

# 原料米処理温度の相違による効果的な紅麴の製麴

Effective red mold rice production method : The influence of material raw rice processing temperature

河野 勇人<sup>1</sup>・北島 葉子<sup>2</sup>・古川 愛子<sup>2</sup>

Isato KONO・Yoko KITAJIMA・Aiko FURUKAWA

## 要 旨

原料米の蒸煮処理温度の違いによる紅麴の菌体量、酵素活性ならびに機能性について検討した。さらに、原料米として有色米を用いた時の紅麴の機能性について検討した。蒸煮温度では、75℃処理米の紅麴は105℃処理米に比べ菌体量の増加が認められた。また酵素活性も、菌体量の多い75℃処理の紅麴で活性が高くなった。黒米と赤米を用いた紅麴では、75℃で蒸煮処理した原料で製麴すると、精白米と同様の結果が得られた。さらに紅麴の機能性として、抗酸化活性ならびに血栓溶解活性について検討した結果、原料に有色米を用いることで機能性が高まり、さらに原料を75℃で処理すると活性が高くなった。

## Abstract

The enzymatic activities and functional properties of red mold rice, along with the numbers of fungal cells, were analyzed based on the temperature at which the rice was steamed. We also examined the functional properties of red mold rice when colored rice was used as raw rice. When polished rice was treated at 75℃, there was an increase in the number of fungal cells and a corresponding increase in enzymatic activity at this temperature, compared to 105℃ processing. When the red mold rice was produced using raw materials of black and red rice steamed at 75℃, the results were comparable to those obtained using polished rice. Furthermore, as functional properties of red mold rice, we examined antioxidant and thrombolytic activities. The findings revealed that the use of colored rice as a raw material contributed to enhancing the functionality of red mold rice, and, moreover, the levels of activity rose in response to treatment of the raw material at 75℃.

## 1. 緒言

紅麴は澱粉質原料に紅麴菌 (*Monascus*属) を生育させたもので、古くから中国や台湾などで紅酒、紅乳腐、豆腐窯等の食品製造の他に、食品の保存や漢方薬としても用いられてきた。また工業的にも、紅麴菌を利用した天然色素の生産にも用いられてきた。この紅麴は生理活性機能を持つことが近年明らかにされ、その生理活性物質として、血圧調整作用を有するγ-アミノ酪酸<sup>1)</sup>、コレステロール低下作用を有するモナコリン<sup>2)</sup>、また癌予防や抗菌物質としてのモナスカス色素<sup>3)</sup>等が報告されている。

一方、食生活の欧米化や栄養バランスの偏りによって生活習慣病が増加し、また高齢化社会の進行、医療費の増大等も社会的な問題となっている。食品に含まれる成分が生体調節機能を持ち、疾病予防や老化防止等の働きを持つことから、食品により健康増進、疾病予防を行うことが行われている。生活習慣病のうち、癌、脳卒中、心臓病は日本人の死因の上位を占め、その内脳卒中や心臓病の原因である動脈硬化症の危険因子は、高血圧、高脂血症、糖尿病、肥満である。これらの疾病に対する機能

1 くらしき作陽大学食文化学部食マネジメント学科 Department of Food Management, Faculty of Food Culture, Kurashiki Sakuyo University

2 中国学園大学現代生活学部人間栄養学科 Department of Human Nutrition, Faculty of Modern Life, Chugoku Gakuen University

性を有する紅麹は、生活習慣病の予防等の有効な食品素材といえる。

このように、紅麹は有効な食品素材であるが、紅麹菌は生育が遅く、紅麹を製麹するためには10日から1か月程度の培養期間が必要である。そのために、培養期間中に雑菌に汚染されやすいという問題点がある。その典型事例が、2024年に起きた紅麹事故<sup>4-6)</sup>である。紅麹の培養には清澄な培養環境が必要であるが、その環境が破綻し青かびのような雑菌が混入すると紅麹菌よりも早く増殖し、その結果雑菌が生成する異物が紅麹中に混入する。このような問題を解決するためには、培養中の清澄な環境を守ることが重要であるが、紅麹菌の生育を早める培養条件を見出すことも重要である。

前報<sup>7)</sup>において、原料蒸煮処理温度の違いによる製麹の菌体量と酵素活性、麴の硬度との関係について検討した。その結果、精白米を75℃と105℃で蒸煮処理し製麹した黄麹を比較すると、菌体量と酵素活性は75℃処理米の方が多い傾向が認められ、また製麹した麴の硬度と蒸煮温度の関係を検討した結果、蒸煮温度が高くなると蒸煮米ならびに麴の硬度が高くなる傾向がみられたことを報告した。紅麹の製麹には10日から1か月程度の製麹時間を要する。これは、紅麹菌の生育が遅いことに起因する。そこで、原料米の処理温度を75℃処理し紅麹を製麹すると、紅麹菌の生育速度が速まり、製麹時間が短縮されることが期待される。

ここでは、原料米の蒸煮温度を75℃と通常の105℃で処理し、それを用いて製麹した紅麹菌の生育速度、得られた紅麹の酵素活性ならびに機能性について検討した。さらに、原料米として抗酸化活性の機能性が報告されている黒米や赤米の有色米<sup>8)</sup>を用い、それを用いて製麹した紅麹の機能性について検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 麴原料の前処理

麴原料として、精白米（岡山県産あさひ米）、黒米（岡山県産黒米玄米）、赤米（岡山県産赤米玄米）を用いた。精白米は水道水に1時間30分浸漬、黒米と赤米は水道水に15時間浸漬後、水を切り脱水した。

### (2) 種菌の培養

製麹する菌株として、紅麹菌 (*Monascus pilosus*) を用いた。培養は、YPD液体培地で30℃、2日間振とう培養 (100rpm) した。

### (3) 麴原料の蒸煮処理

麴原料は、脱水後、1) 105℃・30分処理（オートクレーブ）ならびに 2) 75℃・1時間処理（低温蒸煮装置）した。

### (4) 種菌の植菌ならびに培養

蒸煮処理した麴原料に、前培養した菌株を1%容量植菌し、原料とよく混合し、28℃で培養した。菌体量はグルコサミン量139 $\mu$ gを麴菌体量1mgとして求めた<sup>9)</sup>。

### (5) 一般生菌数の測定

原料である精白米、黒米、赤米の、1) 脱水原料、2) 105℃・30分蒸煮後原料、3) 75℃・1時間蒸煮後原料に、各々1gあたり1mlの滅菌水を加えて混合後、一般生菌数測定用培地に植菌し、30℃で2日間培養し、各原料中の生菌数を測定した。

### (6) 水分の測定

製麹した各サンプルの水分は、105℃、2時間乾燥後、重量減少量から求めた。

### (7) 酵素活性の測定

製麹した麴の酵素活性は、 $\alpha$ アミラーゼ測定キット、酸性カルボキシペプチダーゼ測定キット、糖化力測定キット（キッコーマンバイオケミファ株式会社）を用いて測定した。酵素液の調製は、製麹した麴10gに純水50mlを加え、4℃で一晩浸出した後、ろ過したろ液を酵素液として使用した。

### (8) 硬度測定

蒸米、麴の硬度測定は、レオメーターFRTS（㈱イマダ）を用い、マニュアルモードで平型を用い

て測定した。

#### (9) 抗酸化活性の測定

抗酸化活性の測定は、PAO抗酸化能測定キット（日研ザイル(株)日本老化制御研究所）を用いて測定した。測定用試料の調製は、サンプルを1g採取（湿体）し、それに生理食塩水（0.9%）を10ml添加し、乳鉢で粉碎した。これらのサンプルを、遠心分離（10000rpm, 5分）し、上澄み液を測定用サンプルとした。

#### (10) 線溶活性の測定

フィブリンプレート法、直接溶解活性、間接溶解活性を測定した。フィブリンプレートは、フィブリノーゲン（シグマ）0.1976gを0.05Mホウ酸生理食塩水Buffer（pH 7.8）49.4mlに溶解した溶液10mlに、牛トロンビン50U/ml生食を0.5ml添加し調製した。前項のサンプル試料を10 $\mu$ l、このフィブリンプレートに滴下し、これを37 $^{\circ}$ Cで3時間保温後、溶解窓の大きさ（直径 $\times$ 短径（mm））を測定した。標準物質は、トリプシン（3, 2, 1 mg/ml saline）を用いた。直接溶解活性は、サンプル試料0.1mlに基質液（テストチーム S APL（積水メディカル株式会社）0.556mM）0.9mlを混合し、37 $^{\circ}$ Cで30分反応後、吸光度（405nm）を測定した。間接溶解活性は、サンプル試料50 $\mu$ lとGlu-プラスミノゲン（フナコシ, 0.14mg/ml）50 $\mu$ lを混合し、37 $^{\circ}$ Cで1時間保温後基質液0.9mlを加え、30分反応後、吸光度（405nm）を測定した。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 原料蒸煮処理温度の違いによる製麴の菌体量と酵素活性

精白米を105 $^{\circ}$ Cと75 $^{\circ}$ Cで蒸煮処理し、製麴した経時変化を図1に示した。

図1の結果より、75 $^{\circ}$ Cの低温蒸煮処理した精白米で製麴すると、通常実施されている高温の蒸煮温度で処理した蒸米より、生育が早まる可能性が見出された。

また、製麴中の菌体量変化を測定し、その結果を図2に示した。

また製麴中の水分を測定した結果を表1に示した。蒸米の水分含量が酵素生産において重要であるとされ、蒸米の水分が多いと麴の酵素力価が低くなり、また日本酒では麴成分が多く雑味の多い酒質となりやすい<sup>10</sup>。蒸米上の麴菌は蒸米の水分を基に生育し、水分が33%以上では水分が多いほど早く発芽し、菌体外酵素は菌体増殖量に比例して生産されることが知られている<sup>10</sup>。105 $^{\circ}$ C・30分処理米と75 $^{\circ}$ C・1時間処理米では、蒸煮直後の水分には差がみられたが、製麴中の水分はほとんど違いがなかった。

しかし図2の結果のように、75 $^{\circ}$ Cの蒸煮温度で処理した蒸米を用いて製麴すると、105 $^{\circ}$ C蒸煮の2倍近い菌体量の増加が認められた。紅麴菌は生育速度が遅いため、通常の製麴には10日から1か月前後の時間が必要とされる。今回の結果を応用すると、紅麴の製麴時間の短縮が図れるものと思われる。

この結果から得られた紅麴（10日間製麴）について、酵素活性を測定した。その結果、酸性カルボキシペプチダーゼは75 $^{\circ}$ C処理の麴が約2.3倍高く、また糖化力、 $\alpha$ グルコシダーゼ活性、グルコアミラーゼ活性は、75 $^{\circ}$ C処理の紅麴が105 $^{\circ}$ C処理の紅麴に比べて、それぞれ約2.5倍、約2.6倍、約2.5倍活性が高くなった。なお $\alpha$ アミラーゼ活性は、違いがなかった。

以上の結果より、製麴した紅麴（10日間製麴）の酵素活性は、菌体量が多い75 $^{\circ}$ C処理米で高い傾向が認められた。この酵素活性については、今回は製麴時間を通常の10日から1か月間に比べて短時間であったが、製麴時間を伸ばすとさらに酵素活性に違いが出ると推測される。

また黒米と赤米を用いて製麴した結果を図3に示した。

105℃ 処理米

75℃ 処理米



1 日目



3 日目



5 日目



8 日目

図1 105℃及び75℃蒸煮処理米での紅麴の製麴経過

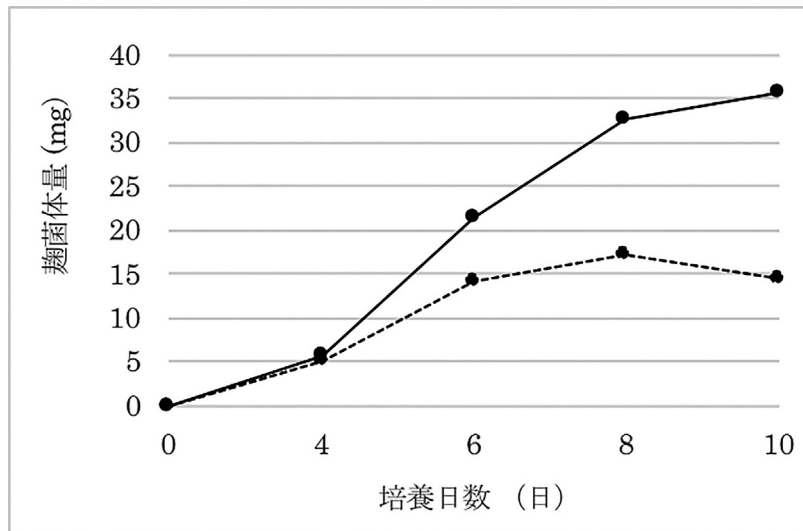


図2 製麴中の麴菌体量の変化

グルコサミン量 $139\mu\text{g}$ を麴菌体量 $1\text{mg}$ とした<sup>9)</sup>。(破線； $105^{\circ}\text{C}$ 、実線； $75^{\circ}\text{C}$ )

表1 製麴中の水分変化

	105°C 30分 蒸煮米	75°C 1時間 蒸煮米
蒸煮直後	26.7 %	24.5 %
紅麴 (28°C 4日間培養)	29.8 %	30.6 %
紅麴 (28°C 6日間培養)	30.4 %	30.5 %
紅麴 (28°C 10日間培養)	27.6 %	27.1 %

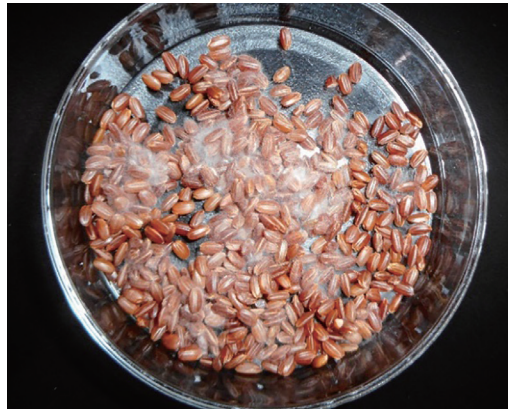
75°C 処理黒米 紅麴



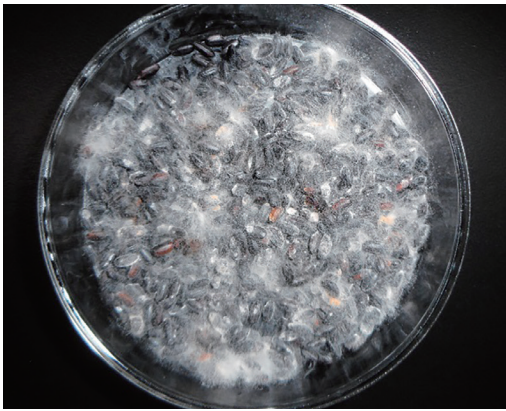
75°C 処理赤米 紅麴



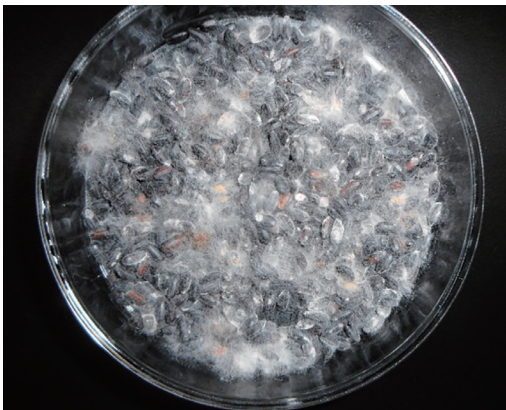
2 日目



4 日目



6 日目



8 日目

図3 75°C 蒸煮処理した黒米と赤米での紅麴製麴経過

また、製麴中の菌体量変化を測定し、その結果を図4に示した。

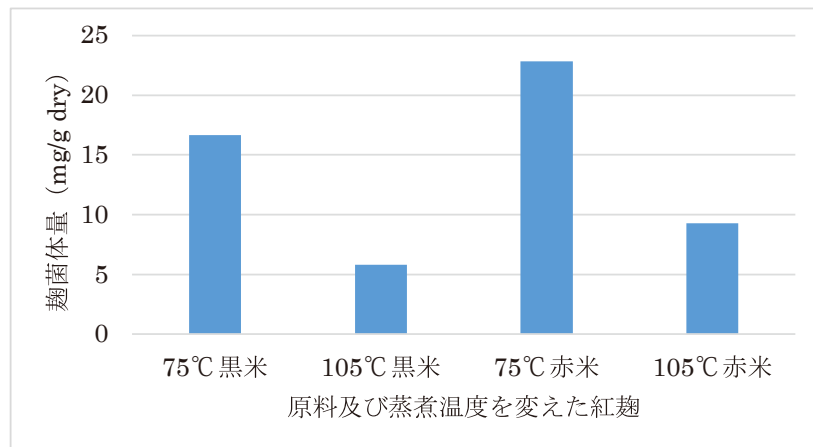


図4 黒米と赤米で製麴した紅麴の菌体量

この結果より、精白米同様、通常の105°Cでの蒸煮温度で処理した原料よりも、75°Cの低温で蒸煮処理した原料を用いて製麴すると、紅麴菌の生育が速まる様子が観察された。また、75°Cで蒸煮処理した黒米と赤米を原料とした紅麴は、精白米を原料とした紅麴の製麴変化と変わらない製麴状態が観察された。これより、原料米の蒸煮温度を75°Cにすることで、紅麴の製麴時間が速まる可能性が見出された。

また、製麴された黒米紅麴と赤米紅麴中の、酵素活性について検討した。白米同様、紅麴の $\alpha$ アミラーゼ活性、酸性カルボキシペプチダーゼ活性、糖化酵素活性について検討した。その結果、 $\alpha$ アミラーゼ活性は、黒米を75°C処理した紅麴の活性は105°C処理したものに比べ約1.6倍高くなった。赤米についても、75°C処理が105°C処理に比べ約18倍高くなった。また酸性カルボキシペプチダーゼは、75°C処理の黒米の約1.6倍高くなり、赤米についても、105°C処理に比べ75°C処理の紅麴が約1.8倍高くなった。また糖化力、 $\alpha$ グルコシダーゼ活性、グルコアミラーゼ活性は、黒米を75°C処理した紅麴が105°C処理の紅麴に比べて、それぞれ約2.4倍、約4.4倍、約2.1倍活性が高くなった。赤米を用いた場合も、75°C処理した紅麴が105°C処理した紅麴に比べ活性が高い傾向であった。なお原料の黒米と赤米自体には、それぞれの酵素活性は認められなかった。

以上の結果より、黒米と赤米を用いて製麴した紅麴の酵素活性は、菌体量が多い75°C処理米で高い傾向が認められた。

## (2) 紅麴の抗酸化活性ならびに血栓溶解活性

次に、製麴した紅麴の機能性として、抗酸化活性ならびに血栓溶解活性について検討した。

抗酸化活性については、活性酸素やフリーラジカルによる生体の酸化的障害が、生活習慣病などの疾病を引き起こすことから、食品の抗酸化活性が検討されている。体内で発生する活性酸素やフリーラジカルと、これらを消去する抗酸化能のバランスが崩れることで酸化ストレスが起これ、疾病の原因となる。この抗酸化能の評価として、銅イオンの還元反応を利用した発色を測定した。抗酸化物質としてポリフェノール、ビタミンC、Eなどが知られているが、ここでは、蒸煮処理温度ならびに原料の種類を変えた紅麴について、総合的な抗酸化能を評価した。まず精白米を原料に用いた場合、精白米自体には蒸煮温度を変えた処理をしてもほぼ同じであったが、75°C処理精白米の紅麴は精白米の約2倍の活性があった。なお、105°C処理精白米の紅麴は、精白米と変わりがなかった。また原料に黒米を用いた場合、黒米自体の抗酸化力は精白米の約4倍の活性があった。さらに75°C処理と105°C処理をした紅麴は、黒米の約1.6倍高くなった。赤米については、赤米自体の抗酸化力は精白米の約2倍の活性があった。さらに75°C処理と105°C処理の紅麴は、赤米の約2.5倍の活性があった。なお黒米紅麴は、赤米紅麴の約1.3倍抗酸化力が高い結果となった(図5)。このように、原料に紅麴菌を生

育させ紅麴にすることで、抗酸化能が高まることが確認された。また紅麴の原料に黒米や赤米の有色米を用いることで、抗酸化活性が高まることが確認された。

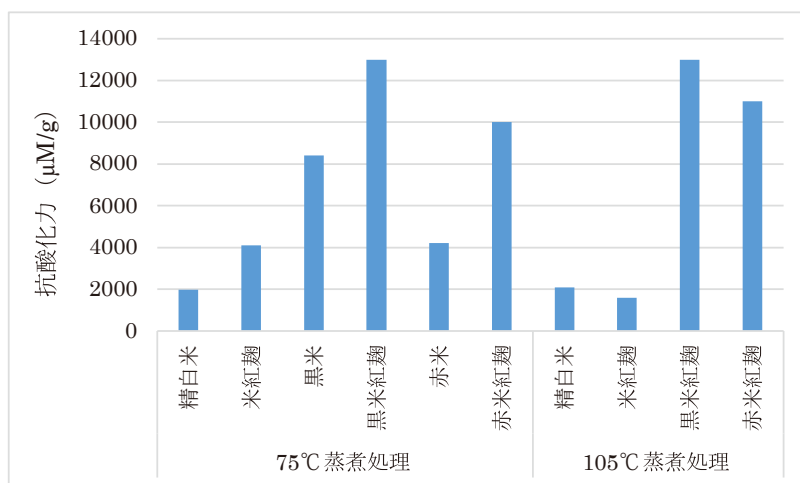


図5 抗酸化活性の比較

次に、血栓溶解活性について検討した。抗酸化活性と同様に、生活習慣病を始めとする疾病の予防に効果のある活性として、血栓溶解活性がある。血管内の血栓形成は、日本人の死因の上位を占める心臓病や脳卒中の原因である動脈硬化性疾患を引き起こす。この血栓形成は、固まった血液を溶解する活性の低下が原因とされている。この血栓を溶解する食品として、納豆が広く知られている<sup>11)</sup>。ここでは、経口摂取により、血中線溶亢進効果を示す食材を開発することを目的に、抗酸化活性と同様に、蒸煮処理温度ならびに原料の種類を変えた紅麴について、その血栓溶解活性を検討した。紅麴の原料を75°Cと105°Cで蒸煮処理を行い、28°Cで紅麴を製麴した。得られた各々の紅麴の抽出液を用いて、フィブリンプレートに抽出液を滴下し、溶解窓の形成を測定した。その結果を表2に示した。

表2 紅麴抽出液のフィブリンプレートでの溶解窓（長径×短径 mm）

蒸煮温度	75°C	105°C
精白米	0	0
精白米紅麴	2×2	2×2
黒米紅麴	6×6	5×5
赤米紅麴	4×4	3×3

表2の結果から、精白米、黒米ならびに赤米を蒸煮処理後紅麴を製麴すると、フィブリン溶解活性が認められ、紅麴菌を生育させることで溶解活性が高まった。また原料の蒸煮温度を75°Cにすると、105°Cの場合よりも、製麴紅麴の血栓溶解活性が高まることが認められた。なおフィブリン溶解活性は、濃度に依存した。

フィブリンプレートで活性が認められたこれらの紅麴について、直接溶解活性と間接溶解活性を検討した。血栓はフィブリンで形成されているが、まずそのフィブリンを直接分解するプラスミンやトリプシン様の直接溶解活性を検討した。その結果、精白米自体には直接溶解活性は認められなかったが、紅麴に製麴することにより活性が認められ、75°C処理紅麴は105°C紅麴の約1.3倍活性が高まった。なお、黒米と赤米を用いた紅麴の直接溶解活性はほぼ同じであった。

次に、プラスミノーゲンに働いてプラスミンに変換するプラスミノーゲンアクチベータやプロウロキナーゼアクチベータのような、間接的に血栓を溶解する活性を測定するため、間接溶解活性を検討

した。その結果、蒸煮した精白米に紅麴菌を生育させることで、直接線溶活性の結果と同様に、間接線溶活性が高まった。蒸煮精白米自体にも間接線溶活性が認められたことから、アクチベーター的な働きをする物質が含まれている可能性がある。精白米を紅麴に製麴することで活性が高まった。この場合も、75℃処理紅麴は105℃紅麴の約1.1倍活性が高くなった。また黒米と赤米には間接溶解活性が認められ、それを原料として紅麴を製麴すると活性が高まる傾向がみられたが、直接線溶活性とは逆の結果となった。これは75℃の低温蒸煮処理では、精白米と同様、原料中にアクチベーター的な働きをする物質が存在し、105℃の高温処理をすると、それが消失してしまうこと、また原料中の線溶活性に関わる物質が紅麴菌の生育により消失または変質したことが考えられた。

以上のように、製麴原料を75℃で蒸煮処理すると紅麴の製麴時間が速まり、酵素活性等も高まる可能性が見出された。蒸煮処理原料の蒸煮温度と硬度との関係については、前報<sup>7)</sup>で報告したように、蒸煮温度が低くなると蒸煮米ならびに麴の硬度は低下する。そのために、麴菌の生育が速くなり菌体量が増加する。麴菌が菌体外へ生成する酵素量は菌体量に比例することから、酵素活性が高まる。紅麴についても75℃の蒸煮原料米を用いると、硬度が低くなることで菌体量が増し、その結果酵素活性等の高い紅麴が得られたものと推察される。

なお低温蒸煮の場合、原料の殺菌の有無を確認する必要があるが、前報<sup>7)</sup>のとおり原料を75℃で蒸煮処理することで、殺菌できている可能性が高いと思われる。

#### 4. まとめ

原料米の蒸煮温度を通常温度の105℃と低温の75℃で処理し、それを用いて製麴した紅麴菌の生育速度、得られた紅麴の酵素活性ならびに機能性について検討した。さらに、原料米として抗酸化活性の機能性が報告されている黒米や赤米の有色米を用い、それを用いて製麴した紅麴の機能性について検討した。その結果、75℃の蒸煮温度で処理して製麴すると、105℃蒸煮の2倍近い菌体量の増加が認められたことから、紅麴の製麴時間の短縮が図れることが推測された。また紅麴（10日間製麴）の酵素活性を測定した結果、菌体量の多い75℃処理の紅麴が105℃処理の紅麴に比べて、酸性カルボキシペプチダーゼ、糖化力、 $\alpha$ グルコシダーゼ活性、グルコアミラーゼ活性が高くなった。

また黒米と赤米を用いて紅麴を製麴した結果、精白米同様75℃の低温で蒸煮処理した原料を用いて製麴すると、紅麴菌の生育が速まる様子が観察された。また、製麴された黒米紅麴と赤米紅麴中の酵素活性について検討した結果、白米同様75℃処理した黒米と赤米を用いた紅麴の酵素活性は、105℃処理したものに比べ高くなった。

製麴した紅麴の機能性として、抗酸化活性ならびに血栓溶解活性について検討した。抗酸化活性については、原料に紅麴菌を生育させ紅麴にすることで抗酸化能が高まり、さらに紅麴の原料に黒米や赤米の有色米を用いることで、抗酸化活性が高まることが確認された。なお黒米紅麴は、赤米紅麴の約1.3倍抗酸化力が高い結果であった。

血栓溶解活性については、精白米、黒米ならびに赤米を蒸煮処理後紅麴を製麴すると活性が認められ、紅麴菌を生育させることで溶解活性が高まった。また原料の蒸煮温度を75℃にすると、105℃の場合よりも、紅麴の血栓溶解活性が高まることが認められた。直接溶解活性については、紅麴に製麴することで活性が認められ、75℃処理紅麴は105℃紅麴よりも活性が高まった。間接溶解活性についても、蒸煮した精白米に紅麴菌を生育させることで間接線溶活性が高まり、75℃処理紅麴は105℃紅麴よりも活性が高くなった。

#### 参考文献

- 1) Wenlan M., Yiyang C., Simei H., Lishi X., Yanfang Y., Bin Y., Chan Z., Zhiwei H. (2025). Enhancing Monacolin K and GABA Biosynthesis in *Monascus pilosus* via GAD Overexpression: Multi-Omics Elucidation of Regulatory Mechanisms. *J Fungi.*, 11, 506-529.
- 2) English K.(2025). Red yeast rice with monacolin K for the improvement of hyperlipidemia: A

- narrative review. *World J Clin Cases.*, 13(27).
- 3) Deokyeong C., Soo M.S., Chul S.S., Tony V. J., Hyung J.A., Daehwan K., Seockmo K.(2020). Production and Characterization of Anti-Inflammatory *Monascus* Pigment Derivatives. *Foods*, 9(7), 858-873.
  - 4) <https://www.fsc.go.jp/osirase/benikouji> (2024.4.3) 食品安全委員会
  - 5) Kimura M., Yoshinari T., Sakuda S., Suga H., Fukuyama T., Sugita-Konishi Y.(2024). Academic information of puberulic acid detected in red yeast rice supplements. *JSM Mycotoxins*.
  - 6) <https://www.mhlw.go.jp/content/001305186.pdf> (2024.9.18) 国立医薬品食品衛生研究所
  - 7) 河野勇人, 北島葉子, 古川愛子(2024). 原料米処理温度の相違による製麴. *くらしき作陽大学紀要*, 57, 1, 27-31.
  - 8) Zhiang C., Atiruj T., Papungkorn S., Jiayue F., Hui Y., Shanggui D., Min Y., Jingrong G., Supaluck K.(2025). Bioactive compounds in colored Rice: Exploring natural agents for Cancer prevention in vitro and rodent model studies. *Journal of Functional Foods*, 129.
  - 9) 岩野君夫, 中沢伸重, 伊藤俊彦(2002). 麴における黄麴菌の増殖量と代謝生産物量との関係. *醸協*, 97, 865-871.
  - 10) 岡崎直人, 竹内啓修, 菅間誠之助(1979). 製麴条件の増殖および酵素生産におよぼす影響. *醸協*, 74, 683-686.
  - 11) Sumi H., Yanagisawa Y., Chieko Yatagai C., SAITO J.(2004). Natto Bacillus as an Oral Fibrinolytic Agent: Nattokinase Activity and the Ingestion Effect of *Bacillus subtilis natto*. *Food Sci. Technol. Res.*, 10(1), 17-20.