

スペルト小麦パンの物性・機能性・嗜好性に及ぼす各種発酵液添加の影響

Effect of Various Kinds of Fermented Liquid on the Physical Properties, Health Functions and Preference for Spelt Wheat Bread

赤石(喜多)記子^{*§} 五月女まりえ^{**} 小林愛美^{**} 山下美恵^{**} 長尾慶子^{*}

Noriko Akaishi (Kita)

Marie Soutome

Megumi Kobayashi

Mie Yamashita

Keiko Nagao

Dough and bread samples were prepared with various kinds of fermented liquid made from raisins, *koji* and yoghurt, and their physical properties, health functions and preferences were examined. The dough prepared with fermented *koji* liquid made by the sponge dough method showed more deterioration in its expansibility of the gluten by enzymes than the equivalent dough made by the straight dough method. Swelling of the bread was consequently poorer, and its rupture energy was higher. The specific volume of the bread samples prepared with fermented yogurt liquid by the sponge dough method was greater, and its rupture energy was lower. This suggested that the porous structure of the crumb influenced the physical properties. The antioxidative activity of these bread samples was higher than that of bread made with dry yeast. The bread samples prepared with fermented raisin and yogurt liquid were also much preferred by a sensory evaluation. It thus was found useful to add fermented liquid originating in food material to these bread samples.

キーワード：スペルト小麦 spelt wheat；発酵液 fermented liquid；物性 physical properties；走査型電子顕微鏡 scanning electron microscopic；抗酸化能 antioxidative activity；嗜好性 preference

緒 言

パンの歴史は紀元前 4000 年頃にエジプトで小麦を石臼で挽き、こねて焼いた無発酵の薄いパンに始まり、その後、無発酵の生地を焼かずにそのまま放置したところ空气中の酵母が付着して発酵し、焼いてみると美味しい発酵パンが生まれたと言われている¹⁻³⁾。このようにパンにおいて酵母は発酵の主役を担っているが、酵母以外の微生物も数多く存在し、パンの食感や風味形成に関与していると言われている⁴⁾。発酵のスターターによく利用されているのがレーズン、リング、ライ麦、小麦、無殺菌の牛乳等であり、これらは空中や食材表面に付着している酵母菌や乳酸菌等の微生物を培養することで、発酵に必要な微生物を得ている。実際に中国では中華饅頭の発酵種となる「老麺」があり、これはイーストを使わずに小麦粉に存在する酵母菌や乳酸菌の作用で自然に発酵させたもので、ドイツには同様の手法でライ麦を利用したサワー種がある⁵⁾。また、日本には日本酒の醸造に使用される米と麴で発酵させた酒種があり、酒饅頭やパンになっている⁶⁾。市販のドライイーストは 18 世紀末にイギリスで開発されたものであり、これは単一の酵母を取り出し保存性を向上させたもので、短時間で均一な発酵が可能となり⁷⁾、製パン業者や家庭でのパ

ン作りによく使用されている。最近では時間と手間のかかるレーズンや酒種を利用した「天然酵母パン」が、簡便なイーストパンとは異なる風味と食感、健康的なイメージを持つとして人気があり、それらを使った専門店や専門書^{8,9)}が多くみられ、家庭で手作りする人も増えてきている。しかし、単一酵母のドライイーストと果実や酒種より得られた発酵液を使用したパンとは食感や風味に差があるものの両者について詳細に比較した研究は少ない¹⁰⁻¹⁵⁾。発酵液には微生物だけでなく、微生物による発酵生成物、酵素や糖、アミノ酸、ビタミン、ミネラル等が存在しそれらがドウ及びパンの物性や機能性、嗜好性などに影響を及ぼすと推察される。そこで、我々は果実のレーズン、日本特有の米麴、乳酸菌の豊富なヨーグルトより得られる発酵液およびドライイーストをそれぞれ添加した各種ドウ及び焼成パンを調製し、物性面についてはドウの動的粘弾性、パンの比容積、および破断強度の測定を、組織観察としては走査型電子顕微鏡観察を行った。さらに機能性面についてはペルオキシラジカル捕捉能より抗酸化性の評価を、嗜好性面については官能評価を実施し、それぞれを比較検討した。また、パンの発酵条件にはストレート法や中種法等があり、様々な場での利用が想定されることから、今回は家庭でも行われている簡便な方法であるストレート法と製品の均一性などから工業的に取られている手法でもある中種法の両法で調製したパンについても、同様に測定し比較検討した。尚、実験試料に用いたスペルト小麦 (*Triticum spelta*) は普通系の 6 倍種小麦に属し、たん白質含量が 14.4% と高く、アミノ酸やビタミン、ミネラルを豊富に含んでいることに加えて、普通小麦に比較してアレルギーを起こしにくいと

* 東京家政大学大学院
(Graduate school of Tokyo Kasei University)

** 東京家政大学
(Tokyo Kasei University)

§ 連絡先 東京家政大学大学院家政学研究科
〒173-8602 東京都板橋区加賀 1-18-1
TEL 03(3961)5840 FAX 03(3961)5840

いわれ、日本においても近年注目され始めている¹⁶⁾が、スペルト小麦を利用した製品の研究は少ない。我々はこれまでの実験から、ベーグルパンを調製した際に一般的に利用されている普通小麦 (*Triticum aestivum*) との間に物性や嗜好性に大差はなく、種々の加熱条件下でも抗酸化力の安定性が高いことを報告している^{17, 18)}。

実験方法

1. 実験材料

- 1) スペルト小麦 (原産地・オーストラリア) を西尾製粉 (株) (愛知県) に一定条件で製粉を依頼した。スペルト小麦中の灰分 0.67%, 水分 13.1%, 粗タンパク 14.4% である (西尾製粉データ)。
- 2) 上白糖 (三井製糖 (株))
- 3) 精製塩 ((財)塩事業センター)
- 4) ドライイースト (日清フーズ (株) DON)
- 5) ふさ干しレーズン:レーズン (原産国・アメリカ) (販売者・(株)クオカプランニング)
- 6) 米麴: ((株)伊勢惣)
- 7) 粥: うるち米 ((株)味の素)
- 8) ヨーグルト: プレーンヨーグルト ((株)明治乳業)

2. 測定試料の調製方法

1) 発酵液の調製

Table 1 に示した材料を滅菌した密封瓶に入れ、恒温恒湿庫内 (30℃, 65% RH) にて 72 時間発酵させた。その間 1 日に 2-3 回瓶をゆっくり振り混ぜ、混和させた。レーズンと麴はストレーナーで漉した液を発酵液として使用し、ヨーグルトはよく攪拌したものを発酵液として使用した。出来上がった発酵液の pH はレーズン 3.62, 麴 3.41, ヨーグルト 3.46 であり、ドライイーストは 5.24 であった。なお、レーズンと麴発酵液中には *Saccharomyces cerevisiae* が優位に存在しており、ヨーグルトには乳酸菌が優位に存在していることを、あらかじめ微生物試験より確認しているが、微生物分布の詳細は現在、検討中である。

2) 生ドウの調製

ドウの製法として、全ての材料を一度に混捏する [ストレート法] と材料の一部である小麦粉と発酵液をあらかじめ予備発酵 (これを中種と称す) させてから加える [中種法] の 2 通りの方法で調製した。[ストレート法] は作業工程が短くて済み、風味が良いという特徴があり、[中種法]

は作業工程が長くなるが、製品の均一性があるという特徴から、製パン業者で採用されている方法である^{19, 20)}。詳細な調製法は以下に示すとおりである。

i) ストレート法

試料の材料配合を Table 2-1 に示した。発酵液使用量については、これまでの研究^{17, 18)} に準じてドライイースト試料の加水量と同様にした。ヨーグルトにはドウの発酵に必要な最低限量のドライイーストを加えている。それら材料をミキシングマシーン (BOSCH 製) に入れ、レベル 2 で 10 分間混捏を行った。得られたドウをビーカーに移し、ラップで覆い、恒温恒湿庫内 (30℃, 65% RH) にて 2 時間発酵させた後 (1 次発酵), ドウ (約 200 g) を 3 回折り畳んで空気抜きをし、25 g ずつに分割した。それらをロールパンやテーブルロールを想定しドーム状に成型し、蓋付のポリプロピレン製の容器に並べ、恒温恒湿庫内 (30℃, 65% RH) にて 30 分間発酵 (2 次発酵) させた。対照のドライイースト試料は市販されている物の一般的な使用法と前報^{17, 18)} に準じて調製し、1 次発酵時間は 10 分とした。このようにして得られたドウの一部は動的粘弾性測定用試料とした。

ii) 中種法

試料の材料配合を Table 2-2 に示した。各ドウの材料の一部である小麦粉 [I] 25 g と発酵液 [I] 25 g を混ぜて恒温恒湿庫内 (30℃, 65% RH) にて 24 時間発酵させた後、さらに小麦粉 [II] 25 g と発酵液 [II] 25 g を加えて同様に 24 時間発酵させた中種に、残りの材料を合わせて、上記 i) と同様の手順で混捏後、ドウ (約 200 g) を 1 次発酵 (2 時間) させ、25 g ずつに分割してドーム状に成型後、2 次発酵 (30 分) を行い、得られたドウの一部は

Table 2-1. Formula for dough and bread [straight dough method]

	dry yeast	raisin	koji	yoghurt
Spelt wheat flour	130 g	130 g	130 g	130 g
fermented liquid	—	72.8 g	72.8 g	72.8 g
sterilization water	72.8 g	—	—	—
salt	1.3 g	1.3 g	1.3 g	1.3 g
sugar	1.3 g	1.3 g	1.3 g	1.3 g
dry yeast	1.3 g	—	—	0.2 g

Table 2-2. Formula for dough and bread [sponge dough method]

		raisin	koji	yoghurt
[I]	Spelt wheat flour	25 g	25 g	25 g
	fermented liquid	25 g	25 g	25 g
[II]	Spelt wheat flour	25 g	25 g	25 g
	fermented liquid	25 g	25 g	25 g
	Spelt wheat flour	80 g	80 g	80 g
	fermented liquid	22.8 g	15.0 g	22.8 g
	salt	1.3 g	1.3 g	1.3 g
	sugar	1.3 g	1.3 g	1.3 g
	dry yeast	—	—	0.2 g

Table 1. Formula for fermented liquid

	raisin	koji	yoghurt
sterilization water	250 g	200 g	190 g
sugar	10 g	—	10 g
raisin	40 g	—	—
rice porridge (60℃)	—	50 g	—
rice koji	—	50 g	—
yoghurt	—	—	100 g

動的粘弾性測定用試料とした。

3) 焼成パンの調製

上記 i) 及び ii) の 2 次発酵を終えた、ドーム状の生ドウをスチームコンベクションオーブン（タニコー（株）製 TSCO-4 GB 型）内で、[180℃, スチーム 80%] で 3 分間焼成後、[180℃, スチーム 0%] で 5 分間焼成した。得られた焼成パンをケーキクーラー（網）の上で室温（25℃）に 30 分間放置して粗熱をとり、パンの比容積測定、破断試験、クラムの走査型電子顕微鏡観察及び官能検査用試料とした。

抗酸化能測定用試料については上記焼成パンを凍結乾燥後粉碎し、各々の 2 g に 70 v/v% エタノールを 20 ml ずつ加え、5℃ で 12 時間抽出した液を、遠心分離機（久保田商事（株）製 3740 型 3,000×g, 10 分間）にかけ、得られた上澄み液を用いた。

3. 測定方法

1) 生ドウの動的粘弾性測定

ドウの粘弾性や製パン性を測るにはエキステンソグラフやファーマグラフも最適な測定機器であるが、今回は岩瀬ら²¹⁾の方法を参考に、既報¹⁶⁾に準じて動的粘弾性測定・解析装置（HAAKE 製 MARS）を用いて、各生ドウの動的粘弾性を測定した。測定条件は、測定センサー：パラレルプレート（φ 25 mm）、測定温度：25℃（ペルチェ式温度コントロール）、平行平板間隔：1 mm とした。試料からの水分蒸発を防止する為、試料側面の露出部分にシリコンオイルを塗布し、予備実験より求めた線形範囲にある応力（29.0 Pa）を負荷し、周波数 10^{-2} ~ 10 Hz で貯蔵弾性率 G' [Pa] と損失弾性率 G'' [Pa] 及び力学的損失正接（ $\tan \delta = G''/G'$ ）[-] を測定した。

2) パンの比容積測定

測定したパンの重量 [g]、体積 [cm³]（菜種法）とから比容積 [cm³/g] を算出した。

3) パンの破断試験

レオメーター II（株式会社山電製 RE 2-33005 S）を用いて、焼成パン（直径約 5 cm、高さ約 4 cm）の側面から上下を 2 分割し、それらの外層部（クラスト、直径約 5 cm、高さ約 2 cm）と内層部（クラム、直径約 5 cm、高さ約 2 cm）の破断試験を実施した。測定条件は、ロードセル：20 N、測定歪率：90%、測定速度：5 mm/s、プランジャー：φ 5 mm の円柱型とした。パンは数日間保存されることもあるが、今回は焼成当日の物性について比較することとした。

4) パンの走査型電子顕微鏡観察

走査型電子顕微鏡（S-3600 N（株）日立ハイテクノロジーズ）にて焼成パンの中心部（1 cm 角）を無蒸着、低真空モード（70 Pa）、30 倍で各試料 5 視野ずつ観察した。得られた画像より、水ら²²⁾と柴田ら²³⁾の方法を参考に測定視野（2.8×4 mm）にある気孔数、気孔面積について解

析ソフト（Winroof 三谷商事（株））を用いて計測し、さらに 1 視野の面積当たり（11.2 mm²）に占める総気孔面積量（mm²）を求めた。

5) パンの化学発光（ケミルミネッセンス）法によるペルオキシラジカル捕捉活性の測定

既報^{17, 18, 24)}に準じて、ルミテスター C-100（キッコーマン社製）を用いて以下のように実施した。氷水中にある 2, 2'-アゾビス 2 塩酸塩試薬（40 mM AAPH/0.1 M リン酸緩衝液, pH 7.0）200 μ l に 0.1 M リン酸緩衝液または各濃度の試料抽出液 200 μ l をルミチューブに入れて攪拌後、37℃ で 2 分間恒温槽中にて加温処理をした。次にルミノール試薬 200 μ l を添加し、ルミテスターで化学発光値を測定した。なお、ルミノール試薬は 0.11 mM ルミノール溶液 400 μ l に、0.1 M ホウ酸緩衝液 0.9 ml、メタノール 2.6 ml、4 μ M チトクロム c 溶液 100 μ l を加えて調製した。

コントロールとして 0.1 M リン酸緩衝液を用いて、試料を原液から順次リン酸緩衝液にて希釈し、コントロールの発光値を 1/2 にする濃度（IC₅₀ 値）を求めた。IC₅₀ 値は次式により計算した。

$$\text{Log}(I_0/I) \times 100 = 30.103$$

ただし、この場合の I_0 及び I は次のように定義される。

I_0 ：リン酸緩衝液の発光値

I ：各濃度の試料の発光値

つまりこの IC₅₀ 値（%）が小さい程、抗酸化力が大であることを示している。

6) パンの官能評価

本学調理科学研究室員 13 名をパネルとし、官能評価を実施した。ドライイースト添加パンを対照（0 点）として、[ストレート法] で調製したレーズン、麴、ヨーグルトの各焼成パンについて 7 段階評価法での識別テストを行った。サンプルは焼成パン 1 個を縦半分（半月型、約 10 g）にして提示し、パンの全体を評価してもらった。評価項目は発酵液によってパンの香りが個々に異なり、特徴があるとみられた為、まず始めに香りについて、酸っぱい香り、果実のような香り、香ばしい香り、甘い香り、アルコール臭（揮発臭）、ミルクのような香りについて対照と比較してもらい、次に全体的な香り、味、軟らかさについての強弱を比較してもらった。さらに香り、味、食感、パンとしての総合評価についての好みについて、先と同様に対照を 0 点とし 7 段階評価での嗜好テストを行った。結果は 2 試料間の各項目毎に t 検定を行った。

最後に嗜好意欲尺度法²⁵⁾を用いて、それぞれのパンの品質について絶対評価を行った。評価尺度は 9. 最も好きな食品に入る、8. いつも食べたい、7. 機会があればいつも食べたい、6. 好きだから時々食べたい、5. 時には好きだと思うことがある、4. たまたま手に入れば食べてみる、3. ほかに何も無い時に食べる、2. もし強制されれば食べる、1. お

そらく食べる気にならないである。回答された評価尺度より9, 8, 7を高評価, 6, 5, 4を中評価, 3, 2, 1を低評価の3グループにわけ解析した。

結果及び考察

1. ドウの動的粘弾性測定

まず各種発酵液及び製法がドウの粘弾性に及ぼす影響について検討した。得られた貯蔵弾性率 G' [Pa], 損失弾性率 G'' [Pa] の結果を Fig. 1-1~1-2 に示し, 周波数 0.1 Hz における力学的損失正接 $\tan \delta (=G''/G')$ を Table 3 に示した。ドライイーストとレーズン [ストレート法] の G' , G'' に大差はなく, レーズン [中種法] で両値共に低下した。レーズン発酵液中にはレーズンより浸出した有機酸類, 産生したアルコールが含まれており, [ストレート法] では発酵時間が短い為にそれらの影響は少ないが, 予備発酵を経た [中種法] の場合にはそれらがグルテン組織を軟らか

Table 3. Mechanical loss tangent [$\tan \delta$] of doughs prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process (Frequency : 0.1 Hz)

	dry yeast	raisin	koji	yoghurt
[A]	0.72	0.68	0.77	0.69
[B]	—	0.80	1.02	0.86

[A] : straight dough method [B] : sponge dough method

くしたものと考えられる。ヨーグルト [ストレート法] で G' , G'' は高値となった。乳製品はパンの発酵を緩慢にする働きがあることと²⁶⁾, 発酵液中にはヨーグルトのホエー等のタンパク質が含まれており, それらが加わることで, グルテンの粘弾性を増した^{27,28)} のではないかと考えられた。ヨーグルト [中種法] で両値が低下したのはヨーグルトの乳酸発酵により生成された乳酸やクエン酸がグルテンを軟化させたと考えられる。麴 [ストレート法] では G' , G'' 共にドライイーストよりも低値となり, 他の発酵液の [中種法] と同程度の値であった。これには麴発酵液中には麴菌が生産したと考えられる²⁹⁾ アミラーゼとプロテアーゼの存在を確認しており, それら酵素がドウ中のでん粉やグルテンマトリックスに作用したと考えられた。なお, 麴 [中種法] では他の発酵液と同量の液を加えてしまうとドウの混捏や成型が困難となったためドウの成型が可能な最適加水量として, 15 g を加えた。混捏直後は他のドウと同程度の硬さであったが, 一次発酵を終えたドウの G' , G'' 共にどの試料よりも高くなった。この原因として中種の予備発酵中に酵素作用によってグルテンネットワークが切断され, 残りの小麦粉を加えて混捏し1次発酵を経てもグルテンのネットワークが少ない状態にあり, 硬くて付着性の高い成型しづらいものとなったと推察された。また G' と G'' の比である $\tan \delta (=G''/G')$ (Table 3) を比較するといずれの発酵液も [ストレート法] よりも [中種法] で値が高く, 弾性要素よりも粘性要素が強く表れていることがわかった。このように発酵液の種類及びパンの製法によって, 動的粘弾性結果に違いがみられたことは焼成後のパンの膨化性や物性に影響を及ぼすものと考えられた。

2. パンの比容積

パンの膨化の指標として菓種法により求めたパンの体積と重量とから比容積を求め, Fig. 2 に示した。ドライイーストよりもいずれの発酵液添加パンの比容積は小となった。レーズンの場合は [ストレート法] と [中種法] では粘弾性結果では違いがみられたが, 比容積に有意な差は認められなかった。麴は [中種法] よりも [ストレート法] がよく膨化していた。先の粘弾性結果でも麴の [中種法] のドウは硬く, 粘性が強く, 且つ $\tan \delta$ が特に高い状態 ($\tan \delta=1.02$) となっている為, 発生した CO_2 がグルテン膜を押し広げようとしても伸展性に乏しかったと考えられる。ヨーグルトは [中種法] にすることで, パンの比容積は有意に大となりよく膨化していた。それは予備発酵を経

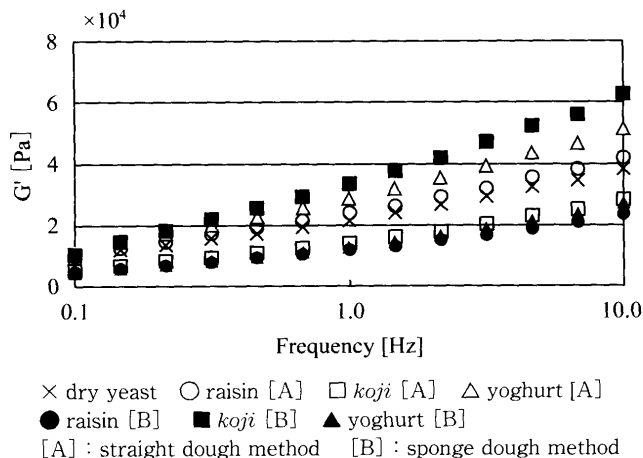


Fig. 1-1. Change in storage modulus [G'] of doughs prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

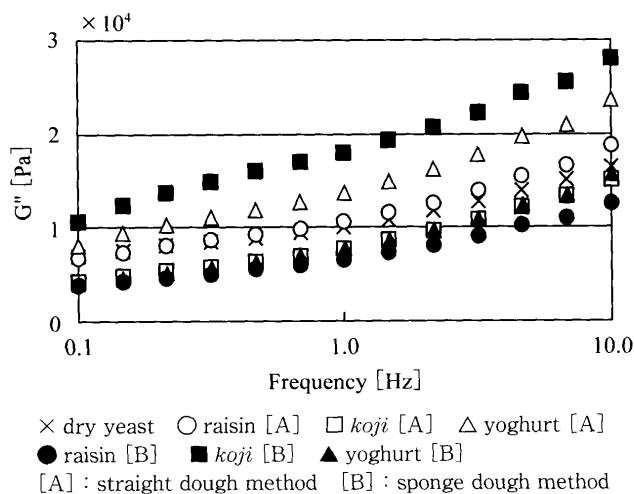


Fig. 1-2. Change in loss modulus [G''] of doughs prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

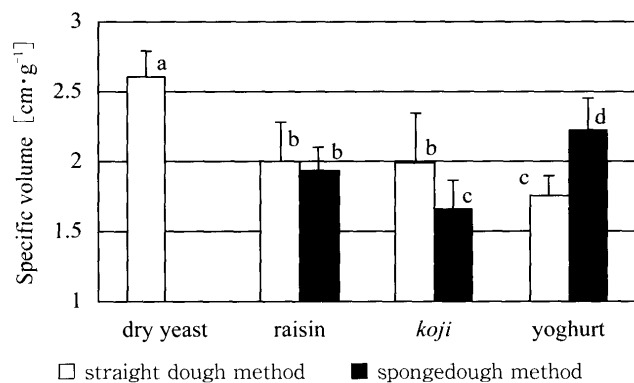


Fig. 2. Specific volume of bread prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

Each value represents the means $\pm$ S. D. (n=9-20)

There were significant differences at $p < 0.05$ between different letters

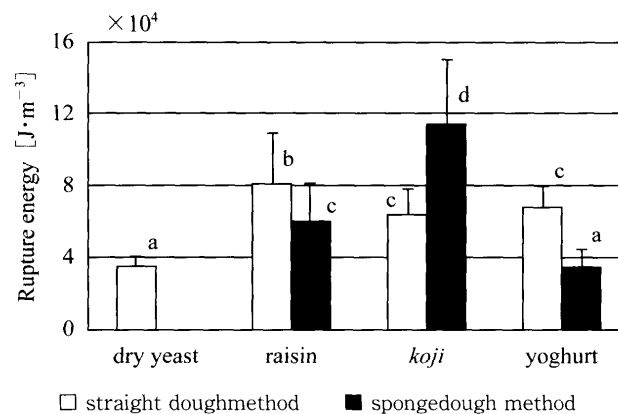


Fig. 3. Rupture energy of crumbs prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

Each value represents the means $\pm$ S. D. (n=11-18)

There were significant differences at $p < 0.05$ between different letters

た中種は発酵の活性が高まっており、焼成中の CO_2 発生と共に、ドウは軟らかく、粘性要素が強い為にグルテン膜がよく伸展し、出来上がった気泡は戻りにくく保持しやすい状態であったと推察される。ヨーグルト以外の発酵液についても、一次発酵時間を長くするなどの工夫により、比容積が増大する可能性も考えられる。また、パン形態を食パン等大きな形状にした場合には、製品重量や体積が大となる為、発酵時間や加水量を今後検討する必要があるといえる。以上の結果からドウの弾性要素 (G') 及び粘性要素 (G'') と、それらの比 ($\tan \delta$) によってパンの比容積に影響を及ぼすことが示唆された。

3. パンの破断試験結果

パンの美味しさの指標の一つである、硬さについて検討した。先の比容積との関連性をみるため、パン内相部（クラム）の結果から破断歪率 60% における破断エネルギー (Fig. 3) を比較した。

〔ストレート法〕のパンはいずれの発酵液の場合もドライイーストに比べて高く、破断しにくく噛みしめのあるものと考えられた。レーズンとヨーグルトにおいて〔ストレート法〕よりも〔中種法〕にすることでその値は低下し、特にヨーグルトではドライイーストと同程度の軟らかいパンが得られた。ドウの粘弾性による特徴やパンの比容積結果と合わせて考えると、〔中種法〕にすることで、グルテンの伸展性が良く、発酵種の CO_2 も活発な状態にある為、気泡膜は薄く伸ばされ、パン全体の物性も軟らかく多孔質構造を形成したと考えられる。麴は〔中種法〕の比容積も低かったため、破断エネルギーは大となった。他の発酵液に比べ、ドウが硬く伸展性に乏しい為、発生した CO_2 が気泡膜を押し広げられず、厚くなりパンが硬くなったと考えられる。ここまでの機器測定の結果より、レーズンとヨーグルトの発酵液は〔ストレート法〕よりも〔中種法〕が、麴の発酵液は〔ストレート法〕の方が得られるパンの物性は良いのではないかと考えられる。

4. パンの組織観察

上述のパンの加熱による膨化挙動は力学的性質に影響し、それは膨化による構造変化を反映したものと考えられる。そこで各発酵液のパン内部の膨化による気孔状態を走査型電子顕微鏡観察結果から検討した。撮影した試料は特に比容積や破断測定で特徴的であった 5 試料を取り上げた。写真を Fig. 4 に示した。その写真を画像解析ソフトにより解析し、得られた結果を Table 4 に示した。麴〔中種法〕試料を他の発酵液試料と比較してみると 1 視野にある気孔数は変わらないが、気孔面積が特に小さかった。パンの比容積も低く、破断エネルギーも高値を示していたことから、焼成中に CO_2 は発生していたものの、気泡膜が十分に広がらず、小さな気泡が密な状態となったといえる。また総気孔面積量をみるとヨーグルトのそれは〔ストレート法〕から〔中種法〕にすることで増大し、ドライイーストに近い値となった。Fig. 5 に総気孔面積量と破断エネルギーとの関係を示したが、相関係数 $r = -0.9662$ で高い負の相関があり、パン内部の気孔状態は物性に影響を及ぼすことが明らかとなった。

5. パンの抗酸化性の検討

昨今は食の健康ニーズが高まっており³⁰⁾、本実験においても病気のリスクを低減する機能である 3 次機能面³¹⁾ を評価することは有用と考えられる。そこで今回のパン試料について健康面から抗酸化性を取り上げることとした。体内で発生する活性酸素種の中から細胞脂質において連鎖的に酸化の輪を広げることで細胞への障害を拡大させるペルオキシラジカルを取り上げ、化学発光法を用いて、捕捉活性の評価を行った。小麦中の抗酸化成分には α -トコフェロール、 β -トコフェロール、フィチン酸、フェルラ酸が報告^{32, 33)} されている。我々の実験試料であるスペルト小麦も普通小麦に比較して、トコフェロール類が多く、加熱操作を経ても抗酸化力が高いことを報告している^{17, 18)}。本

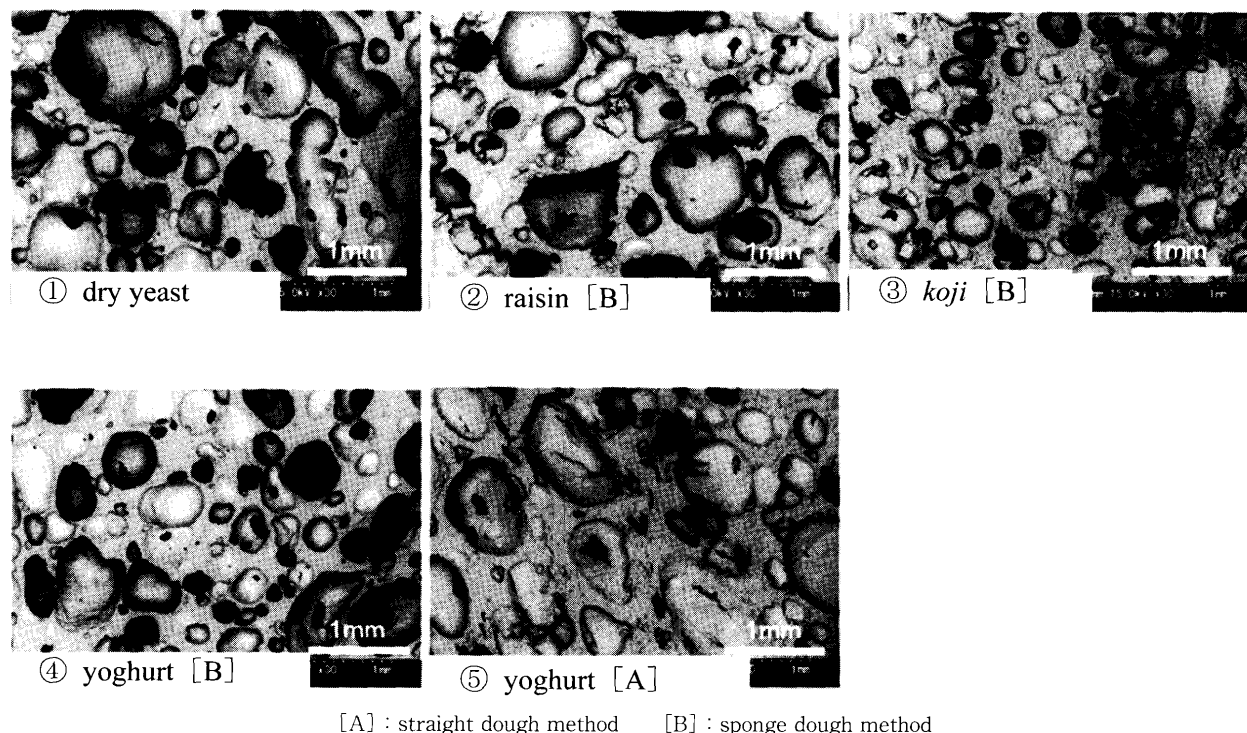


Fig. 4. Scanning electron micrographs of crumbs prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

Table 4. Porous structure of crumbs prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

	Cell area [mm ² /cell]	Number of cells [-]	Cell total area [mm ²]
① dry yeast	0.12	37.4	4.58
② raisin [B]	0.13	26.4	3.53
③ koji [B]	0.09	29.0	2.68
④ yoghurt [B]	0.15	28.6	4.26
⑤ yoghurt [A]	0.14	25.8	3.59

[A] : straight dough method [B] : sponge dough method

研究では種々の食品素材由来の発酵液を添加し、ドウの発酵製法の違いによって、抗酸化力の増強や付与が期待できるのではないかと考えた。

測定結果を Fig. 6 に示した。対照のドライイーストパンに比べ、発酵液を加えたいずれのパンの IC₅₀ 値は低く、抗酸化力が大となった。特にレーズンと麴で低く、次いでヨーグルトであった。レーズンと麴では「ストレート法」と「中種法」による IC₅₀ 値に差は見られなかったが、ヨーグルトの場合には「ストレート法」よりも「中種法」で IC₅₀ 値が低く抗酸化力が高くなることが認められた。これにはレーズンの原料となるブドウの抗酸化成分のプロアントシアニジンが含まれていることや^{34, 35)}、レーズンにも高い抗酸化能を持つことが報告³⁶⁾ されており、それらが発酵液中に浸出し、パンに加えられたことで抗酸化力が増したと考えられた。同様に麴発酵液中にも抗酸化成分の存在が考えられる。太田ら³⁷⁾ は精白米と麴を発酵させて得られる清酒中に存在する抗酸化物質の主体はフェルラ酸関連

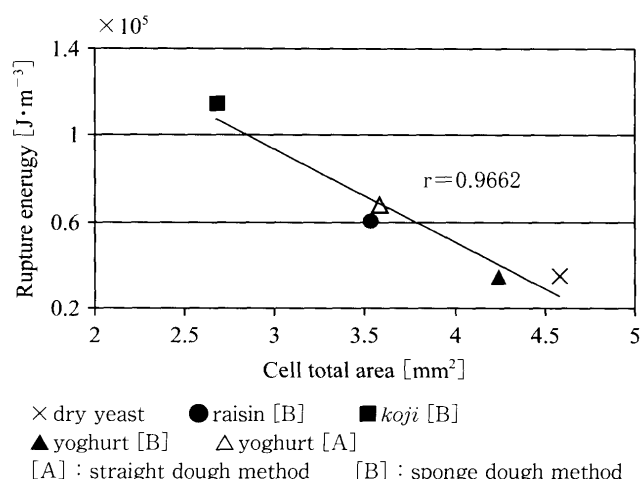


Fig. 5. Relationship between rupture energy and total area of crumb cells prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process

物質であると報告しており、また米麴の糖化及び発酵による抗酸化性の付与³⁸⁾ や麴菌の種類によって甘酒の抗酸化活性が異なる報告³⁹⁾ もあり、本研究においても麴菌の発酵生成物による抗酸化成分が付与されたことが考えられる。ヨーグルト発酵液の場合には、乳酸菌で発酵した発酵乳中には抗酸化能を有するペプチドがあるとの報告^{40, 41)} や乳酸菌の細胞抽出物がリノール酸の過酸化を抑制する等の報告⁴²⁾ もあることから、それらペプチドや乳酸菌の働きにより抗酸化力が高まったと考えられる。またヨーグルトでは、予備発酵過程で乳酸菌によるペプチド生成がさら

スペルト小麦パンの物性・機能性・嗜好性に及ぼす各種発酵液添加の影響

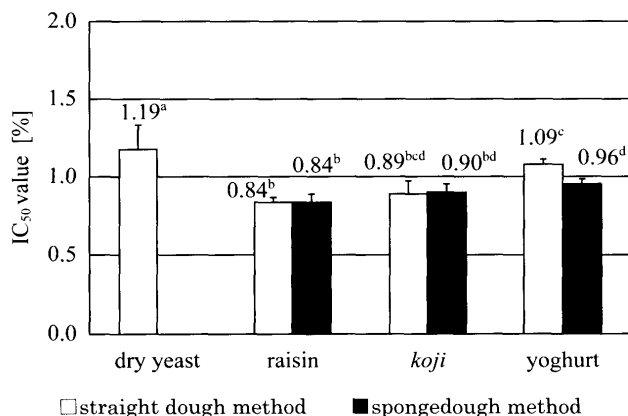


Fig. 6. Antioxidative activity of breads prepared with various kinds of fermented liquid and fermented process
Each value represents the means $\pm$ S. D. (n=3)
There were significant differences at $p<0.05$ between different letters

に進み、抗酸化力が增強するのではないかと推測される。ドライイーストをパンに利用することは簡便で製品の均一化を目的とするには効果的であるが、食品素材をスターターとする発酵液を添加することで3次機能を強化した製品が得られることが明らかとなった。

6. パンの官能評価

パンは発酵過程において CO_2 とアルコールを生成すると共に、アルデヒド、ケトン、有機酸及びエステル類芳香

性物質が生成し、また、タンパク質のごく一部が分解して微量のペプチドやアミノ酸が生成される⁴³⁾と言われており、これら生成物がパンの食感だけでなく、味や香りにも影響すると考えられる。さらに発酵液の種類によってもそれらが異なると考えられる。そこで、ドライイーストパンを対照に「ストレート法」で調製したレーズン、麹、ヨーグルトの各パンについて官能評価を行うこととした。今回は発酵液の影響のみをみる為に、いずれの試料も発酵条件は「ストレート法」で統一したパンで行った。評点法での結果をFig. 7-1、嗜好意欲尺度法での結果をFig. 7-2に示した。尚、図中 (Fig. 7-1) の数値は平均値である。

まず Fig. 7-1 の識別項目においてレーズン発酵液パンは甘い香りと味の項目でドライイーストとの間に有意な差がみられた。これはレーズン発酵液中には果実由来のフルクトースやグルコースが浸出していると考えられ、それら糖が付与され、甘い香りと味が強く感じられたのではないかと考えられる。麹発酵液パンは酸っぱい香りが強く、甘い香りとミルクのような香りは弱く、全体的な香りも強く、味があり、硬いと評価された。酒種パンにおいては麹菌の代謝物であるアルコール類や有機酸がありこれらがエステルを形成することにより複雑な香りを付与し、小麦粉由来のリグニンに麹菌が作用し芳香族化合物が生産され、菌体成分のアミン類が旨味や香りを濃厚なものにしていく⁴⁴⁾と言われており、今回の麹発酵液パンも同様の機構で、特有の風味を形成したと考えられる。ヨーグルトは香りの項

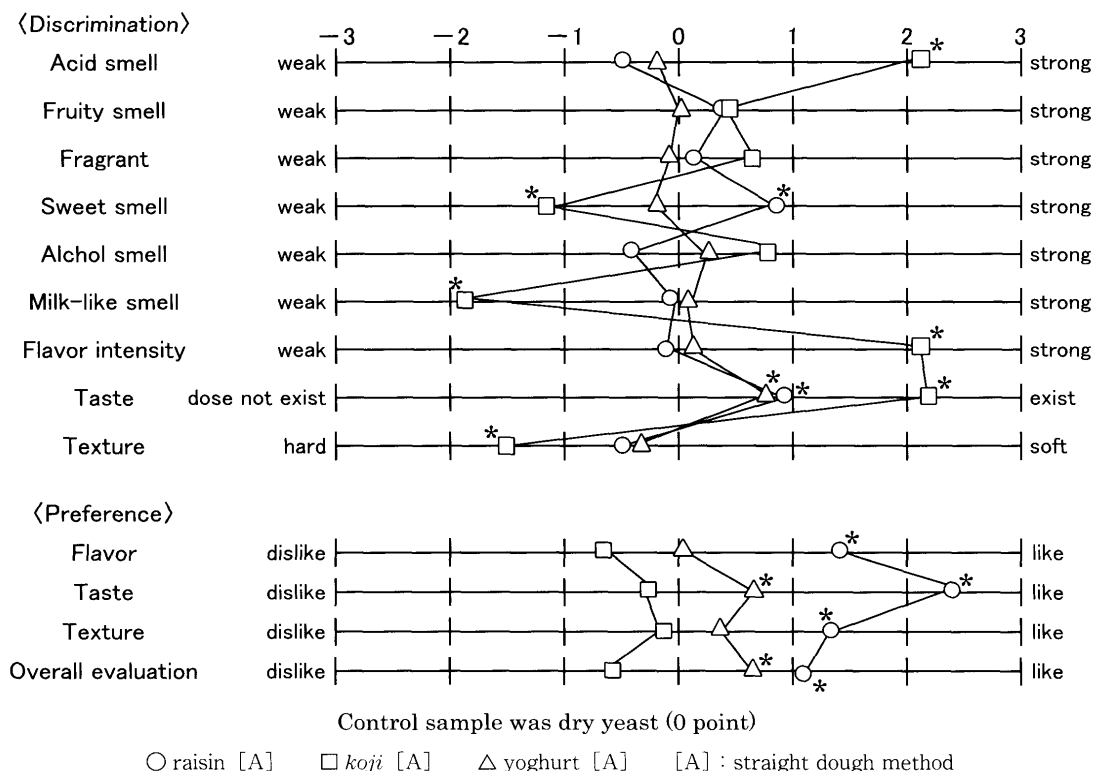


Fig. 7-1. Sensory evaluation of breads prepared with various kinds of fermented liquid [Scoring method]
* Significantly different from control sample ($p<0.05$, n=13)

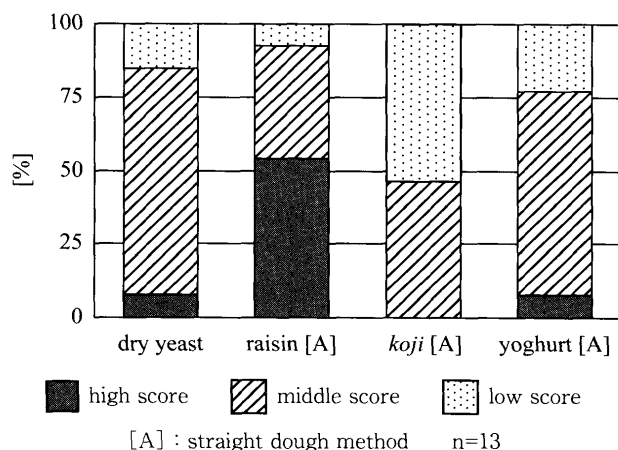


Fig. 7-2. The preference of breads prepared with various kinds of fermented liquid by food action rating scale method

目では特徴的な差はなく、味の項目でのみ有意差がみられた。ヨーグルト特有の酸っぱい香りは今回、焼成中に揮発したと推測され、味に関与する有機酸や糖、アミノ酸、ペプチド等⁴⁵⁾、味に付与されたのではないかと推測される。嗜好性の項目ではレーズン発酵液パンは香り、味、食感、パンとしての総合評価の全てにおいて、有意に「良い（好ましい）」と評価された。麴発酵液パンはいずれの項目も「悪い（好ましくない）」傾向がみられるが、ドライイーストとの間には有意差はみられなかった。ヨーグルトは味とパンとしての総合評価で有意に「良い（好ましい）」という結果であった。

これらの項目で特徴がみられた為、各々のパンの嗜好意欲について尋ねた結果 (Fig. 7-2) では、レーズンでは50%以上の方が高評価で嗜好意欲が高く、4種の中では特に好まれる傾向がみられた。嗜好意欲があると言える中評価と合わせると、ドライイースト、レーズン、ヨーグルトにおいて75%以上となった。麴では50%以上が低評価であり、識別項目で特徴が見られたような、酸っぱい香りや味、食感が好まれなかったのではないかと考えられる。今回はストレート法のみで焼成パンで官能評価を行ったが、今後はパネラーを増やして嗜好性を評価する必要があることや、中種法パンの官能評価なども検討することでさらに食感などの嗜好性の向上が期待できるのではないかと考えている。

本実験結果をもとに、食品素材由来の発酵液を添加したパンについて物性面、機能面、嗜好面への影響を総合的に検討すると、レーズンやヨーグルトの発酵液をパンに利用することで、物性に変化をもたらすと共に抗酸化力の向上が認められ、特に食感、香りなどの嗜好性面でも好まれた。麴発酵液は嗜好面での評価は低いが抗酸化力が大であるので、添加量の検討や、他の発酵液と組み合わせることで、嗜好面を改善できるのではないかと考えられる。以上より

今回の発酵液をパンに利用することは物性面、機能面、嗜好面でも有用であると言える。さらに今後、長所を生かしつつ、より良い製品にする為の発酵時間や加水量も検討し、パンの品質を評価する必要があると考えている。

要 約

レーズン、麴、ヨーグルトより得られる発酵液とドライイーストを添加したドウ及びパンを調製し、物性面、機能面、嗜好面から総合的に検討し、以下の結果を得た。

1. レーズン発酵液は発酵液中のアルコールと酸の影響により「ストレート法」よりも「中種法」のドウで弾性要素である G' 、粘性要素である G'' は低下し、その比である $\tan \delta (=G''/G')$ は上昇した。その為、パンの内層部（クラム）の破断エネルギーは低下した。
2. 麴発酵液は発酵液中の酵素作用により、グルテンの伸展性が低下し、特に「中種法」の膨化性は悪く、破断エネルギーも高値を示した。
3. ヨーグルト発酵液は発酵液中の乳酸菌による発酵生成物である有機酸の影響により「ストレート法」よりも「中種法」のドウで G' 、 G'' は低下し、 $\tan \delta$ は上昇した。その為、比容積の上昇とパンクラムの破断エネルギーはドライイーストと同程度となった。
4. 焼成パンの走査型電子顕微鏡観察より、気泡面積量と破断エネルギーに負の相関関係が認められたことより、クラムの気泡の存在状態は物性に影響を及ぼすことが明らかとなった。
5. 焼成パンの抗酸化力はドライイーストに比べ、レーズン、麴発酵液添加で最も高く、ヨーグルトの場合には「ストレート法」よりも「中種法」で高くなった。
6. 焼成パンの官能評価では、ドライイーストに比べ、各種発酵液添加パンの香りや味、硬さに特徴が見られた。麴の嗜好性は低かったが、レーズン、ヨーグルト発酵液を添加したパンの嗜好性は高かった。これらパンに食品素材由来の発酵液を添加することの有用性が明らかとなった。

謝 辞

本研究を推進するにあたり、試料小麦の提供と御助力を賜りました西尾製粉株式会社 長尾治様、並びに農事開発研究所 谷端淳一郎様、測定に際し貴重な御助言を賜りました本学食品衛生学第2研究室 森田幸雄先生、古茂田恵美子先生に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 井上好文 (2007), 「パンの事典」, 東京, 旭屋出版, pp. 270-271
- 2) 吉野精一 (1993), 「パン「こつ」の科学」, 東京, 柴田書店, pp. 146
- 3) 東京製菓学校監修 (2006), 「パンの事典 おいしいパンのある幸せな生活」, 成美堂出版編集部, 東京, 成美堂出版,

- pp. 96-97
- 4) 安藤正康 (1999), パン生地における微生物の働き (1) パン酵母を中心に, パン, **46**(8), 34-36
 - 5) 竹谷光司 (2009), 「新しい製パンの基礎知識 再改訂版」, 東京, パンニュース社, pp. 267
 - 6) 吉野精一 (1993), 「パン「こつ」の科学」, 東京, 柴田書店, pp. 31-32
 - 7) 田中康夫, 松本博編 (1992), 「製パン材料の科学」, 東京, 光琳, pp. 57-59
 - 8) 甲田幹夫 (2001), 「ルヴァンの天然酵母パン」, 東京, 柴田書店
 - 9) 相田百合子 (2006), 「自家製酵母でパンを焼く」, 東京, 農山漁村文化協会
 - 10) Oka, R., Matsuo, S., Kuratomi, J. and Watanabe, T. (1990), The study on the bread-making by the natural yeast. Report 1. The bread-making by the starter from the raisins, *Bulletin of Fukuoka Jogakuin Junior Coll.*, **26**, 27-38
 - 11) 長野宏子, 大森正司, 矢野とし子, 庄司善哉, 西浦孝輝, 荒井基夫 (1992), リンゴ浸漬液より分離した発酵性細菌 (*Enterobacter cloacae* GAO) の諸性質, 家政誌, **43**, 389-393
 - 12) 長野宏子, 大森正司, 田村朝子, 庄司善哉 (1995), ジャガイモスターターより分離した発酵性細菌 (*Enterobacter cloacae*) の同定, 家政誌, **46**, 867-870
 - 13) 河合弘康 (1996), 日本のパン種-酒種-の起源とその発酵特性, 日本醸造協会誌, **91**, 311-317
 - 14) Teramoto, A., Kusao, Y., Bagum, N., Isobe, Y., Yokoigawa, K. and Kawai, H. (2000), Inprovable effect of sodium chloride on leavening activity of *sakadane*, *Kaseigaku kenkyuu*, **46**, 45-50
 - 15) 吉田千秋, 三宅統 (2009), 天然酵母の作製, 京都短期大学紀要, **37**, 43-49
 - 16) 富田勉 (2008), 世界におけるヘルシーフードマーケット食品動向Ⅱ 古代穀物とパーソナルサプリメント, *Food Style 21.*, **12**(7), 78-81
 - 17) 喜多記子, 辻沙織, 大倉洋代, 長尾慶子 (2009), スペルト小麦ベーグルパンの普通小麦の代替適性の検討ー調理性, 抗酸化性および嗜好性の比較ー, 家政誌, **60**, 997-1003
 - 18) Akaishi(Kita), N. and Nagao, K. (2010), Effects of various heating conditions on the appearance, physical properties, and radical scavenging activity of spelt bread samples, *J. Cookery Sci. Jpn.*, **43**, 351-358
 - 19) 竹谷光司 (2009), 「新しい製パンの基礎知識 再改訂版」, 東京, パンニュース社, pp. 167-177
 - 20) 田中康夫, 松本博編 (1992), 「製パンプロセスの科学」, 東京, 光琳, pp. 13-14
 - 21) 岩瀬祥一, 三浦靖, 小林昭一 (2006), 2次発酵条件を変化させたパン生地の物性と製パン特性との関連, 日本レオロジー学会誌, **34**, 147-156
 - 22) 水珠子, 長尾慶子 (2008), O/W 型食用エマルション内部の熱移動に及ぼす分散油滴径の影響, 日調科誌, **41**, 227-233
 - 23) 柴田真理朗, 杉山純一, 蔦瑞樹, 藤田かおり, 杉山武裕, 粉川美踏, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 相良泰行 (2010), パンの粘弾性と気泡構造 (すだち) との関係の定量化手法の開発, 食科工, **57**, 296-303
 - 24) Nagatsuka N., Harada K., Ando M. and Nagao K. (2005), Effect of soy sauce on the antioxidative capacity of the gelatin gel food 'Nikogori' measured using the chemiluminescence method, *Int. J. Mol. Med.*, **16**, 427-430
 - 25) 長尾慶子, 香西みどり編 (2009), 「調理科学実験」, 東京, 建帛社, pp. 33
 - 26) 竹谷光司 (2009), 「新しい製パンの基礎知識 再改訂版」, 東京, パンニュース社, pp. 88
 - 27) Lupano, C. E. (2000), Gelation of mixed systems whey protein concentrate-gluten in acidic conditions, *Food Res Int.*, **33**, 691-696
 - 28) 谷口 (山田) 亜樹子 (2010), 小麦粉加工品に及ぼすホエータンパク質の影響, 鎌倉女子大学紀要, **17**, 1-6
 - 29) 小泉武夫 (1991), 「麴カビと麴の話」, 東京, 光琳, pp. 5-10
 - 30) 上野伸子 (2009), 食の機能化に対する消費者の価値意識に関する実証的研究, 浦上財団研究報告書, **17**, 104-112
 - 31) 久保田紀久枝, 森光康次郎編 (2004), 「食品学一食品成分と機能性一」, 東京, 東京化学同人, pp. 3
 - 32) 食品総合研究所編 (2005), 「食品大百科事典」, 東京, 朝倉書店, pp. 439-442
 - 33) 石川 (高野) 祐子 (2008), 小麦・小麦加工品等の機能性とその活用, 日本食生活学会誌, **19**, 116-123
 - 34) 有賀敏明 (1999), プロアントシアニン (ブドウ種子抽出物) の機能性解明とその応用 その1 機能性解明, 食品工業, **42**, 44-52
 - 35) Hatice K. Y., Yasemin D. A., Ulger G., Ahmet A. and Eser Y. S. (2005), Antioxidant activities of organic grape, pomace, juice, must, wine and their correlation with phenolic content, *Int. J. Food Sci. Technol.*, **40**, 133-142
 - 36) Xianli Wu, Gary R. Beecher, Joanne M. Holden, David B. Haytowitz, Susan E. Gerhardt and Ronald L. Prior. (2004), Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States, *J. Agric. Food Chem.*, **52**, 4026-4037
 - 37) 太田剛雄, 高下秀春, 轟木康市, 岩野君夫, 大場俊輝 (1992), 清酒中に存在する抗酸化性物質, 日本醸造協会誌, **87**, 922-926
 - 38) 尾関健二, 桐藤万裕, 筒井健司, 若泉賢功, 尾関清子 (2008), 米麴の糖化および発酵による抗酸化能の付与, 食品・臨床栄養, **4**, 19-26
 - 39) Saigusza N. and Ohba R. (2007), Effects of *koji* production and saccharification time on the antioxidant activity of *amazake*, *Food Sci. Technol. Res.*, **13**, 162-165
 - 40) 工藤康文, 松田茂樹 (2000), サツマイモヨーグルトの抗酸化能に対する乳酸菌の影響, 食科工, **47**, 727-730
 - 41) 工藤康文, 松田茂樹, 井越敬司, 沖智之 (2001), *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* IFO 13953 で発酵させた発酵乳から分離された抗酸化ペプチド, 食科工, **48**, 44-50
 - 42) Meei-Yn Lin and Chyuan-Liang Yen (1999), Antioxidative ability of lactic acid bacteria, *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 1460-1466
 - 43) 内田迪夫 (1989), パンの品質評価, 調理科学, **22**, 102-107
 - 44) 安藤正康 (2001), パン生地における微生物の働き (22) パン酵母を中心に, パン, **48**(9), 42-44
 - 45) 大久保要夫 (1986), パン・菓子と乳製品 (発酵乳), 食品と科学, 増刊号 (2), 58-64

(平成 22 年 10 月 13 日受付, 平成 23 年 1 月 24 日受理)

和文抄録

スペルト小麦粉にレーズン、麴、ヨーグルトより得た発酵液を添加したドウ及びパンを作り、物性面、機能面、嗜好面から検討した。

・麴発酵液添加ドウは〔ストレート法〕よりも〔中種法〕で調製した方が、グルテンの伸展性が低下し、パンの膨化性が悪く、破断エネルギーが高値を示した。

・ヨーグルト発酵液添加ドウは〔ストレート法〕よりも〔中種法〕で調製した方がパンの比容積は上昇し、破断エネルギーは低値を示した。

・走査型電子顕微鏡観察よりパン内部の気泡状態は物性に影響を及ぼすことが明らかとなった。

・ドライイーストパンよりもこれら発酵液添加パンの抗酸化性は高く、官能評価でもレーズン、ヨーグルト発酵液添加パンの嗜好性は高かったことより、パンに食品素材由来の発酵液を添加することの有用性が認められた。