号で、異なる記号を持つものは有意差を表す。

本酒によりさまざまな香気が付加されたことが示された。

官能検査と滴定酸度および総ポリフェノール量との相関

上述の試験における滴定酸度の変化では、コーヒー果実粉末と牛乳を用いた場合の両方で乳酸菌発酵により酸度の上昇がみられ、発酵による有機酸の増加が示唆された (図 3、6)。また、総ポリフェノール濃度に関しても同様に、乳酸菌発酵により上昇傾向がみられ、発酵産物自体、あるいはその焙煎によって生じた成分によって、ポリフェノール量が増加した可能性が示唆された。一方、赤ワインと日本酒による処理では、ともに滴定酸度の有意な増加がみられ、それぞれに含まれる有機酸のコーヒー豆への移行が示唆された (図 9)。

いずれの項目でも、その酸味の評価と滴定酸度および、苦味の評価と総ポリフェノール濃度との間に明確な関連性は見られなかったが、これを確認するため、3 つの試験における官能検査の酸味の項目の平均値と滴定酸度、および苦味の項目の平均値と総ポリフェノール濃度との間の相関を求めた。図 11 に示したように、滴定

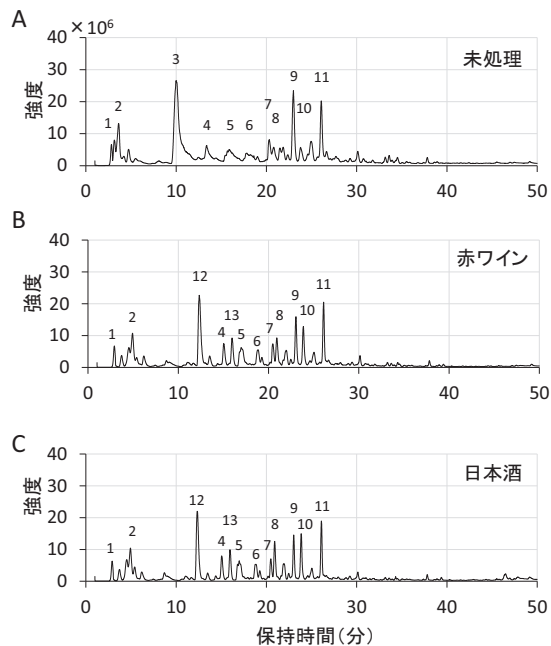


図 10. 赤ワインと日本酒による香りづけ：GC/MS クロマトグラム

A, 未処理、B, 赤ワイン処理、C, 日本酒処理。
ピーク 1：ヘキサン、2：2-メチルプタナール、3：2,4-ペンタジエンニトリル (またはピリジン)、4：メチルピラジン、5：2,3/2,5/2,6,-ジメチルピラジン、6：2-エチル-3/5/6-メチルピラジン、7：酢酸、8：フルフラール、9：酢酸フルフリル、10：5-メチルフルフラール、11：フルフリルアルコール、12：ピリジン、13：ジフルフリルエーテル。

酸度と酸味の評価との決定係数は 0.0049 であり、総ポリフェノール濃度と苦味の評価との決定係数は 0.0006 と、いずれも明確な相関はみられなかったことから、発酵による風味の変化は味成分による影響ではなく、筆者らが以前の研究で酪酸ブチルによる苦味感受性の変化について報告したような¹⁷⁾、香気の変化による感覚の修飾作用で生じたものと推察される。ただし、コーヒーの苦味成分に関して総ポリフェノール含量はあくまで苦味成分の指標のひとつであり、微量でも強い苦味を示す成分も多いことから、必ずしも苦味の変化が味成分の変化によるものではないと断定できないことに注意が必要である。これらの結果から、コーヒーの発酵におけ

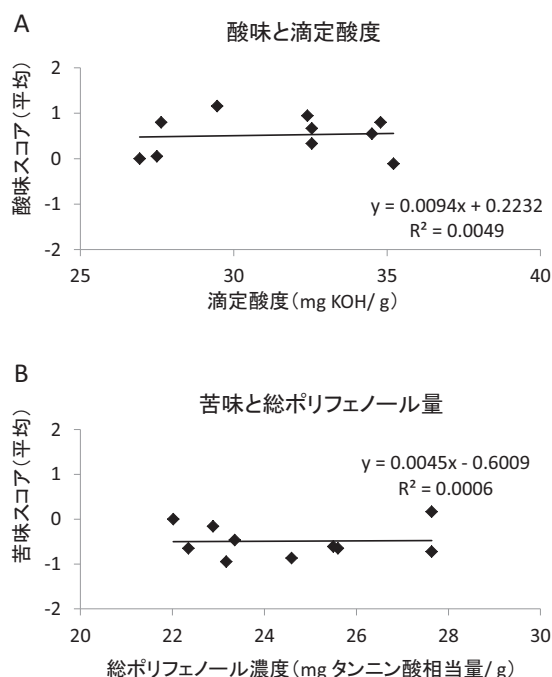


図 11. 官能検査と滴定酸度および総ポリフェノール量との相関

A, 官能検査における酸味の評価を縦軸に、滴定酸度を横軸にプロットした。B, 官能検査における苦味の評価を縦軸に、総ポリフェノール量を横軸にプロットした。A, B のそれぞれについて、回帰式と決定係数 (R^2) を求めた。

る風味の変化では香りの変化による影響が大きいことが示唆された。

総合考察

本研究では、精製後のコーヒー生豆を用い、コーヒー果肉粉末を用いた発酵、牛乳及びぶどうジュースを用いた発酵、ワイン及び日本酒によるフレーバー付加の3つの方法により、コーヒーの風味がどのように変化するかを検証した。

「はじめに」で記したように、コーヒーは発酵食品の一種であり、コーヒー果実からのコーヒー豆の精製において古くより微生物による発酵が用いられている。コーヒーの発酵においては多様な微生物が関与するが、乾式精製におけるカビ類（糸状菌）の増殖によるフェノール臭や、湿式精製における酪酸菌の発生による発酵

臭など、好ましくない発酵はさまざまな不快臭の原因となり、欠点豆として扱われる^{2, 5)}。一方、コーヒー果実を特定のスターター酵母で処理することにより、キャラメル香やハーブ香、フルーツ香等の好ましい香気が発生され、官能評価が向上するなどの報告もなされており¹³⁾、近年では微生物を用いた発酵による特有の風味の付加も試みられるようになってきている。

コーヒーの風味の表現方法としては、例えば Specialty Coffee Association (SCA) と World Coffee Research (WCR) が定めている Coffee Taster's Flavor Wheel のような多様なフレーバーの表現が国際標準となっているが、そのおいしさの鍵となるものは香気であり、わずかなバランスの違いがその風味に大きく寄与している。コーヒーの味としては、「苦さ」「酸っぱさ」「甘さ」などが挙げられるが、「甘味」を示す遊離糖は焙煎によって分解されるため量としてはわずかであり、苦味成分と酸味成分が中心となる⁵⁾。苦味は焙煎によって生じるものが中心であるが、酸味は生豆の状態の影響も大きく、異常発酵した欠点豆は不快な酸味を生じやすい。本研究においても、コーヒー果実粉末を用いた発酵モデル、ぶどうジュースを用いた発酵モデルともに、ワイン酵母を加えることにより酸味が増加する一方、苦味の評価が減少した。いずれも酸味と苦味の指標として用いた有機酸とポリフェノール量との関連性はみられず(図 11)、香気成分の分析でフラン類によるフルーティな香りの増加が示されたことから、酢酸フルフリル等の香気成分の変動がこの評価に繋がったものと考えられる。コーヒーにおける「フルーティな香り」はモカ香のように良好なフレーバーともなるが、特定の香気が強すぎると発酵臭として扱われ、強すぎる酸味が欠点豆の原因となる。本研究における酵母発酵ではこのフルーティな香りの増加により、官能検査における酸味の評価が増加し、総合評価が低下したものと考えられる。一方、乳酸菌による発酵では、ピラジン類の増加による香ばしい香りが付加されるとともに味の好ましさが上昇した。コーヒーのおいしさにおいては、香りの中でも「香ばしさ」がコーヒーの香りとして最も主要であることから、乳酸菌発酵による「香ばしい香り」がこれに寄与した

ものと考えられる。

本研究ではそれとともに、発酵産物として赤ワイン及び日本酒を用いてフレーバー付加を行ったが、ともに風味に類似した変化がみられ、香りの強さ、フルーティさ、酸味が増加し、香りの好ましき、苦味が減少する傾向がみられた。香気成分の分析では、酵母発酵させた場合と同様のフラン類によるフルーティな香りや、量は少ないものの酢酸エチル等の発酵醸造酒特有の香りが検出された。官能評価の自由記述では、「アルコールの香りが強い」というコメントが複数あったことから、官能評価で香り・味の好ましきや総合評価が低下したことは、醸造酒特有の香気成分の増加が影響した可能性も考えられる。ともに香りと総合評価に関してばらつきが大きく、好き嫌いが大きく分かれる可能性があるが、日本酒とコーヒーとを組み合わせた新しいフレーバーのコーヒー開発など、これまでにない新たな地域特産物への応用が期待される。

結語

本研究では、発酵による新しいコーヒー開発の可能性を探索するために、コーヒー生豆の発酵によりどのように風味が変化するかについて検証した。その結果、コーヒー生豆は発酵処理により大きく風味が変化するが、これは特に香気成分の変化の影響が大きいことが示された。

以前の筆者等の研究で、雪室貯蔵したコーヒー豆では香気成分が変化し、フラン類やピラジン類の割合が増加することにより苦みと渋みが減少して「マイルド」な風味になることを報告した¹¹⁾。本研究においても、酵母発酵や赤ワインおよび日本酒処理により酢酸フルフリルを中心とするフラン系の香気成分が増加するとともに、官能検査で酸味の評価が増加し苦味が減少する傾向がみられた。この変化は必ずしも総合評価において高評価に繋がるものとは限らないものの、発酵を利用することによりこれまでにない風味をもつ新たなコーヒーを製造することも可能であると考えられる。今後、この分野の研究の進展により、発酵を利用したコーヒーの開発が一般的になることを期待している。

謝辞

匂い嗅ぎ付き GC-MS の分析では、新潟県農業総合研究所食品研究センターの渡辺聡先生と西脇俊和先生、奥原宏明先生にご協力を頂きました。深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 中林敏郎、箆島豊、本間清一、他. コーヒー焙煎の化学と技術. アイ・ケイコーポレーション、2002; 152-68.
- 2) 圓尾修三、広瀬幸雄. コーヒーの香味を探る+風味表現用語集. 旭屋出版、2009; 24-48.
- 3) グエン・ヴァン・チュエン、石川俊次. コーヒーの科学と機能. アイ・ケイコーポレーション、2006; 12-34.
- 4) 中林敏郎. 焙煎によるコーヒーの有機酸とpHの変化. 日本食品工業学会誌 1978; 25: 142-6.
- 5) 旦部幸博. コーヒーの科学 「おいしさ」はどこで生まれるのか. 講談社、2006; 130-64.
- 6) 日本香料協会(編). 食べ物 香り百科事典. 朝倉書店、2006; 200-2.
- 7) Semmelroch P, Grosch W. Studies on character impact odorants of coffee brews. J. Agric. Food Chem. 1996; 44: 537-43.
- 8) Wada K, Sasaki H, Shimoda M, et al. Objective Evaluation of Various Trade Varieties of Coffee by Coupling of Analytical Data and Multivariate Analyses. Agric. Biol. Chem. 1987; 51: 1753-60.
- 9) Holscher W, Vitzthum OG, Steinhart H. Prenyl alcohol-source for odorants in roasted coffee. J. Agric. Food Chem. 1992; 40: 655-8.
- 10) 熊沢賢二、増田秀樹、西村修、他. コーヒー飲料の加熱処理による香気変化. 日本食品科学工学会誌 1998; 45: 108-13.
- 11) 曾根英行、押味真里菜、伊藤美咲、他. 雪室貯蔵によるコーヒー豆の香気成分の変化について(雪室を再現したモデル実験による検討). Trace Nutrients Res. 2014; 31: 12-6.
- 12) バイオインダストリー協会 発酵と代謝研究会編. 発酵ハンドブック. 共立出版、2001;

- 184.
- 13) Silva CF, Vilela DM, de Souza Cordeiro C, et al. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2013; 29: 235-47.
- 14) Evangelista SR, Silva CF, Miguel MGPC, et al. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Res. Int.* 2014; 61: 183-95.
- 15) Pereira GVM, Neto E, Soccol VT, et al. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. *Food Res. Int.* 2015; 75: 348-56.
- 16) Pereira GVM, Soccol VT, Brar SK, et al. Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017; 57: 2775-88.
- 17) 神山伸、須崎奈美、田山舞、他. 香気成分が苦味の感受性に与える影響について. *人間生活学研究* 2017; 8: 73-9.

ABSTRACT

Model experiments for fermentation of purified coffee beans: the alteration of coffee flavor.

Shin Kamiyama^{*}, Yuka Sato[†], Hikaru Ohta, Hideyuki Sone

Department of Health and Nutrition, Faculty of Human Life Studies, University of Niigata Prefecture

* Correspondence: kammy@unii.ac.jp

† These authors contributed equally to this article.

The present study aimed to evaluate the alteration of coffee flavor by fermentation of purified coffee beans. We used following three model experiments: 1) fermentations by lactic acid bacteria or wine yeast using solution of powdered coffee cherry, 2) fermentations by lactic acid bacteria using milk or by wine yeast using grape juice, and 3) flavoring using Japanese sake or red wine. Regarding wine yeast fermentation, both the coffee beans fermented with 1) coffee cherry solution and 2) grape juice showed higher sour taste and lower bitter taste scores by sensory evaluation as compared to those of unfermented beans. The analyses of yeast-fermented beans by GC/MS revealed that increased furanoids including furfuryl acetate might contribute to the alterations of the taste scores. In contrast, the fermentation by lactic acid bacteria showed higher roasted flavor due to its increased pyrazine compounds. Finally, the coffee beans 3) flavored using Japanese sake or red wine also showed higher sour taste and lower bitter taste scores by sensory evaluation and increased furanoids similar to those were observed in yeast fermentation. In all of three experiments, no correlations were observed neither between sour taste score and titratable acidity nor between bitter taste score and total polyphenol content. These results suggest that fermentation of purified coffee beans affects coffee flavor via modifying odor components rather than taste components.

Key Words: Coffee, fermentation, lactic acid bacteria, wine yeast, flavor