

麹菌を用いた発酵食品の機能性

渡辺 敏郎^{1*}・高岡 素子²・井上 淳詞³・加藤 範久⁴

はじめに

日本の伝統的な発酵食品の製造に広く用いられる麹菌は、さまざまな酵素産生能を利用して原料由来の成分を変化させ、製品の味や風味を高めることに大きく関与してきたが、近年、その麹菌を用いた発酵食品における生理機能効果が盛んに研究されている。ここでは、さまざまな原料をベースに麹菌を繁殖させた新しい麹（多穀麹・ごぼう麹・ショウガ麹）の機能性と麹を使用した発酵産物として酒粕発酵物の機能性について解説する。

多穀麹の機能性

多穀麹とは、あわ、ひえ、きび、こうりゃん、大麦、紫黒米などを混合した穀物に麹菌 (*Aspergillus oryzae*) を接種し製麹したもので、酸性プロテアーゼと中性プロテアーゼの両酵素について高い活性を示すことを特長とした原料混合型麹である。多穀麹を摂取することで食餌タンパク質の消化を助けることができ、また、栄養価の高い穀類を手軽に食することができるので高齢者にとっても優れた食品になると考えられた。実際にマウスに多穀麹を摂取させ、体内でのタンパク質分解促進効果を調べたところ、胃内容物の遊離アミノ酸量は、対照群および穀物原料摂取群よりも多穀麹摂取群が有意に高かった。これは多穀麹に含まれるアミノ酸だけではなく、多穀麹の酸性プロテアーゼが飼育中のタンパク質に胃内で作用したことによると考えられた。また、小腸内容物においても胃内容物と同様、対照群および穀物原料摂取群よりも多穀麹摂取群の遊離アミノ酸量が有意 ($p < 0.05$) に高かった。これも多穀麹の中性プロテアーゼが小腸内で反応し、アミノ酸量が増加したためと推測された。一方、大腸内容物の遊離アミノ酸量は、すべての群において、胃内容物や小腸内容物に比べると低値であり、遊離アミノ酸のほとんどは小腸で吸収されたことが示唆された。つまり、多穀麹のプロテアーゼが生体内で作用し、食餌に含まれるタンパク質の分解を促進したと考えられた¹⁾ (図1)。

これまで麹は味噌や醤油、清酒の醸造にとって欠かせない製造原料の一つで、なかでも麹の酵素がいかに効果

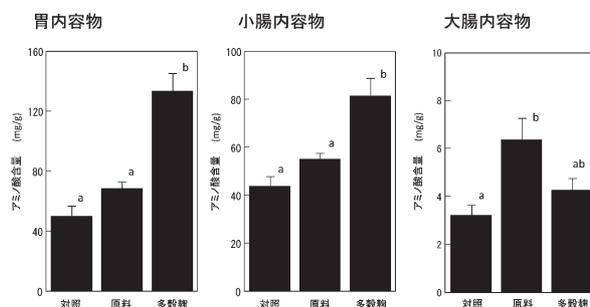


図1. 胃・小腸・大腸内容物の遊離アミノ酸量の変化。値は平均値±標準誤差で表し、異なるアルファベットは有意差 ($p < 0.05$) を示す。

的に働くかが重要であった。しかし、麹は単に製造原料ではなく、食することでも体内で有効に働くことが示された。多穀麹は現代の高タンパク質中心の食事に適応でき、また生体酵素生産が低下した高齢者において有効な発酵食品になりうると考えられた。

ごぼう麹の機能性

ごぼう麹とは、乾燥ごぼうに麹菌 (*Aspergillus awamori*) を接種し製麹したもので、特に高い酸性プロテアーゼ活性を示すことを特長とした、穀物ではなく、野菜を原料とした珍しい麹である。ごぼう麹の摂取により腸内ビフィズス菌が増加したことから、ごぼう麹由来の酸性プロテアーゼの関与が強く示唆された^{2,3)}。また、原料である乾燥ごぼう、または、ごぼう麹を摂取させた後、アロキサンを腹腔内投与することで実験的に低インスリン血症性糖尿病を誘発させる実験を行ったところ、正常マウスでは、高血糖の発生率は対照で25%、乾燥ごぼうで20%、ごぼう麹で11%であり、低インスリン血症性マウスではそれぞれ73%、80%および27%であり、乾燥ごぼうの摂取では高血糖は抑制されないが、ごぼう麹では抑制されることが示された。対照食または乾燥ごぼうを与えたマウスの血漿中のインスリンおよびC-ペプチドは、ごぼう麹を与えたマウスと比較して低かった。したがって、麹菌が糖尿病の予防において重要な役割を担うと考えられた^{4,5)}。

* 著者紹介 園田学園女子大学人間健康学部食物栄養学科 (教授) E-mail: watnb-ts@sonoda-u.ac.jp

¹園田学園女子大学人間健康学部食物栄養学科, ²神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科

³株式会社あじかん, ⁴広島大学大学院生物圏科学研究科

シヨウガ麴の機能性

乾燥させたシヨウガチップを水で浸漬させ、蒸煮殺菌、放冷後、麴菌 (*Aspergillus oryzae*) を接種、製麴したものがシヨウガ麴である。シヨウガ麴は、中性プロテアーゼが20,000 units/g以上あり、特に中性域からアルカリ性域においてタンパク質の分解能が高い。またシヨウガ麴のジングロール含量は原料のシヨウガよりも低値を示したが、シヨウガオール含量は逆に増加した。加熱や製麴によってジングロールは、シヨウガオールに変換することがわかった。

シヨウガ麴はプロテアーゼ活性を有するが、生体内においてもこれらの酵素が作用し、食事に含まれるタンパク質を消化することができるか調べるため、人工胃液を用いたモデル評価系で検討した¹⁾。人工胃液 (pH 1.2) にシヨウガ麴2 gと乳タンパク質8 gを添加し、37°Cで2時間反応させた。その結果、シヨウガ麴のみや乳タンパク質のみに比べ、シヨウガ麴と乳タンパク質の両者を反応させるとpHが低い状態にも関わらず測定したすべてのアミノ酸含量において高値を示し、シヨウガ麴は食物として摂取したタンパク質を消化できる可能性が示された。

冷え性の症状が顕著な20代女性5名を被験者として選抜し、シヨウガ麴の皮膚温度回復効果を調べた。シヨウガ麴、シヨウガ粉末、セルロース (プラセボ) のカプセル (500 mg) を摂取し、20分後、左手を20°Cに設定された恒温槽に1分間浸け、サーモグラフィにて左手のすべての指先表面温度を測定した。また同時に末梢血管モニタリング装置を用いて左手中指の血管幅を測定した。寒冷刺激暴露後から5分間隔で30分間、指先表面温度と血管幅の測定および解析を実施した。

プラセボ摂取群と比較するとシヨウガ粉末およびシヨウガ麴摂取群の両者とも、15分後には皮膚表面温度が

約4°C上昇しており、プラセボ摂取群と比べて有意な皮膚温度上昇効果を示した。その後、シヨウガ粉末摂取群の皮膚温度は低下したのに対し、シヨウガ麴では有意な皮膚温度上昇効果を維持していた。この結果からシヨウガ麴はシヨウガ粉末よりも皮膚温度上昇の持続効果が得られる可能性が示された (図2)。

また同時に、左手中指の末梢血管幅について経時的に測定した。もっとも血管幅の数値に顕著な違いがみられたのは、測定10分後であった。プラセボ摂取は血管幅が収縮し、シヨウガ粉末摂取はわずかに血管幅の拡張が見られたが、シヨウガ麴摂取では血管幅は有意に拡張した。シヨウガオールの摂取により血管幅が拡張すると末梢の血液量が増加し、皮膚表面温度を回復させると考えられており、シヨウガ麴にすることでシヨウガオール含量が高められたことが大きく関与していると推測された。

シヨウガ麴は、タンパク質と同時に摂取することで、シヨウガ麴のプロテアーゼがタンパク質を加水分解して得られる食事誘導性熱産生 (DIT) とシヨウガの辛味成分との併用効果が期待できた。そこで、前述と同様に冷え性女性5名を被験者として試験を実施した。ここではカプセルと一緒に合成甘味料で味付けした乳タンパク質飲料を200 mL摂取 (タンパク質として10 g摂取) した。シヨウガ麴と乳タンパク質飲料の同時摂取では、10分後で皮膚温度が約3.5°C上昇、その後も有意に皮膚温度の上昇が示された。これは乳タンパク質とシヨウガ麴を同時に摂取したことで消化酵素によるタンパク質の消化が促進され、一部アミノ酸として吸収される際、熱エネルギーとして放出されたDITとシヨウガオールなどのシヨウガ成分による皮膚温度上昇の併用効果であることが示唆された (図3)。

ヒトの先行研究においても牛乳の摂取やバランスのとれたアミノ酸摂取は高いDITを示す報告^{6,7)}があり、アミノ酸のなかでもロイシンは高い熱産生効果を示す。ま

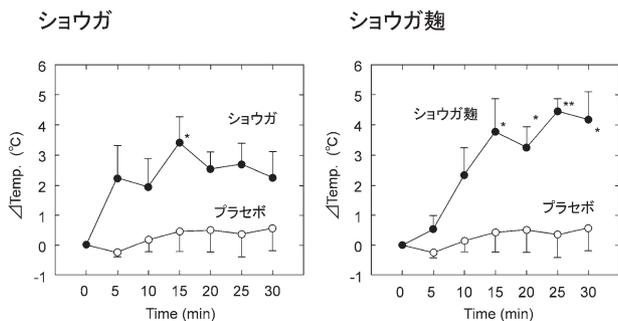


図2. 冷え性被験者の指先平均温度変化 (n = 5, *p < 0.05, **p < 0.01)

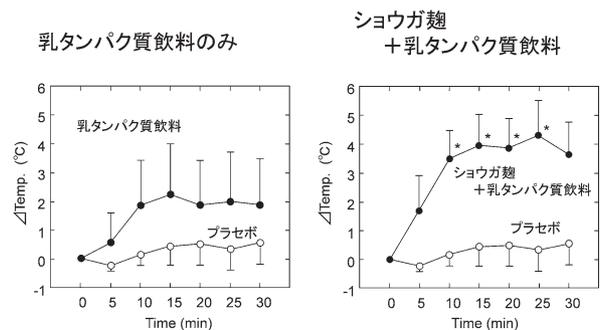


図3. 乳タンパク質飲料との併用効果 (n = 5, *p < 0.05)

た、動物実験であるがグルタミン酸ナトリウムを摂取すると褐色脂肪細胞が多い背部を中心に皮膚温度の高温範囲が増大する報告⁸⁾がある。乳タンパク質の消化試験結果からもショウガ麹はロイシンやグルタミン酸の遊離含量が高く、これらアミノ酸がDITに寄与していることが示唆された。またDITは食後10分後から以後30~40分間続くと報告⁹⁾されていることから比較的長時間において熱産生効果を示すことが推測される。よってショウガ麹は冷え性女性の体温回復に有効な新規発酵食品素材であることが示唆された¹⁰⁾。

酒粕発酵物の機能性

食物繊維様の生理機能を示す食品成分で、唯一、タンパク質成分のものがレジスタントプロテインである。タンパク質は、消化されて必須アミノ酸や窒素源として利用されるので、栄養学的にたいへん有用であるといえる。しかし、近年、適度に消化性が低いタンパク質、つまりレジスタントプロテインは健康維持に対して有効であることが報告¹¹⁾されている。レジスタントプロテインを含む食品には、さまざまなものがあるが、ここでは酒粕発酵物について述べる。

酒粕中のタンパク質の性質を調べたところペプシンやパンクレアチンでは消化されないレジスタントプロテインが存在することがわかった。そこで、酒粕を食品用酵素製剤や麹、清酒酵母で再発酵するとさらに高いレジスタントプロテイン含量を示す酒粕発酵物を調製することができた。SDS-PAGEでタンパク質泳動パターンを解析すると、米に含まれる酸性グルテリン(37~39 kDa)、グロブリン(26 kDa)、塩基性グルテリン(22~23 kDa)、プロラミン(16, 13, 10 kDa)が酒粕にそのまま移行しているが、酒粕発酵物では酸性グルテリン、グロブリン、塩基性グルテリンが減少し、プロラミンが増加したことより、酒粕発酵物のレジスタントプロテインはプロラミンであることがわかった¹²⁾(図4)。

一般に多くの食物繊維には油吸着効果は認められないが、酒粕発酵物は高い油吸着効果を示した。酒粕発酵物の表面構造を電子顕微鏡で観察するとポーラス状の組織であり、それゆえ油吸着能に優れているのではないかと推測された。そこで、ラットに高脂肪食を与え40日間飼育し、脂肪組織重量および筋肉重量を測定したところ、酒粕発酵物を与えることで、脂肪の蓄積を抑え、筋肉量は低下させないことがわかった。

また酒粕発酵物をラットに摂取させ、その腸内細菌叢の変化について評価した。試験は、標準飼料を自由摂取させた対照群と酒粕発酵物を添加した実験飼料を自由

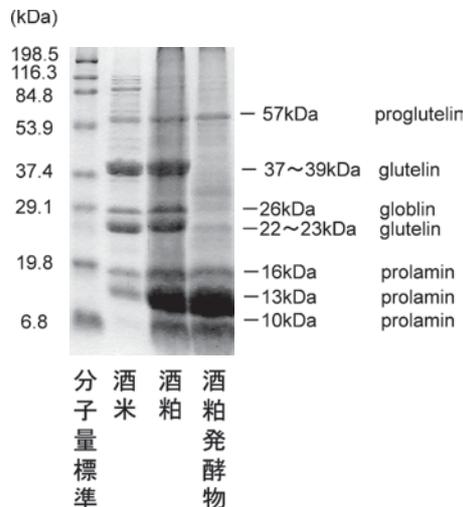


図4. SDS-PAGEによる酒米, 酒粕, 酒粕発酵物の比較

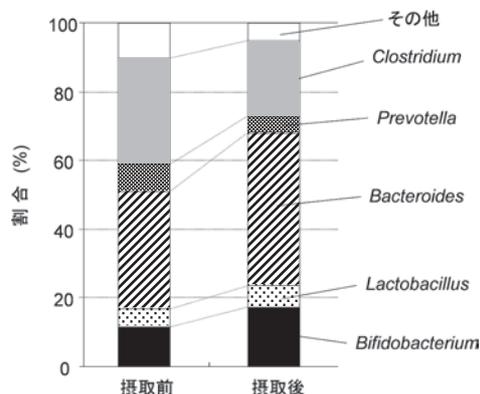


図5. 酒粕発酵物摂取における腸内細菌の割合変化

摂取させた酒粕発酵物摂取群の2群に分けて行った。試験4週間後に、糞便中の*Lactobacillus*, *Bacteroides*, *Clostridium*の生菌数を各種選択培地でカウントした。また糞便中の有機酸組成を調べることで腸内細菌の発酵性について調べた。その結果、酒粕発酵物の摂取により糞便中の有機酸は、乳酸、酢酸、プロピオン酸、酪酸で増加した。また酒粕発酵物を摂取することで、ラット糞便量が増加し、含水量も増加する結果が得られた。腸内細菌の数では、酒粕発酵物の摂取により、*Lactobacillus*や*Clostridium*の数では大きな変化がなかったが、*Bacteroides*の増加が確認された。*Bacteroides*は日和見菌と呼ばれ、腸内で善玉菌が優勢のときはおとなしく、悪玉菌が優勢のときは有害な作用を及ぼす細菌である。近年、腸内細菌の食物分解能の差から*Bacteroides*が優勢である人は、栄養の吸収や蓄積がされにくく、肥満者は腸内の*Bacteroides*の数が少なく、肥満でない者は*Bacteroides*が多いとの報告¹³⁾があり、酒粕発酵物を与

えることで、*Bacteroides*が増える状況にあることは、酒粕発酵物の肥満抑制効果を裏付ける一つの要素となりうる。実際に、ヒトで酒粕発酵物を摂取する前後の糞便をT-RFLP解析しても*Bacteroides*が優勢となり、*Clostridium*や*Prevotella*が減少することが示された¹⁴⁾(図5)。

おわりに

本稿で麹菌を用いた発酵食品の機能性について紹介した。食が高脂肪、高タンパク質、低食物繊維に変化したことで、日本人も肥満者が増え、メタボリックシンドロームの進展リスクを意識しなければならなくなった。日本人は昔から麹菌を用いた発酵食品が体に良いことを知っており、発酵素材を積極的に摂取することで体の調子を整えてきた。なんとなく体に良いと思われていた発酵食品を学術的に新たな切り口で研究すると、麹が産生する酵素や酒粕に含まれるレジスタントプロテインが素晴らしい生理機能を示すことが分かった。今こそ、日本の伝

統的発酵技術で得られた発酵食品を再認識すべきである。なお、本稿で取り上げた「多穀麹」「ショウガ麹」「酒粕発酵物」はヤエガキ醸酵技研(株)で製品化されている。

文 献

- 1) 井上美保ら：日本醸造協会誌, **102**, 847 (2007).
- 2) Okazaki, Y. *et al.*: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **77**, 53 (2013).
- 3) Yang, Y. *et al.*: *Biomed. Rep.*, **3**, 715 (2015).
- 4) Takemoto, K. *et al.*: *Food Nutr. Sci.*, **5**, 1554 (2014).
- 5) Doi, W. *et al.*: *J. Food Res.*, **4**, 10 (2015).
- 6) Pitkanen, O. *et al.*: *Nutrition*, **10**, 132 (1994).
- 7) 小栗靖生ら：肥満研究, **17**, 139 (2011).
- 8) 村上仁志ら：日本味と匂学会誌, **6**, 627 (1999).
- 9) 宮田 剛ら：外科と代謝・栄養, **45**, 129 (2011).
- 10) 川端幸奈ら：日本醸造協会誌, **108**, 778 (2013).
- 11) Kayashita, J. *et al.*: *J. Nutr.*, **127**, 1395 (1997).
- 12) 湯川雅之ら：日本醸造協会誌, **104**, 963 (2009).
- 13) Turnbaugh, P. J. *et al.*: *Nature*, **444**, 1027 (2006).
- 14) 渡辺敏郎：*New Food Industry*, **52**, 24 (2010).