

## パンの組織と色調に及ぼす紅麹の影響

Effects of *Monascus* Koji on the Microstructure and Color Tone of Bread

高橋 真美\*<sup>§</sup> 森高 初恵\*  
Mami Takahashi Hatsue Moritaka

The effects of *Monascus* koji (MK) on the microstructure, physical properties and color tone of bread were investigated. The larger the grain size of MK and the greater the amount added to bread, the greater the gas damage to the cell walls, with many small holes being apparent. The larger the grain size of MK and the greater the amount added, the lower the specific volume, the harder the bread and the lower the cohesiveness compared with bread made without MK. The color tone of bread shaded from light was not affected, but that of bread subjected to ultraviolet light dramatically changed. The sensory evaluation indicated that bread containing 0.5% to 1.0% MK was highly rated for all six parameters investigated, and bread containing 2.0% MK was highly rated for taste.

キーワード：紅麹 *Monascus* koji；色調 color tone；物性 physical property；官能評価 sensory evaluation

*Monascus* 属を穀類に繁殖させた紅色を呈する紅麹は、中国や台湾において古くから紅酒、紅露酒、紅乳腐などの着色料の原料として利用されてきた<sup>1)</sup>。近年、我が国では紅麹を食酢、醤油、味噌などの発酵調味料の原料として用いたり、カニ様蒲鉾を中心とした水産加工品やソーセージ等の畜産加工品などの着色料として利用するなど幅広く用いられている<sup>2-6)</sup>。

紅麹の生理活性物質としては、遠藤らが紅麹にコレステロール合成阻害活性を有するモノコリン K 等が生産されていることを報告し<sup>7-11)</sup>、辻らは紅麹が高血圧自然発症ラットに対して血圧降下作用を有することを報告した<sup>12-18)</sup>。また、安仁屋らは数種の紅麹菌抽出液に抗酸化活性が認められたことを報告している<sup>19)</sup>。さらに、安川らは紅麹の主要な色素である monascorubrin (赤色色素) が抗ガン作用を有することを<sup>20)</sup>、Wong らは *M. purpureus* の生産する rubropunctatin (赤色色素) に抗菌活性が有することを<sup>21, 22)</sup>、松本らは *M. paxii* の生産する rubropunctatin (赤色色素) に強い抗菌活性が認められたことを報告している<sup>23)</sup>。また、古泉らは *M. anka* の生産する赤色色素に老化防止や延命効果があることを報告しており<sup>24)</sup>、紅麹の生理活性に関する研究は多岐にわたり行われている。

筆者らは先行研究にて、うるち米デンプンを培地に添加すると、紅麹菌の色素生産性向上に効果が見られ、さらにうるち米デンプンをアミラーゼで酵素処理した培地の方が酵素処理前デンプンよりも紅麹菌の生産性が向上することを報告した<sup>25)</sup>。また、窒素源の組み合わせによる色素生産性の効果についても検討し<sup>26)</sup>、ペプトンと L-アスパラギ

ン酸の組み合わせが最も効果的であることが判明し、さらに、紅麹色素を添加したパンの物性、色調、嗜好特性などに及ぼす影響についても検討した<sup>27)</sup>。その結果、パンの硬さは、紅麹色素を添加すると低下し、凝集性は増加した。しかし、紅麹色素だけでは生理活性物質の種類が少なく、色調の関係から多量に添加することができないために生理活性物質も微量となり、期待される効果は低いと考えられた。一方、紅麹は多量に添加しても紅麹色素ほど色調の変化が大きくなり、生理活性物質の種類および量ともに多く添加することが可能となり、生活習慣病の予防や健康の維持・増進に有効であると考えられる。そこで、本研究では粉碎した紅麹そのものを 0~5.0% 添加したパンを調製し、紅麹がパンの組織、物性、色調、嗜好特性に与える影響について検討を加えた。さらに、紅麹がパンの性状に及ぼす効果をより明確にするために、粒度の異なる 3 種類の紅麹を添加したパンについても検討した。

## 実験方法

## 1. 試料

強力粉は日清製粉社製 (カメラヤ、水分 14.5%、たんぱく質 12.0%、灰分 0.4%)、ドライイーストは日清製粉社製 (スーパーカメラヤ)、無塩バターは雪印乳業社製 (雪印北海道バター)、スキムミルクは森永乳業社製を用いた。紅麹は乾燥前に熱処理を行なったグンゼ社製を用いた。パンの材料配合割合は、強力粉 280 g、上白糖 20 g、バター 20 g、スキムミルク 6 g、食塩 4 g、ドライイースト 2.6 g、水 190 ml とした。紅麹は強力粉 280 g に対して 0~5.0% 置換して添加した。紅麹の粉碎は、粉碎機 (奈良機械製自由粉碎機 M4 型) により 1.0 mm スクリーンで行ない、粒度 100 mesh を試料として用いた。なお、比較として粒度 30 mesh、60 mesh の粉碎紅麹も用いた。以後、粒度

\* 昭和女子大学大学院  
(Graduate School of Human Life Science, Showa Women's University)  
<sup>§</sup> 連絡先 昭和女子大学大学院生活機構研究科 〒154-8533  
東京都世田谷区太子堂 1-7  
TEL 03(3411)5199 FAX 03(3411)5199

30 mesh を大粒子紅麴, 60 mesh を中粒子紅麴, 100 mesh を小粒子紅麴と表現する。

製パン方法は, 自動ホームベーカリー (エムケー精工社製, HBS 403) を用いて行った。材料を自動ホームベーカリーに入れ, 混捏 12 分後に, 予備発酵を 32°C で 45 分間行い, さらに 13 分間混捏した。その後 1 次発酵を 35°C で 60 分間行い, ガス抜き後, 2 次発酵を 35°C で 30 分間行い, 再びガス抜きを行った後, 最終発酵 (ホイロ) を 35°C で 50 分間行い, 190°C で 40 分間焼成した。焼成後, パンは 26°C にて 2 時間放冷し, 試料に供した。

## 2. 測定方法

### 1) 生地

#### (1) 物性

小麦粉重量の 2.0% および 5.0% を紅麴で置換添加した生地の混捏特性を 300 g 用のミキサーを用いて, 63 rpm/分, 30°C でファリノグラフ (Brabender 社製) にて測定<sup>28)</sup>した。得られたファリノグラフより生地の吸水率, 安定度, 形成時間, 弱化度, 平行存続時間, 混捏耐性指数を求めた。

生地の熟成・発酵特性は, AACC に準じて 1 の試料の項で述べたパンの材料を混捏し, 120 g の生地を混捏後 (0 分), 予備発酵後 (45 分), 1 次発酵後 (105 分), 2 次発酵後 (135 分), 成形発酵後 (185 分) にエクステンソグラフ (Brabender 社製) を用いて 30°C にて測定<sup>29)</sup>した。

#### (2) 体積

体積はエクステンソグラフで用いた生地と同じ 5 段階の各発酵工程の生地を 30°C で 3 次元計測器 (アステックス社製, SELNAC-VM) で測定した。

### 2) 焼成パン

#### (1) 組織

焼成したパンの中心部から  $2^l \times 4^w \times 2^h$  mm<sup>3</sup> の大きさに切り出し, 凍結乾燥後に試料の表面を金で蒸着し, 走査型電子顕微鏡 (JSM-5310 LV, 日本電子社製) にて 35 倍で観察した。気泡測定は, パンの中心部から 10 mm 厚さに切り出し, 両面をデジタルカメラ (Nikon Coolpix-5400) で撮影した。さらに, 得られた画像の中心部の  $30^l \times 30^w$  mm<sup>2</sup> の部分について, 気泡の直径と気泡数を解析ソフト (Sem-Afore Reporter, Soft Imaging System 社製) を用いて計測し, 気泡の大きさを 2.0 mm までは 0.2 mm 間隔, 2.0~5.0 mm までは 1.0 mm 間隔でグラフ化した。測定は 1 種類の焼成したパンにつき 3 個を用いた。

#### (2) 比容積

パンの比容積は, 焼成放冷後のパンを切断せずに焼成した形のまま菜種置換法<sup>30)</sup>で体積を測定し, 体積を重量で除して算出した。

#### (3) テクスチャー

テクスチャー測定用試料としてパンの中心部から  $20^l \times 20^w \times 19^h$  mm<sup>3</sup> を切り出し使用した。テクスチャー特性値

はクリープメーター (RE-33005, 山電社製) を用いて測定した。テクスチャー測定は直径 30 mm の円筒型のプランジャーにより, 圧縮率 50%, 試料間の差を明確にするために 1 mm/s の定速圧縮により行なった。測定は 1 種類の焼成したパンにつき 6 個を用意し, 各々のパンの中心部から 10 片を切り出し, 合計 60 個の試料を用いて行った。なお, 硬さについては, 20°C の暗室で 1, 2, 4, 6 日間密閉容器中で保存した試料についても測定した。

#### (4) 色調

パンの中心部から切り出した試料片を測定に供した。測色色差計 (Σ80 Color Measuring System, 日本電色工業社製) を用い, 反射法により Hunter 表色系の L, a, b 値および ΔE を求めた。遮光保存用試料片 ( $30^l \times 30^w \times 10^h$  mm<sup>3</sup>) は, 20°C の暗室で密閉容器中に測定日まで静置して得た。紫外線照射用試料片 ( $30^l \times 30^w \times 10^h$  mm<sup>3</sup>) は, 26°C で紫外線照射 (15 W, UV ランプ (253.7 nm), 照射距離 40 cm) を行なった。測定期間は紫外線照射開始から, 0, 2, 9, 16, 23 日および 37 日間各々継続して行った。測定は同一試料について 20 回行なった。なお, 色調の経時変化については, 予備実験の結果, パンとして最も価値が高いと考えられる小粒子紅麴パンについてのみ行なった。

#### (5) 官能評価

試料は小粒子紅麴パンとした。パンの中心部から切り出した試料片 ( $40^l \times 40^w \times 10^h$  mm<sup>3</sup>) を官能評価に供した。パネルは昭和女子大学 20-21 歳の女子大学生 40 名とした。調査項目は色, きめ, 味, 香り, 食感, 総合評価の 6 項目とし, 順位法によって嗜好の評価を行なった。

#### (6) 統計処理

一元配置分散分析を行い, 有意差の検定は Tukey 法の多重比較により解析した。統計解析は SPSS ver. 16.0 を用い, いずれの場合も危険率 5% 未満をもって有意と判定した。データは, 平均値 ± 標準偏差で表した。

官能評価の有意差の検定は, 馬場の方法<sup>31)</sup>による順位グラフを描き, 5 アイテムの有意水準 5% の棄却楕円を用いて行なった。各試料間の検定はウィルコクソンの符号付順位和検定を行なった。

## 実験結果及び考察

### 1. 生地の物理的特性

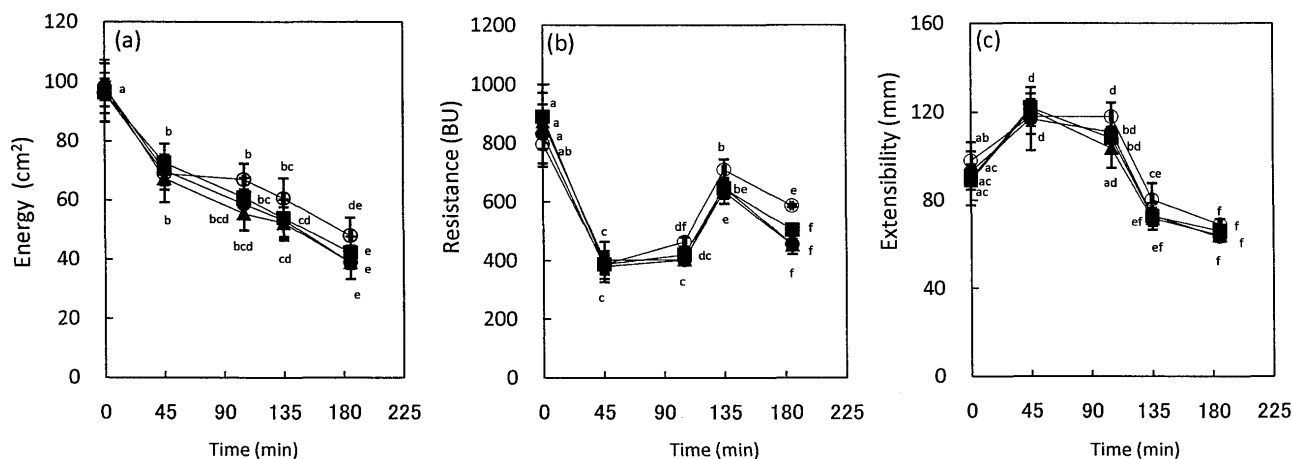
#### 1) 物性

ファリノグラムで測定した結果を Table 1. に示した。吸水率では, いずれの粒度においても紅麴の添加濃度の増大に伴い増加した。しかし, 同一の添加濃度において異なる粒度間では有意差は認められなかった。安定度は, 2.0% および 5.0% 大粒子紅麴生地で大きな変化は認められなかったが, 5.0% 小粒子と 5.0% 中粒子生地ではやや低下した。形成時間は無添加生地に比べどの紅麴添加生地でも遅く, 同一の添加濃度の場合では, 粒度が大きいほど遅くな

## パンの組織と色調に及ぼす紅麹の影響

Table 1. Effect of *Monascus* koji on various readings of the farinogram of wheat flour

	<i>Monascus</i> koji						
	0%	small particle		middle particle		large particle	
		2.0%	5.0%	2.0%	5.0%	2.0%	5.0%
Water absorption (%)	67.2	68.7	71.2	68.7	71.0	68.5	70.9
Stability (min)	>23	>23	22	>23	22	>23	23
Development time (min)	6.5	9.0	9.0	9.5	9.5	10.0	10.5
Weakness at 10 mins after peak (min)	15	28	23	28	23	18	18
Existence time of elasticity (min)	10.0	10.0	6.0	10.0	6.0	11.5	6.5
Mixing Tolerance Index (BU)	15	20	15	20	15	15	15

Fig. 1. Effect of 5.0% *Monascus* koji on various readings of the extensogram of wheat flour(a) Energy (cm<sup>2</sup>), (b) Resistance (BU), (c) Extensibility (mm)

- : bread crumb without *Monascus* koji
- : *Monascus* koji of grain size of 100 mesh (small particle size)
- ▲ : *Monascus* koji of grain size of 60 mesh (middle particle size)
- : *Monascus* koji of grain size of 30 mesh (large particle size)

a-f) Values in each column followed by same letter are not significantly different.

った。弱化度は無添加生地 비해、どの粒度の紅麹添加でも大きくなった。平行存続時間は無添加生地と2.0%の小粒子生地と2.0%中粒子生地に変化はなかったが、2.0%大粒子生地では長くなった。また、5.0%添加の平行存続時間はどの粒度とも短くなったが、混捏耐性指数は無添加生地とどの粒度の5.0%添加試料も同じ値であった。以上の結果から、紅麹の吸水率は高く、グルテン形成に関わる水分量は減少し、生地の形成時間は長くなるが、生地形成後は無添加生地と同様な安定度をもつ生地となると考えられる。

エクステンソグラフで測定した5.0%紅麹生地の熟成・発酵特性をFig.1に示した。生地のエネルギー(Fig.1(a))は、すべての生地で発酵の進行に伴い低下したが、紅麹の粒度の違いによる試料間の有意差は認められなかった。生地の抗張力(Fig.1(b))は、45分、105分で低下したが135分で回復し、185分で再び低下した。生地の伸長度(Fig.1(c))は、45分で有意に上昇後、135分で有意に低下したが、135分と185分との間では無添加生地を除き有

意差は認められなかった。また、粒度の異なる試料間でも各発酵段階において有意差は認められなかった。Hoseneyら<sup>32)</sup>や田中<sup>33)</sup>は、混捏直後は加工硬化のため内部歪が最大となり、生地が強く引き締められているのに対し、放置時間が長いものほど構造緩和現象により抗張力は低下し、伸長性が増大すると報告している。この変化は、本実験結果では105分までの変化であると考えられる。さらに、グルテンのネットワーク構造が形成され、生地の膨張が限界点に達するとグルテンの表面荷電の変化あるいは構造変化が引き起こされて、SS結合やSS-SH交換反応に影響を与えてグルテン形成が低下することで生地がブレークダウンすると報告<sup>32,33)</sup>している。本変化は本実験の135分ならびに185分の変化に相当すると考えられる。以上の結果、本実験では紅麹添加により大きく影響を受けるのは185分の抗張力であり、無添加生地より抗張力は低下することが判明した。

## 2) 体積

生地の体積変化については、5.0%紅麹添加生地につい

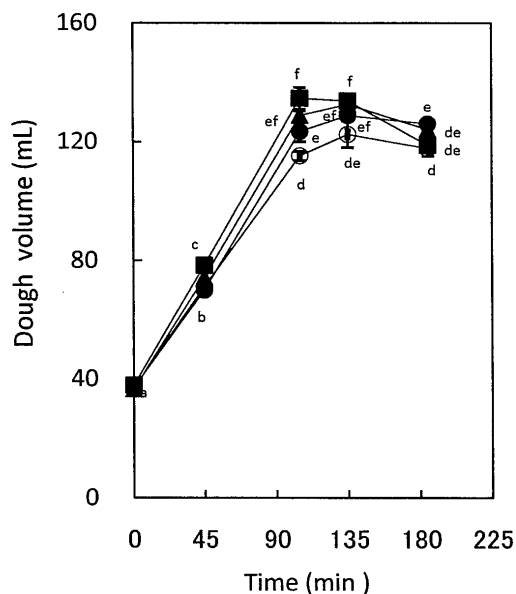


Fig. 2. The volume of dough with 5.0% *Monascus* koji

○ : dough without *Monascus* koji

● : 5.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh (small particle size)

▲ : 5.0% *Monascus* koji of grain size of 60 mesh (middle particle size)

■ : 5.0% *Monascus* koji of grain size of 30 mesh (large particle size)

a-f) Values in each column followed by same letter are not significantly different.

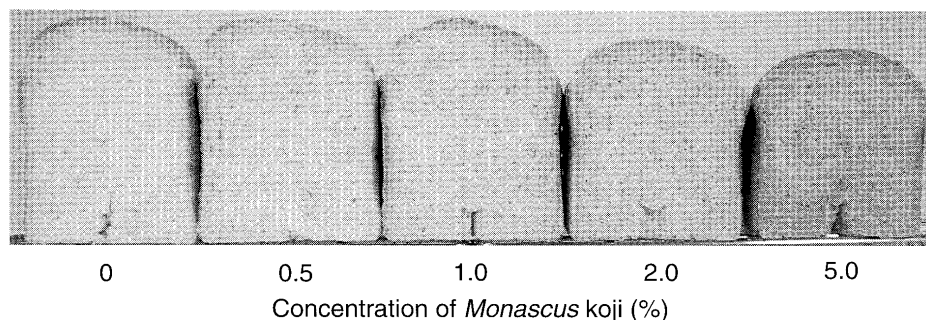


Fig. 3. Photographs of longitudinal section of breads containing *Monascus* koji of grain size of 100 mesh

て行い Fig. 2 に示した。すべての生地は 105 分までは有意に高まったが、それ以降の発酵段階では 185 分の大粒子生地を除き有意差は認められなかった。大粒子生地では発酵の進行に伴い初期から中期の段階では無添加生地よりも有意に高まったが、185 分で 135 分よりも有意に低下し無添加生地との間で有意差が認められなくなった。田中ら<sup>33)</sup>は、窒素源としてグルタミン酸、アスパラギン酸、アミノ酸、ペプチドなどが存在するとイーストの発酵力が促進されるために生地の膨張力が高まると報告している。また、広井ら<sup>34)</sup>は紅麹菌が産生する色素の 1 種である monascorubrin が菌体生育の代謝過程に関与すると報告している。これらのことから、紅麹由来の成分がイーストの増殖を促進して発酵力を強化し、生地の膨張力に影響を及ぼしたものと考えられる。

## 2. 焼成パン

### 1) 組織

0~5.0% 小粒子紅麹添加パンの断面を Fig. 3 に示した。Fig. 4 はパンの断面を 35 倍に拡大した走査型電子顕微鏡写真である。紅麹無添加パン (Fig. 4(a)) では、組織は気泡により引き伸ばされ、空洞を形成し、気泡の内面は滑面を示し、気泡間の壁も厚く、組織がしっかりと形成されていた。小粒子 (100 mesh) 紅麹の場合、1.0% 紅麹添加パン (Fig. 4(b)) では、気泡間の壁面が無添加パンよりも薄くなり、気泡の壁面に小孔が観察された。同じ粒度の 5.0% 紅麹添加パン (Fig. 4(c)) では、気泡壁に小孔が観察され、気泡の大きさも 1.0% 紅麹添加パンよりも小さかった。中粒子 (60 mesh) 紅麹の場合、1.0% 紅麹添加パン (Fig. 4(d)) では、気泡間の壁面の骨格構造に亀裂が生じ、壁面の組織も粗くなり、気泡内部にも小孔が観察された。中粒子紅麹

## パンの組織と色調に及ぼす紅麹の影響

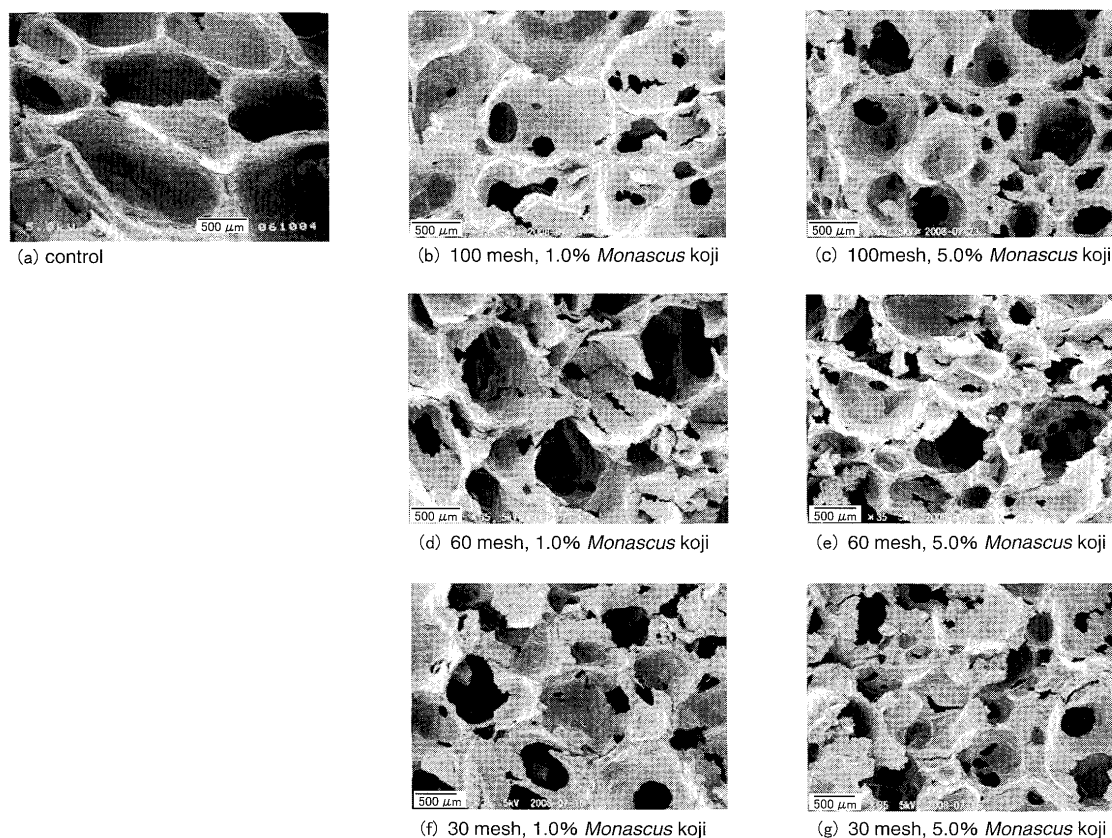


Fig. 4. SEM photographs of bread crumbs containing *Monascus koji*

Magnification :  $\times 35$ , Bar length :  $500 \mu\text{m}$

- (a) bread crumb without *Monascus koji* (control)
- (b) bread crumb containing 1.0% *Monascus koji* of grain size of 100 mesh (small particle size)
- (c) bread crumb containing 5.0% *Monascus koji* of grain size of 100 mesh (small particle size)
- (d) bread crumb containing 1.0% *Monascus koji* of grain size of 60 mesh (middle particle size)
- (e) bread crumb containing 5.0% *Monascus koji* of grain size of 60 mesh (middle particle size)
- (f) bread crumb containing 1.0% *Monascus koji* of grain size of 30 mesh (large particle size)
- (g) bread crumb containing 5.0% *Monascus koji* of grain size of 30 mesh (large particle size)

の5.0%紅麹添加パン (Fig. 4(e)) では、気泡壁の著しい損傷が観察された。大粒子 (30 mesh) 紅麹の場合、1.0%紅麹添加パン (Fig. 4(f)) では、気泡面と気泡面を接合する壁の組織が損傷し、小孔が大きくなった。また、1つ1つの気泡の大きさも大粒子紅麹では、小粒子紅麹、中粒子紅麹よりも小さく観察された。大粒子紅麹の5.0%紅麹添加パン (Fig. 4(g)) では、気泡壁の崩壊が進んでいる状態が観察された。以上のような現象が生じた原因は、185分の紅麹添加生地でも無添加生地より抗張力 (Fig. 1(b)) が低下したこと、Fig. 2では紅麹添加生地の膨張が高まり、大粒子紅麹生地では185分で体積の減少が見られたことから (Fig. 2)、紅麹添加により生地の脆弱化が生じ、一方ではイーストの発酵力が強化され膨張力が増したことが一因と考えられる。

3種類の粒度の5.0%紅麹添加パンと紅麹無添加パンの内相について気泡数と気泡の大きさを Fig. 5 に示した。5.0%大粒子紅麹添加パンでは、0.2~0.4 mmの気泡の大

きさが他の粒度の試料と比較して有意に多く、無添加パンと5.0%小粒子紅麹添加パンでは1.0~1.6 mmの気泡の大きさが5.0%大粒子紅麹添加パンよりも有意に高かった。0.6 mmと0.8 mmの気泡の大きさではどの粒度とも有意差は認められなかった。この結果は、SEM観察で大粒子紅麹添加パンが他の試料よりも気泡が小さく観察された結果と一致していた。

## 2) 比容積

粒度の異なる紅麹を添加したパンの比容積を Fig. 6 に示した。小粒子紅麹添加パンと中粒子紅麹添加パンでは、0~1.0%紅麹添加までは比容積に有意差が認められなかったが、1.0%以上では紅麹の添加濃度が高くなるほど比容積は有意に小さくなった。大粒子紅麹添加パンでは、小粒子および中粒子紅麹添加パンと同様の傾向が認められたが、無添加パンと1.0%紅麹添加パンの間にも有意差が認められた。2.0%および5.0%紅麹添加パンでは、大粒子紅麹添加パンは小粒子および中粒子紅麹添加パンよりも比

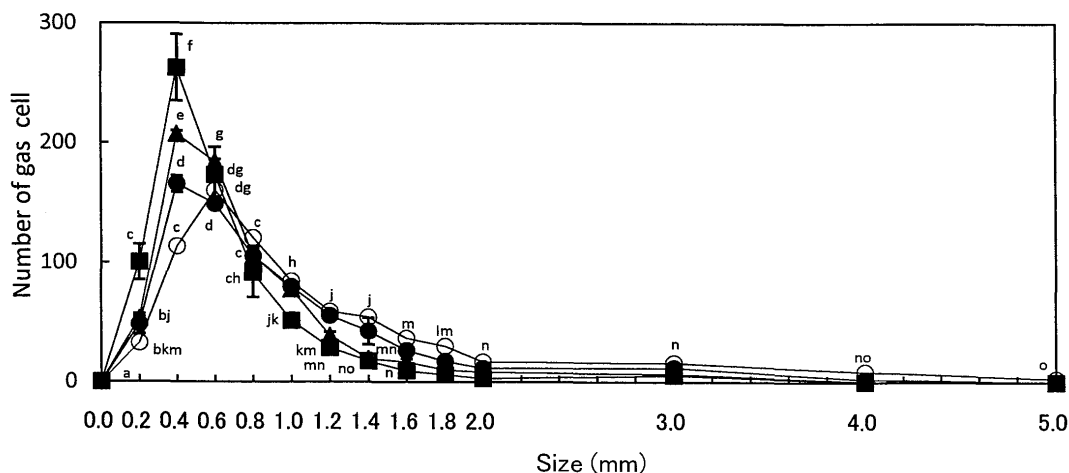


Fig. 5. Number of gas cell and size of bread crumbs containing 5.0% *Monascus* koji

- : bread crumb without *Monascus* koji
- : *Monascus* koji of gain size of 100 mesh (small particle size)
- ▲ : *Monascus* koji of gain size of 60 mesh (middle particle size)
- : *Monascus* koji of gain size of 30 mesh (large particle size)

<sup>a-o)</sup> Values in each column followed by same letter are not significantly different.

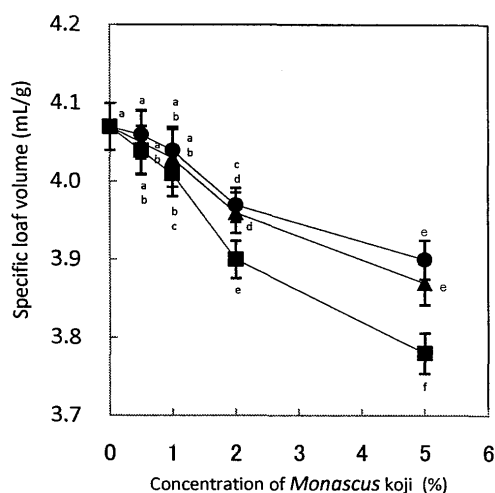


Fig. 6. Specific loaf volume of breads crumb containing *Monascus* koji

- : *Monascus* koji of grain size of 100 mesh (small particle size)
- ▲ : *Monascus* koji of grain size of 60 mesh (middle particle size)
- : *Monascus* koji of grain size of 30 mesh (large particle size)

<sup>a-f)</sup> Values in each column followed by same letter are not significantly different.

0.5% *Monascus* koji : ● : a, ▲ : ab, ■ : ab

1.0% *Monascus* koji : ● : ab, ▲ : ab, ■ : bc

容積は有意に小さかった。組織観察 (Fig. 4) の結果の 5.0% 大粒子紅麴添加パンでは、気泡間の壁面の損傷が大きく、気泡の大きさ (Fig. 5) も不均一であった。グルテンの網目が粗く不均一な生地はガス保持力が劣り、比容積も低下するという報告<sup>33)</sup>がある。生地の段階では、5.0% 大粒子紅麴生地では Fig. 2 より生地の体積が減少し、Fig. 1(b) より生地の抗張力が低下したために、膨化が急激に進む焼成前期において焼成中の水蒸気圧やガスの膨張による圧力の増加に耐えられず生地の網目構造よりガスが

漏出したことで膨化が抑制された<sup>35-38)</sup>と考えられる。前報<sup>27)</sup>の紅麴色素添加パンでは、紅麴色素に共存するプロテアーゼにより、低濃度の添加であってもグルテンの伸展性が高まり、パンの膨化度が増した。しかし、本実験で用いた紅麴には熱処理が施されていたため、アミラーゼ活性およびプロテアーゼ活性は認められなかった。このことから、紅麴添加による比容積の変化は紅麴の組織中への分散が主たる原因であると考えられる。

## パンの組織と色調に及ぼす紅麹の影響

## 3) テクスチャー

パンのテクスチャー特性を Fig. 7 に示した。小粒子および中粒子紅麹添加パンの硬さ (Fig. 7(a)) は、0~1.0% 紅麹添加パンと 2.0% および 5.0% 紅麹添加パンとの間でのみ有意差が認められた。一方、大粒子紅麹添加パンでは、無添加と 0.5% 紅麹添加パンの間を除き、添加濃度が高くなるほど硬さは有意に大きくなった。比容積 (Fig. 5) の結果では、比容積が紅麹の添加濃度が増加し粒度が大きいほど小さくなっていった。これらのことから、紅麹の添加濃度が増し、粒度が大きくなるほど、グルテン形成が阻害され、ガスを包蔵する三次元網目構造の形成が悪化し、一方でガス圧も高くなり (Fig. 2)、その結果空洞部分が減少して組織が緻密になったものと考えられる。田中ら<sup>39-40)</sup> は小麦粉に各種の穀粉を添加したパンで、固形分の増加と遊離水の減少により小麦粉中の蛋白質の結合がスムーズにできずグルテン形成に悪影響を及ぼすと報告している。また、與座ら<sup>41)</sup> は米の蛋白質は小麦グルテンのような網目構造を形成しないため、パンの骨格形成やガス保持効果は期待できないと報告しており、本実験でもこれらの報告と同様の結果が得られた。

凝集性 (Fig. 7(b)) は、小粒子紅麹添加パンの場合では、0~1.0% 紅麹添加までは凝集性に有意差が認められなかったが、1.0% 以上の濃度では紅麹の添加濃度が高くなるほど凝集性は有意に小さくなった。中粒子および大粒子紅麹添加パンでは、小粒子紅麹添加パンで有意差の認められたものに加えて無添加と 1.0% 紅麹添加パンにも有意差が

認められた。紅麹の添加濃度が同一の場合、1.0% 以上の紅麹添加ではすべての粒度間に有意差が認められ、粒度が大きくなるに従い凝集性は小さくなった。

組織観察の結果から、紅麹の添加濃度が高く、粒度が大きいほど小孔も多数確認されたことから、測定時の第 1 回目の圧縮により紅麹添加パンの骨格構造の損傷が大きくなったと推察される。前報<sup>27)</sup> では、本実験結果とは反対に、凝集性は増加しており、プロテアーゼの作用によりグルテンの伸展性が増し、圧縮に対して復元性の高い崩壊されない構造が形成されていたと考えられる。しかし、本実験の紅麹添加パンでは骨格構造の連続性が阻害されたために圧縮に弱い構造になったと考えられた。

保存中のパンの硬さの経時変化を Fig. 8 に示した。1.0% 紅麹添加パン (Fig. 8(a)) では 2 日目以降から硬さは有意に大きくなったが、粒度間による有意差が認められなかった。2.0% 紅麹添加パン (Fig. 8(b)) では 4 日目を除き大粒子紅麹添加パンは無添加よりも有意に大きかったが、中粒子紅麹添加パンとの間に有意差は認められなかった。5.0% 紅麹添加パン (Fig. 8(c)) では中粒子と大粒子紅麹添加パンは無添加や小粒子紅麹添加パンより 4, 6 日目においては有意に大きくなったが、無添加と小粒子紅麹添加パンとの間、中粒子と大粒子紅麹添加パンとの間には 1 日目を除き有意差は認められなかった。以上の結果、パンの硬さからどの粒度にも共通して適量の濃度は 1.0% であることが示唆された。

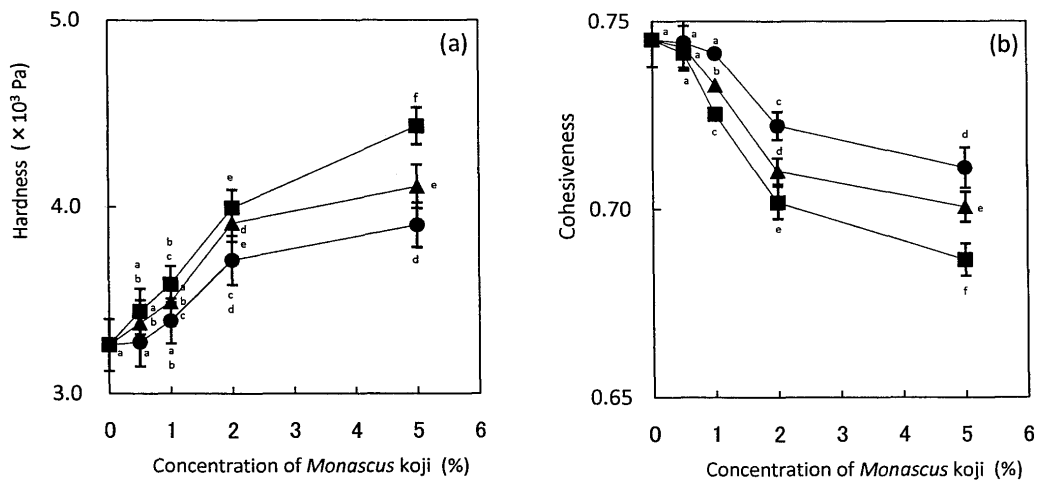


Fig. 7. Physical properties of breadcrumbs containing *Monascus koji*

(a) Hardness, (b) Cohesiveness

● : *Monascus koji* of grain size of 100 mesh (small particle size)

▲ : *Monascus koji* of grain size of 60 mesh (middle particle size)

■ : *Monascus koji* of grain size of 30 mesh (large particle size)

<sup>a-f)</sup> Values in each column followed by same letter are not significantly different.

(a) 0.5% *Monascus koji* : ● : a, ▲ : ab, ■ : ab

1.0% *Monascus koji* : ● : ab, ▲ : abc, ■ : bc

(b) 0.5% *Monascus koji* : ● : a, ▲ : a, ■ : a

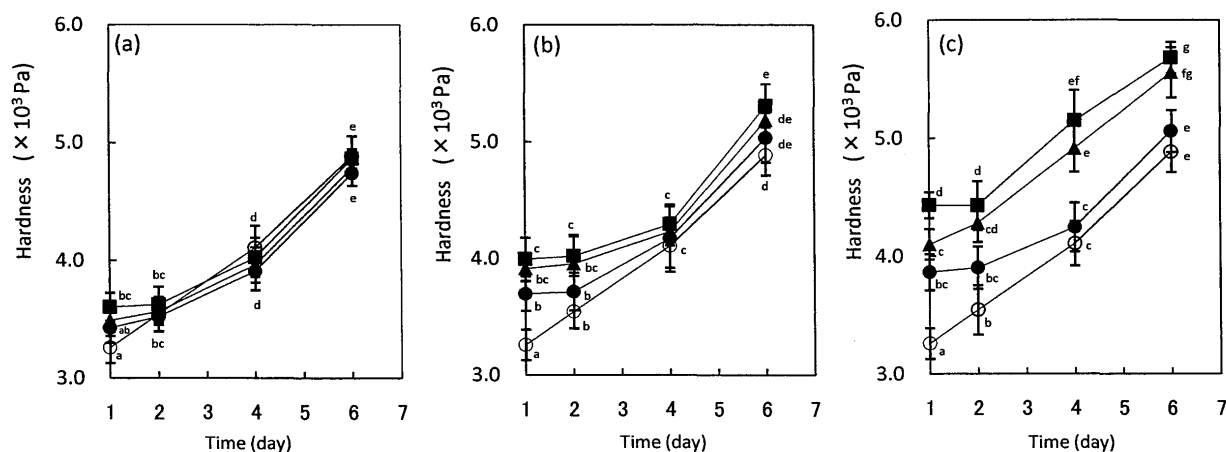


Fig. 8. Change in hardness of breadcrumbs containing *Monascus* koji

(a) 1.0% *Monascus* koji, (b) 2.0% *Monascus* koji, (c) 5.0% *Monascus* koji,

○ : bread crumb without *Monascus* koji

● : *Monascus* koji of grain size of 100 mesh (small particle size)

▲ : *Monascus* koji of grain size of 60 mesh (middle particle size)

■ : *Monascus* koji of grain size of 30 mesh (large particle size)

<sup>a-g)</sup> Values in each column followed by same letter are not significantly different.

(a) 1 day : ○ : a, ● : ab, ▲ : ab, ■ : bc, 2 day : ○, ●, ▲, ■ : bc, 4 day : ○, ●, ▲, ■ : d, 6 day : ○, ●, ▲, ■ : e

(b) 1 day : ○ : a, ● : b, ▲ : bc, ■ : c, 2 day : ○ : b, ● : b, ▲ : bc, ■ : c, 4 day : ○, ●, ▲, ■ : c, 6 day : ○ : d, ● : de,

▲ : de, ■ : de,

(c) 1 day : ○ : a, ● : bc, ▲ : c, ■ : d, 2 day : ○ : b, ● : bc, ▲ : cd, ■ : d, 4 day : ○ : c, ● : c, ▲ : e, ■ : ef, 6 day : ○ : e,

● : e, ▲ : fg, ■ : g,

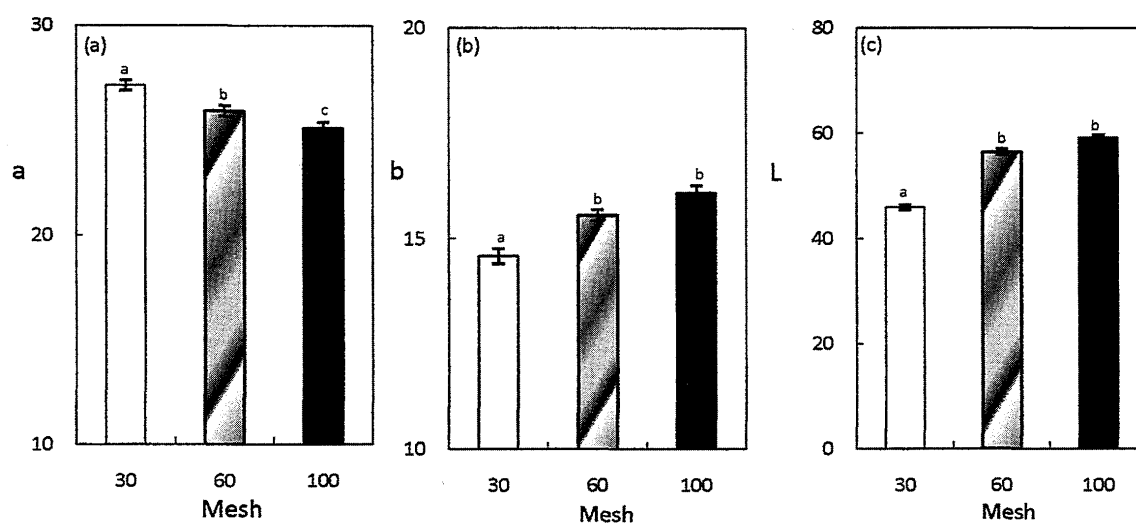


Fig. 9. Color of *Monascus* koji

(a) a value, (b) b value, (c) L value

□ : *Monascus* koji of grain size of 30 mesh (small particle size)

▨ : *Monascus* koji of grain size of 60 mesh (middle particle size)

■ : *Monascus* koji of grain size of 100 mesh (large particle size)

<sup>a-c)</sup> Values in each column followed by same letter are not significantly different.

#### 4) 色調

##### (1) 紅麴

紅麴単独の粒度の違いによる色調の変化を Fig. 9 に示した。a 値 (赤味度, Fig. 9(a)) は紅麴の粒径が細かいほど有意に小さかった。b 値 (黄味度, Fig. 9(b)), L 値 (明度,

Fig. 9(c)) について, 小粒子紅麴および中粒子紅麴は, 大粒子紅麴よりも有意に大きかった。このことは, 紅麴の粒径が小さくなると, 紅麴が付着している部分より米粒内部の露出割合が多くなるため, 米粒自身が帯びている色調の影響が強くなったためと考えられる。

## (2) 紅麹添加パン

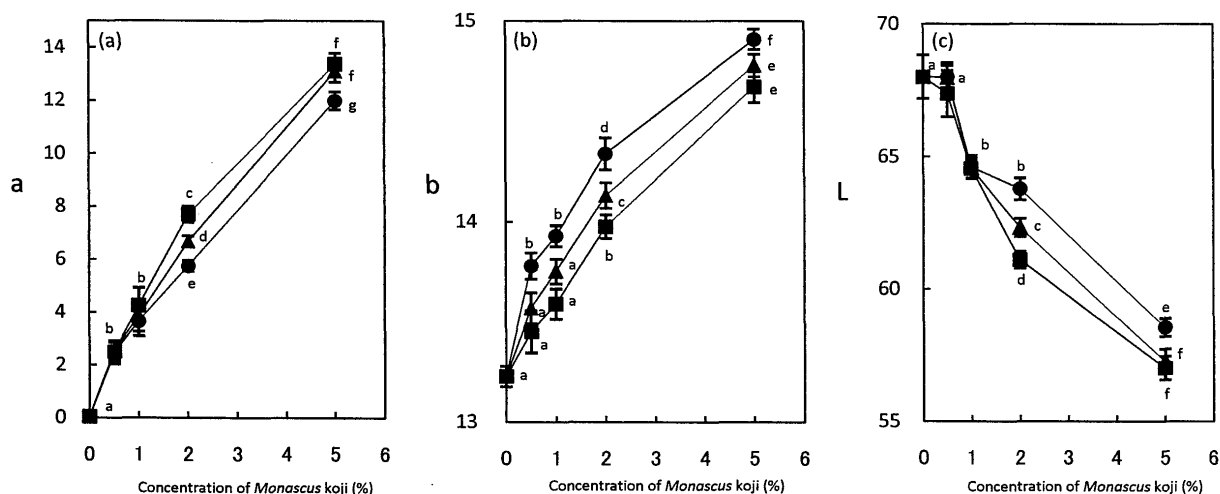
添加濃度および粒度の異なる紅麹を添加したパンの色調について Fig. 10 に示した。a 値 (Fig. 10(a)) は、すべての粒度の紅麹添加パンにおいて、添加濃度が増すほど有意に大きくなった。2.0% 紅麹添加パンでは、粒度が大きいものほど有意に a 値が大きくなった。5.0% 紅麹添加パンでは、小粒子紅麹添加パンは、中粒子および大粒子紅麹添加パンよりも有意に小さく、紅麹単独の a 値と同様の傾向が認められた。b 値 (Fig. 10(b)) は、すべての粒度において、1.0% 以上の紅麹添加パンでは、添加濃度が増すほど有意に増加の傾向が認められた。小粒子紅麹添加パンは、すべての添加濃度で、中粒子および大粒子紅麹添加パンより有意に大きかった。L 値 (Fig. 10(c)) は、すべての粒度において、無添加と 1.0% 以上の紅麹添加パンとの間で有意差が認められ、添加濃度が増すほど L 値は有意に小さくなった。2.0% 紅麹添加パンでは、粒度が小さいほど有意に大きく、小粒子紅麹添加パンは、中粒子および大粒子紅麹添加パンよりも有意に大きく、a 値とは逆の傾向が認められた。

遮光保存したパンの色調の経時変化を Fig. 11 に示した。なお、パンの色調の経時変化については、パンの組織観察、物性特性において紅麹添加による影響が最も小さく、パンとして適性が最も高いと判断された小粒子紅麹添加パンを試料とした。遮光保存したパンでは、a 値 (Fig. 11(a))、b 値 (Fig. 11(b)) および  $\Delta E$  (色差, Fig. 11(d)) の経時変化に有意差は認められなかった。L 値 (Fig. 11(c)) では 9 日目から有意に増加した。 $\Delta E$  の 0 日目と 37 日目を比較すると、両測定日ともに無添加と 0.5% 紅麹添加パンの間の差は「目立つほどに」(3.0~6.0)、無添加と 1.0%

紅麹添加パンの間の差は「大いに」(6.0~12.0)、無添加と 2.0% および 5.0% 紅麹添加パンの間の差は「多大に」(12.0 以上)<sup>42)</sup> であり変化しなかった。このことは、遮光保存することでパンの赤色は保持できるものと考えられる。

紫外線照射したパンの色調変化を Fig. 12 に示した。a 値 (Fig. 12(a)) は 2.0% と 5.0% 紅麹添加パンでは、9 日目から有意に減少した。b 値 (Fig. 12(b)) は 2 日目から有意に増加し、日数が経つほど黄色味が有意に強くなった。L 値 (Fig. 12(c)) は、5.0% 紅麹添加パンでは 16 日目から有意に増加したが、それ以降では有意差は認められなかった。しかし、無添加では 23 日目から有意に減少した。 $\Delta E$  (Fig. 12(d)) は、0.5~5.0% 紅麹添加パンでは 2 日目まで有意に減少し、さらに 5.0% 紅麹添加パンでは 16 日目まで有意に減少した。0 日目と 37 日目の  $\Delta E$  を比較すると、無添加と 0.5% 紅麹添加パンの間の差は 0 日目では「目立つほどに」から 37 日目では「かすかに」(0~0.5)、無添加と 1.0% 紅麹添加パン間の差は「大いに」から「わずかに」(0.5~1.5)、無添加と 2.0% 紅麹添加パン間の差は「多大に」から「目立つほどに」(3.0~6.0)、無添加と 5.0% 紅麹添加パンの間の差は「多大に」から「大いに」(6.0~12.0)<sup>42)</sup> に色差は減少した。

梅澤ら<sup>43)</sup> は、紅麹色素の紫外線照射による赤色の退色を報告している。本実験においても、a 値では紅麹色素が紫外線により構造変化を受けるために、添加濃度が高く赤色の呈色の強いパンほどその変化が顕著であったと考えられる。Maillard<sup>44)</sup> は、アミノ酸化合物とカルボニル化合物によるアミノカルボニル反応において褐色色素が形成されると報告し、本間ら<sup>45-49)</sup> は高温加熱、長期貯蔵、pH、金属の触媒、光などにより食品の褐変、黄色味に影響を及ぼ

Fig. 10. Color of breadcrumbs containing *Monascus koji*

(a) a value, (b) b value, (c) L value

● : *Monascus koji* of grain size of 100 mesh (small particle size)▲ : *Monascus koji* of grain size of 60 mesh (middle particle size)■ : *Monascus koji* of grain size of 30 mesh (large particle size)

a-e) Values in each column followed by same letter are not significantly different.

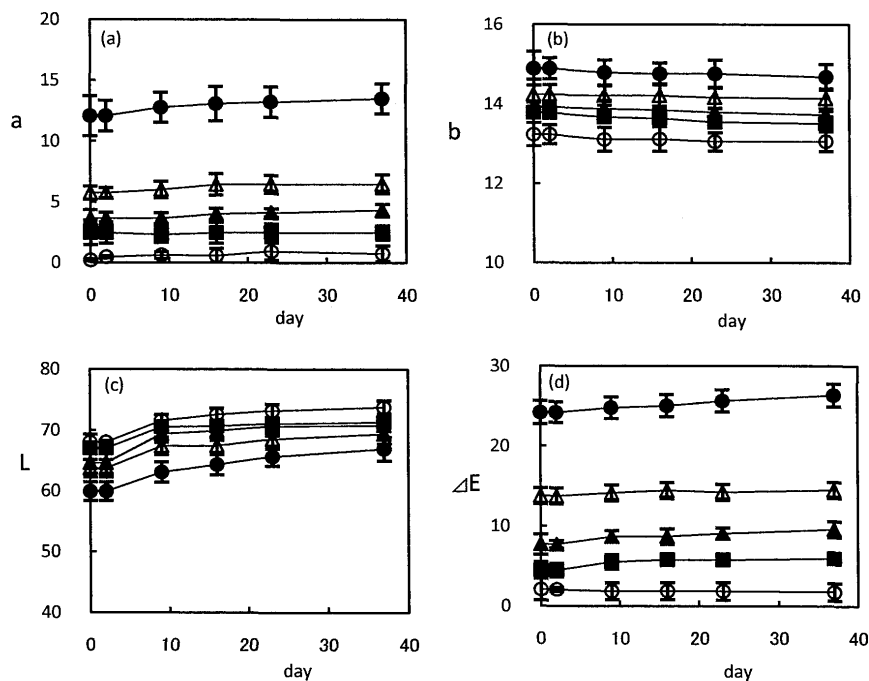


Fig. 11. Change in color of breadcrumbs under protection from light  
(a) a value, (b) b value, (c) L value, (d) ΔE value

- : bread without *Monascus* koji
- : bread crumb containing 0.5% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh
- ▲ : bread crumb containing 1.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh
- △ : bread crumb containing 2.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh
- : bread crumb containing 5.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh

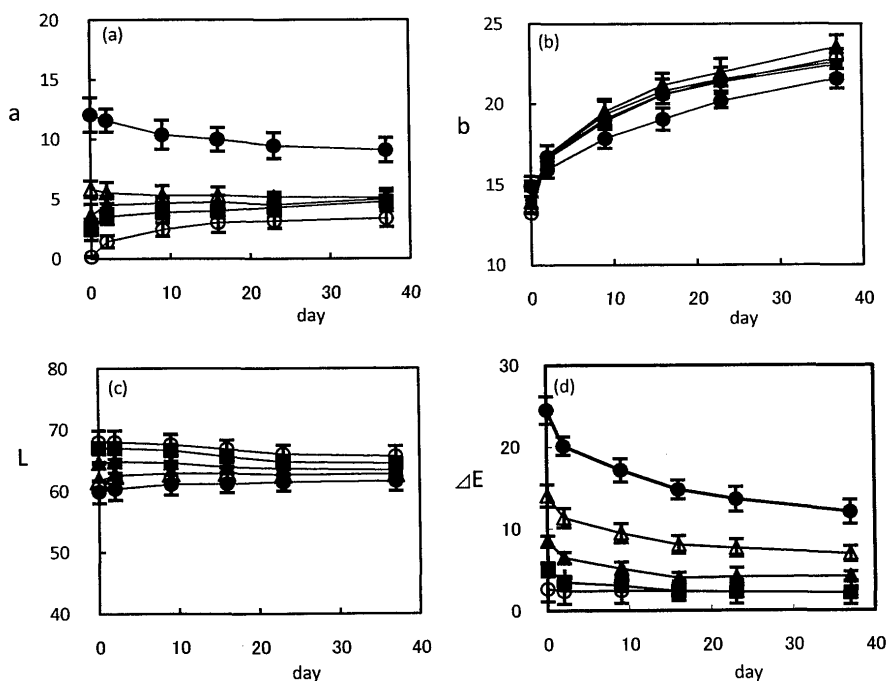


Fig. 12. Change in color of breadcrumbs with ultraviolet light irradiation  
(a) a value, (b) b value, (c) L value, (d) ΔE value

- : bread without *Monascus* koji
- : bread crumb containing 0.5% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh
- ▲ : bread crumb containing 1.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh
- △ : bread crumb containing 2.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh
- : bread crumb containing 5.0% *Monascus* koji of grain size of 100 mesh

## パンの組織と色調に及ぼす紅麹の影響

すと報告している。これらのことから、b 値では長期の紫外線照射よりアミノカルボニル反応が生じたためにメラノイジンが生成され、黄色の呈色が強くなったものと推察される。なお、今回の結果は、紅麹色素添加パン<sup>27)</sup>の場合と同様の傾向を示したが、紅麹添加パンでは、赤色の呈色は紅麹色素添加パン<sup>27)</sup>よりも小さかったため紫外線の影響も小さかった。しかし、紅麹添加パンにおいても添加濃度が高いパンでは遮光して退色を防ぐ必要があると考えられる。

## 5) 官能特性

小粒子紅麹添加パンの官能評価結果について Fig. 13 に示した。「色」(Fig. 13(a)), 「香り」(Fig. 13(d)), 「食感」(Fig. 13(e)), 「総合評価」(Fig. 13(f)) の好ましさでは、0.5% および 1.0% 紅麹添加パンが有意に高く評価された。「きめ」(Fig. 13(b)) では、無添加パン、0.5% および 1.0% 紅麹添加パンが有意に高く評価された。「味」(Fig. 13(c)) では、0.5%, 1.0% および 2.0% 紅麹添加パンが有意に高く評価された。玉田ら<sup>6)</sup>は各種調味料に紅麹を添加し他の原料とともに発酵させることで有機酸、アミノ酸、ペプチド類などが増し、味がまろやかで旨味が高ま

り、色、香りが良好となることを報告している。本研究においても、紅麹の有する各種成分により風味が高まったと考えられる。

以上の結果から、0.5% および 1.0% 紅麹添加パンでは 6 項目すべてにおいて高く評価され、さらに「味」では 2.0% 紅麹添加パンにおいても紅麹の添加によりパンの嗜好性は増すと評価された。前報<sup>27)</sup>の紅麹色素添加パンでは、微量の添加において「色」、「香り」、「総合評価」の嗜好性が高まったが、本実験の紅麹添加パンにおいては、前報の評価に加え、「味」および「食感」においても嗜好性が高まると評価されたこと、さらに樽井<sup>50)</sup>はラットでの紅麹添加パンの摂取による血圧降下作用を報告していることから、紅麹色素のみを添加するよりは紅麹を添加した方がパンの食品価値は高まると考えられた。

## 要 約

どの粒度の紅麹の添加においても、材料混捏後の生地 の体積は 100 mesh の紅麹添加では 105 分までは有意に高まり、185 分では 100 mesh の紅麹添加のみが有意に増加した。焼成後のパンについては、機器測定 の硬さは 100 mesh

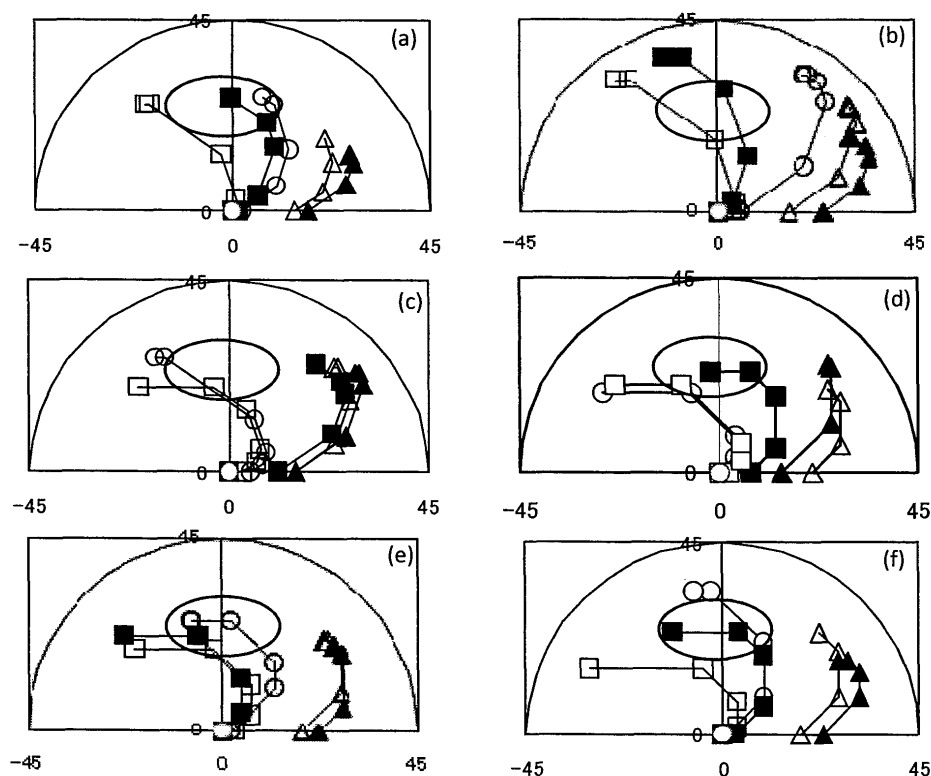


Fig. 13. Sensory evaluation of breadcrumbs containing *Monascus koji*  
 (a) color, (b) smoothness, (c) taste, (d) flavor, (e) texture, (f) overall evaluation  
 —○—: bread without *Monascus koji*  
 —▲—: bread crumb containing 0.5% *Monascus koji* of grain size of 100 mesh  
 —△—: bread crumb containing 1.0% *Monascus koji* of grain size of 100 mesh  
 —■—: bread crumb containing 2.0% *Monascus koji* of grain size of 100 mesh  
 —□—: bread crumb containing 5.0% *Monascus koji* of grain size of 100 mesh

では1.0% 紅麴添加で無添加パンと差は認められなかったが、官能評価における色、きめ、味、香り、食感、総合評価ともに0.5%、1.0% 紅麴添加では無添加パンより有意に高く評価された。経時変化については、硬さは無添加パンでは焼成後2日目では硬くなったが、1.0% 紅麴添加では1日目と差は認められず、a値は保存期間中、無添加パンと有意差が認められた。これらの結果から、100 meshの1.0% 紅麴添加がパンの食品価値を最も高めると考えられた。

本研究を遂行するにあたり、多大なる御助言を賜り、紅麴をご提供下さいましたグンゼ株式会社に深謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 李時珍 (1979), 本草綱目 (第3分冊), 人民衛生出版社, 1547-1548
- 2) 荒木淳, 山口典男, 中台忠信 (1999), 紅麴菌による減塩醤油の保存性向上, 醸協, **94**, 884-889
- 3) 遠藤章 (1985), 紅麴と紅麴菌をめぐる歴史と最近の動向, 発酵と工業, **43**, 544-552
- 4) 鈴木秀昭 (1988), 加工食品へのモナスカスの利用について, *New Food Industry*, **30**, 20-24
- 5) 廣井忠夫 (1988), 紅麴菌の食品加工への利用, *New Food Industry*, **30**, 1-6
- 6) 玉田英明 (1988), 紅麴の各種調味料への応用, 食品と科学, **7**, 96-99
- 7) Endo, A. (1979), Monacolin K, a new hypocholesterolemic agent produced by a *monascus* species, *J. Antiotics.*, **32**, 852-854
- 8) Endo, A. (1980), Monacolin K, a new hypocholesterolemic agent that specifically inhibits 3-methylglutaryl coenzyme a reductase, *J. Antiotics.*, **33**, 334-336
- 9) Endo, A. (1985 a), Compactin (ML-236B) and related compounds as potential cholesterol-lowering agents that inhibit HMG-CoA reductase, *J. Med. Chem.*, **28**, 401-405
- 10) Endo, A. and Hasumi, K. (1985 b), Dihydro-monacolin and monacolin X, new metabolites those inhibit cholesterol biosynthesis, *J. Antiotics.*, **38**, 321-327
- 11) Endo, A., Hasumi, K. and Negishi, S. (1985 c), Monacolin J and L, new inhibitors of cholesterol biosynthesis produced by *Monascus ruber*, *J. Antiotics.*, **38**, 420-422
- 12) 辻啓介, 市川富夫, 田辺伸和, 阿部士朗, 樽井庄一, 中川靖枝 (1992 a), 麴が高血圧自然発症ラットの血圧に及ぼす影響, 日農化誌, **66**, 1241-1246
- 13) 辻啓介, 市川富夫, 田辺伸和, 阿部士朗, 樽井庄一, 中川靖枝 (1992 b), 紅麴抽出物と $\gamma$ -アミノ酪酸の高血圧自然発症ラットにおける血圧降下作用, 栄養学雑誌, **50**, 285-291
- 14) 辻啓介, 市川富夫, 田辺伸和, 阿部士朗, 樽井庄一, 中川靖枝 (1992 c), 紅麴菌体量が高血圧自然発症ラットの血圧降下に及ぼす影響, 食科工誌, **39**, 790-795
- 15) 辻啓介, 市川富夫, 田辺伸和, 阿部士朗, 樽井庄一, 中川靖枝 (1992 d), 小麦紅麴からの血圧降下成分の抽出, 食科工誌, **39**, 913-918
- 16) 辻啓介, 市川富夫, 田辺伸和, 阿部士朗, 樽井庄一, 中川靖枝 (1992 e) 食品が高血圧自然発症ラットの血圧に及ぼす影響, 食科工誌, **39**, 919-924
- 17) 辻啓介, 中川靖枝, 市川富夫 (1993), 紅麴の抽出物と色素が高血圧自然発症ラットの血圧, ミネラル出納, コレステロール代謝に与える影響, 家政誌, **44**, 109-114
- 18) 久代登志男, 橋田潤, 河村博, 三ツ林裕巳, 斎藤友昭, 鈴木裕太郎, 高橋直之, 石井利明, 木村卓郎, 辻啓介, 田辺伸和, 浅野幸一, 阿部士朗, 樽井庄一 (1996), 本態性高血圧に対する紅麴の臨床評価—プラセボを対照とした多施設二重盲検群間比較試験—, 日腎会誌, **38**, 625-633
- 19) Aniya, Y., Yokomakura, T., Yonamine, M., Shimada, K., Nagamine, T., Shimabukuro, M. and Gibo, H. (1999), Screening of antioxidant action of various molds and protection of *Monascus anka* against experimentally induced liver injuries of rats, *Gen. Pharmacol.*, **32**, 225-231
- 20) 安川憲, 竹内美恵子, 滝戸道夫 (1991), マウス二段階発癌における天然色素アザフィロン類の抑制効果, 日本癌学会総会要旨集, **50**, 59-59
- 21) Wong, H. C. and Bau, Y. S. (1977), Pigmentation and antibacterial activity of fast neutron and X-ray-induced strains of *Monascus purpureus* Went, *Plant. Physical.*, **60**, 578-581
- 22) Wong, H. C. and Koehler, P. E. (1981), Production and isolation of an antibiotic from *Monascus purpureus* and its relationship to pigment production, *J. Food. sci.*, **46**, 589-592
- 23) 松本直己, 森明彦, 今井忠平, 小川晴生, 村川茂雄, 遠藤章 (1989), *Monascus* 属の生産する抗菌物質について, 日本醗酵工学会大会講演要旨集, 69-69
- 24) 古泉快夫, 庭山清八郎, 仁田原義之, 宮村定男 (1978), 紅麴菌産生色素の毒性について, 新潟医学会誌, **92**, 815-820
- 25) 高橋真美, 松本孝, 小此木茂夫 (2004), 紅麴菌 (*Monascus anka* sp.) の色素生産性に及ぼす米デンプンの効果, 食科工誌, **51**, 67-71
- 26) 高橋真美, 松本孝, 森高初恵 (2008), 紅麴菌 (*Monascus anka* AHU 9085) の色素生産性に及ぼす窒素源の効果, 日本栄養・食糧学会誌, **62**, 19-23
- 27) 高橋真美, 森高初恵 (2007), 紅麴色素がパンの組織と色調に及ぼす影響, 食科工誌, **54**, 67-74
- 28) American association of cereal chemists. Approved methods of the AACC. method 54-21. st paul (1990)
- 29) American association of cereal chemists. Approved methods of the AACC. method 54-10. st paul (1990)
- 30) 大羽和子, 川端晶子 (2003), 調理科学実験, 学建書院, 東京, pp.12-13
- 31) 馬場康雄 (1986), 評価のグラフ表示, 品質, **16**, 341-345
- 32) Hoseney, R. C., Rao, H., Faubion, J. and Sidhu, J. S. (1980), Mixograph studies. IV. the mechanism by which lipoxigenase increases mixing tolerance, *Cereal Chem.*, **57**, 163-166
- 33) 田中康夫 (1992), 製パン材料の科学, (株)光琳, 東京, pp.37-46, 78-82, 196-197
- 34) 広井忠夫, 嶋悌司, 鈴木宣夫, 月岡本, 木村修一 (1978), 新天然色素生産菌モナスカス菌に対するモナスコルブリンの栄養生理的役割, 栄養と食糧, **31**, 149-154
- 35) 高崎禎子, 峯木真知子 (2001), 馬鈴薯でん粉あるいは化工馬鈴薯でん粉添加が製パン性に及ぼす影響, 日調科誌, **34**, 53-61
- 36) 杉田浩一 (1967), 調理の科学, 医歯薬出版, 東京, pp.209-211

## パンの組織と色調に及ぼす紅麴の影響

- 37) 堀江理恵, 伊藤みどり, 杉原好枝, 福田満 (2005), 乾燥オカラが食パンの比容積に与える影響, 日本食生活学会誌, **16**, 31-38
- 38) 上部光子, 西成勝好 (2001), モカルペースト添加が食パンの性状および食味に及ぼす影響とその栄養効果, 日本食生活学会誌, **12**, 53-61
- 39) 田中康夫, 松本博 (1991), 製パンプロセスの科学, 光琳, 東京, pp.27-30, pp.106-108
- 40) Tanaka, Y. (1972), Quality improvement of rice bread, *Jpn Agric Res Q.*, **6**, 181-187
- 41) 與座宏一, 岡部繭子, 島淳 (2008), 米粉利用の現状と課題—米粉パンについて—, 食科工誌, **55**, 444-454
- 42) 山崎清子 (1997), 調理実験, 同文書院, 東京, pp.194-196
- 43) 梅澤智佐江, 尾崎俊江, 吉崎博美, 新真理子, 守安雅代, 藤井正美 (1990), 赤色系着色添加物の耐光性能, 生活衛生, **34**, 23-35
- 44) Maillard, L. C. (1912), Action des acides amines sur les sucres: formation des melanoidines par voie methodique, *CR Acad Sci.*, **154**, 66-68
- 45) 本間清一 (2005),メラノイジンに関する食品化学的研究, 日本栄養・食糧学会誌, **58**, 85-98
- 46) 本間清一 (1998), 褐変のモデル系から食品系へ, 日本栄養・食糧学会誌, **51**, 141-144
- 47) 溝井雅子, 澤山茂, 川端晶子, 本間清一 (1992), 玉葱の加熱による褐変, 日本栄養・食糧学会誌, **45**, 441-447
- 48) 関口伸子, 藤村理佳, 村田容常, 本間清一 (1992), インスタントコーヒー中の鉄結合性物質の検索, 日農化誌, **66**, 689-698
- 49) 村田容常, 本間清一 (1998), ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御—最新の研究動向, 日食工誌, **45**, 177-185
- 50) 樽井庄一 (1993), 紅麴の特性とその利用, ジャパンフードサイエンス, **32**, 35-42

(平成 20 年 11 月 10 日受付, 平成 21 年 4 月 29 日受理)

## 和文抄録

紅麴がパンの組織と色調に及ぼす影響について, 組織観察, 力学特性および色調を測定して検討した。紅麴の粒度が大きく添加量が増すほど気泡壁面の損傷が大きくなり, 気泡も小さくなり, 小孔も多数観察された。紅麴の粒度が大きく添加量が増すほど無添加に比べて比容積は小さく, パンの硬さは増し, 凝集性は低下した。遮光保存したパンの色調の変化はほとんど認められなかったが, 紫外線照射したパンでは, 色調の変化が著しかった。官能評価の結果, 0.5% および 1.0% 紅麴添加パンは, 6 項目すべてにおいて高く評価され, 「味」では 2.0% 紅麴添加パンにおいても高く評価された。