

大豆の栄養と機能性

第3章 大豆加工食品の機能性

6 テンペ

太田美穂¹⁾，新宅賀洋²⁾，今野 宏³⁾

1) 相愛大学 人間発達学部 発達栄養学科 教授

2) 甲子園短期大学 生活環境学科 教授

3) (株)秋田今野商店 代表取締役社長

6 テンペ

太田美穂*¹, 新宅賀洋*², 今野 宏*³

6.1 はじめに

テンペ (Tempe) はテンペ菌 (*Rhizopus*属糸状菌) を用いて大豆を無塩発酵した加工食品で、日本の納豆やネパールのキネマが同じ無塩発酵大豆食品として知られている。インドネシアの伝統食品であるテンペは数百年の歴史を有し、現在も安価で良質のタンパク質源として人々の食生活に欠かせない日常食品の一つである。テンペに関する研究は、1950年代にFAOが世界のタンパク質資源の一つとして注目したことがきっかけとなって開始され、その後、機能性成分の研究が進められている¹⁻⁴⁾。2000年から日本標準成分表 (現在は5訂増補版)⁵⁾にテンペの栄養価が掲載されている。さらに、日本独自の商品 (黒豆テンペ、おからテンペ、ハトムギテンペ、テンペ味噌など) が開発されている。

6.2 テンペの製造

6.2.1 テンペ菌について

優良なテンペを作るのに用いられている菌は*Rhizopus*属菌である。*Rhizopus*の属名は、rihiza (根) およびpus (足) に由来している。菌毛があたかも「くもの巣様」であるので「くもの巣カビ」と呼ばれている。*Rhizopus*属の菌のコロニーの生育は速く、ほふく枝、着色した仮根と胞子のう柄を形成する。胞子のうは多数の胞子を内蔵し、大部分が大型で最初は白色、のち熟成とともに黒褐色となる。柱軸は褐色、球形～亜球形、アポフィシスが存在する。胞子は短楕円形、通常

は不規則な角型で、しばしば筋がある。大部分の種はヘテロタリックである (図1)⁶⁾。優良なテンペからは*R. oligosporus*が分離され、わずかに*R. oryzae*も単離される。

R. oligosporus NRRL 2710株はアメリカをはじめ、広くテンペ製造に用いられている。この株の特徴は37~38℃、湿度75~85%でよく増殖し、胞子の着生が少なく、酸素要求が一般のカビに比べて少ないため大量生産が可能であること、タンパク質、脂肪分解酵素が強いこと、強い抗酸化物質を生成すること、カビ毒を生産しないこと、



図1 *Rhizopus oligosporus*の胞子のうおよび柱軸・アポフィシス・胞子のう胞子

* 1 Miho Ohta 相愛大学 人間発達学部 発達栄養学科 教授

* 2 Kayo Shintaku 甲子園短期大学 生活環境学科 教授

* 3 Hiroshi Konno (株)秋田今野商店 代表取締役社長

風味が良いことなどがあげられている。実際インドネシアでは、キャッサバデンプンを一口まんじゅう様に固めたラギーと呼ばれるスターターが一般的に使用されており、小規模工場ではこのラギーを使用しているところが多い。またウサルと呼ばれる2枚のハイビスカスの葉の間にテンペの一部を並べ胞子が形成されるまで培養し、天日乾燥したものもまだ使用されている。ハイビスカスの葉が最良であるのは、葉が大きくウサルを作るにあたってテンペを包みやすい、保温、保湿がしやすいということに加え、ハイビスカスの緑葉内に特異的に*R. oligosporus*が内生菌として存在するからである。

6.2.2 テンペの製造法

テンペの基本的な製造法は、原料大豆の洗浄 → 浸漬 → 加熱 → 脱皮 → 脱水・放冷 → スターター（種菌）の混合 → 包装 → 発酵（約20~25 hr）となっている。インドネシアでは、大豆の浸漬中に乳酸菌が生育し、浸出液のPHが4.3~5.3まで低下するので発酵中の細菌の増殖が抑制され、テンペ菌のみが繁殖し大豆が菌糸で被われ白いブロック状のテンペができ上がる。工場での生産は人為的に乳酸や酢酸などを添加し、PH5以下に保つようにしている。テンペ製造における包装材料（発酵容器）は、バナナの葉が伝統的に用いられてきたが現在ではポリエチレン製の袋・シートも使用される。詳細については成書など^{1~4,7)}を参照されたい。

6.3 発酵中の成分変化

6.3.1 たんぱく質・脂質

テンペ菌はプロテアーゼ活性やリパーゼ活性が強い。発酵により、水溶性成分、水溶性窒素、遊離脂肪酸が増加する。発酵条件で異なるが遊離度の多いアミノ酸にはアラニンやプロリン、含量の多い遊離アミノ酸はグルタミン酸、アスパラギン酸、アラニンなどがある。中性脂肪は20~30%が遊離脂肪酸に分解される^{3,8,9)}。α-リノレン酸はテンペ菌により約40%が消費され、さらにリノール酸からγ-リノレン酸が0.1~0.3%生成される¹⁰⁾。リノール酸は発酵中のエネルギーとして消費されると考えられている。

6.3.2 ビタミン類

ビタミンB群（ビタミンB₆やナイアシン、パントテン酸、葉酸など）が大幅に増加する。インドネシアでは主要菌のみならず複数の菌株や細菌が混在したRAGI（ラギー）と呼ばれるテンペ菌（混合スターター）が用いられており、純粋テンペ菌では生成しないビタミンB₁₂（*Klebsiella Pneumoniae*の共生による）^{11,12)}が生成される。

6.3.3 食物繊維

テンペは発酵により食物繊維総量が増加する。田口、川端ら¹³⁾は、大豆中の不溶性多糖が、テンペ菌の酵素により分解された量より生産された菌体不溶性多糖の量が上回ったと報告している。

6.3.4 イソフラボン

Gyogy, 村田ら^{14,15)}は、テンペのみに存在する抗酸化物質を分離・結晶化し、その構造を決定し“Factor2”（6,7,4'-Trihydroxy isoflavone）（図2）と命名した。一方、原料大豆に含まれる配

大豆の栄養と機能性

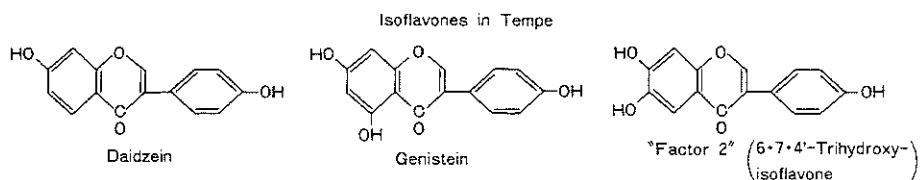


図2 テンペに含まれる抗酸化性物質（イソフラボン）

糖体イソフラボンは発酵中にアグリコン型へ変換されることが知られている^{16,17)}。

6.3.5 ギャバ（GABA）

GABAは原料大豆では全く検出されなかったが*R. oligo*で発酵させたテンペ（数mg/100gテンペ）よりも、RAGIで発酵させた方が数十倍（40mg/100gテンペ）含量は高くなっていた¹⁸⁾。青木ら¹⁹⁾は嫌氣的な培養条件を組み込むことによって高GABAテンペ（1000mg/100g粉末）を製造している。

6.4 テンペの機能性

6.4.1 テンペの一次機能（栄養特性）

(1) 栄養成分の特徴

表1は、原料となる煮大豆や動物性タンパク質源となる食品とテンペの栄養価を比較したものである。テンペは、納豆のねばねばや臭いがなく、淡白な味でほのかな香り（栗香）を有し食べやすいので、納豆の代替としても有用である。

(2) 食生活での活用（文献20）を改変）

ポイント1：ミネラル供給が豊富、生物学的利用度が高まる

動物性タンパク質源である肉類と比較した場合、テンペは脂質含量が低いのでエネルギー摂取量（kcal）を抑えながら、生理機能の調節を行うミネラル（鉄、カルシウム、マグネシウム）を摂取することができる。一方、テンペはフィターゼ活性が高く、発酵中にフィチン酸の半分ほどが分解され、ミネラルの生物学的利用が高まるとされる³⁾。

表1 テンペと他の食品の栄養価の比較（5訂増補標準食品成分表より抜粋：可食部100gあたり）

	エネルギー (kcal)	タンパク質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	Na (mg)	K (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	P (mg)	Fe (mg)	VB ₁ (mg)	VB ₂ (mg)	ナイアシン (mg)	VB ₆ (mg)	VB ₁₂ (μg)	葉酸 (μg)	パントテン酸 (mg)	食物繊維 (g)	Chol* (mg)
大豆国産ゆで	180	16	9	9.7	1	570	70	110	190	2	0.22	0.09	0.5	0.11	0	39	0.29	7	0
テンペ	202	15.8	9	15.4	1	730	70	95	250	2.4	0.07	0.09	2.4	0.23	0	49	1.08	10.2	0
糸引き納豆	200	16.5	10	12.1	2	660	90	100	190	3.3	0.07	0.56	1.1	0.24	(0)	120	3.6	6.7	Tr
和牛**	316	16.5	26.1	0.2	49	240	3	16	140	2.4	0.07	0.21	3.8	0.21	1.2	7	1.07	(0)	84
豚肉***	291	18.3	22.6	0.2	39	310	3	20	170	0.3	0.77	0.13	7.1	0.35	0.3	1	0.66	(0)	62

*Chol：コレステロール、**和牛：かたロース・赤肉-生、***豚肉：中型種・ロース・脂身つき-生

ポイント2：現代人の食事傾向（高脂肪・低繊維食）を改善する食物繊維を多く含む

現在人の食生活は高脂肪・低繊維食の傾向があり、問題であるが、テンペは原料大豆、納豆より食物繊維含量が高く、テンペを日常的に摂取することは低脂肪・高食物繊維食となり、便秘傾向の改善（後述）や生活習慣病予防に役立つと考えられる。

ポイント3：コレステロールやNaを含まないヘルシーな食材である

テンペはコレステロールやナトリウムを含まないので、生活習慣病の中でも脂質異常症、動脈硬化症や高血圧の発症予防・改善に役立つことが期待される。またテンペにはKが多く含まれており、尿中へのNa排泄を促して減塩効果を高めることが期待できる。

ポイント4：妊娠を計画する女性に必要な葉酸の供給源となる

葉酸は、妊娠を計画している女性にとって不足すると胎児の発育に深刻な影響（胎児の神経管閉鎖障害）を及ぼすことが知られており、「日本人の食事摂取基準2010」においてもサプリメントでもいいので葉酸を摂取するように勧められている²¹⁾。テンペは発酵によって葉酸含量が高くなる^{2,16)}ので、サプリメントに頼らずに供給源として利用できる。

6.4.2 テンペの二次機能（感覚機能）

(1) おいしさの評価（物性）

食品のおいしさには、化学的要因（基本味、香りほか）、物理的要因（テクスチャー、温度、音他）など多くの要素が関わっている。それら以外に、食べる人の心理的要因なども満たしたときに人はおいしさを感じる²²⁾。物理的要因はおいしさへの影響度が強い²³⁾といわれており、特別用途食品の高齢者用には、基準として硬さなど食品の物性を設けている²⁴⁾ことから、人は口腔内

の感覚を生かしておいしさを判断していると考えられる。

テンペは大豆が菌糸で固められている固形状の食品であり、テンペのおいしさの指標の一つとして硬さが挙げられる。クリープメータ（株式会社山電製）で、テンペを試料として破断強度試験（試料を歯で噛み始めてから噛み終わるまでを測定）を実施した。歯で噛んだときと似た波形が表されるブランジャーを使用し、破断点（表面を噛み切る）、もろさ点（噛み切った瞬間の歯ごたえ）を測定した（図3）。

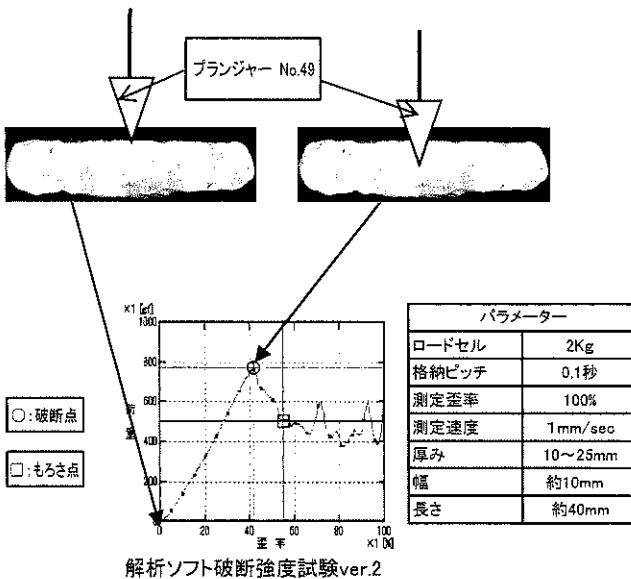


図3 破断強度試験

テンペ菌 (*Rhizopus oligosporus*) を用いたテンペの発酵24, 30, 48時間における破断強度試験結果を図4に示す²⁵⁾。発酵時間が長くなるほど破断点までの波形の傾きが急なため表面が硬く、破断点ともろさ点との差が大きいため歯ごたえがあり、もろさ点後の波形の上下から、テンペ内部に硬い部分とそうでない部分があることを示している。テンペを食する場合には発酵24~30時間が適している。

(2) テンペの調理性

テンペはテンペ菌の菌糸で大豆が固められているため、角切り、数mmの薄切りなどの切り方ができ、料理に適した大きさに切りやすい(表2)。また、テンペを乾燥し粉末にできるので、麺や白玉団子に練り込んだり小麦粉の一部を置き換えたりなどの利用が広がる。

生のテンペと170~180℃の油で揚げたものの破断強度試験を実施した(図5)。揚げたものが破断点ともろさ点の差が大きくサクとした食感となり、生については、破断力は揚げたテンペの約0.6倍で破断点ともろさ点との差が小さく柔らかかった。

高齢者に生と揚げたテンペを試食してもらったが、揚げたテンペを好んだ²⁶⁾ことから、揚げたテンペは硬くなりやすく食感が

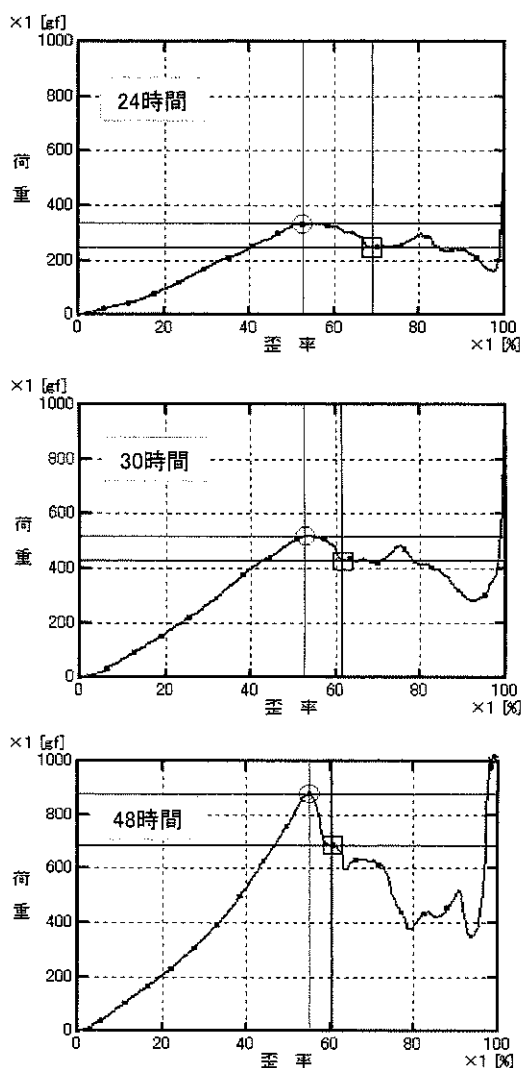


図4 テンペの発酵時間による破断強度試験

表2 テンペの切り方

もとのテンペ	2~3 cmの幅に切る	薄切り	角切り	みじん切り
	素揚げ, かりんとう	サンドイッチ, ピザ	酢豚, ミネストローネ	ハンバーグ, 焼き菓子

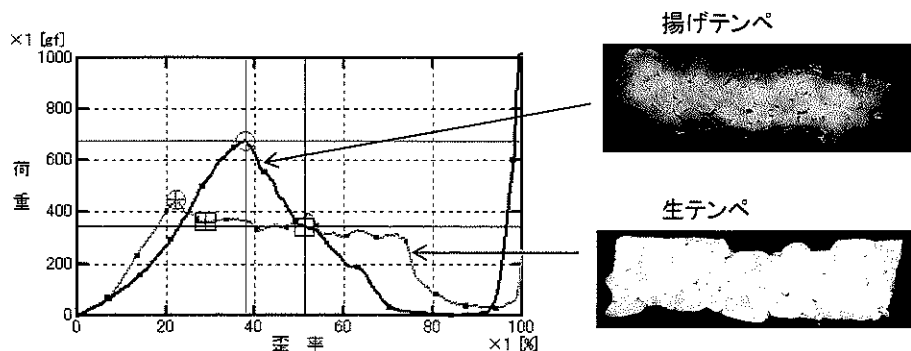


図5 生および揚げたテンペの破断強度試験

良くなる。揚げたテンペを豚肉の代わりに用いた酢豚など、高齢者には無理なく噛むことができ食べにくさの解消になる。衣をつけずに揚げられ、揚げても硬くなりにくいので食べやすく、多様な切り方ができ、いろいろな調理に応用できる。さらにテンペは無塩で淡泊な味であるため、利用範囲が広がり高齢者向けに有用な食材である。

6.4.3 テンペの三次機能（生体調節機能）

これまでに報告されているテンペの機能性成分と期待される効果を表3にまとめた。

次にテンペの抗酸化性ならびに整腸作用について述べる。

(1) テンペの抗酸化性

テンペ油は強い抗酸化能を有するが、さらにテンペ粉末にしても酸化されにくい特徴を有する。テンペから抽出した油（ヘキサン：アルコール＝2：1で抽出）は6か月保存した後も過酸化物質が低く、さらに植物性油にテンペ油を添加した場合にもその抗酸化性が保持される（図6）^{2,15)}。

太田³⁶⁾はテンペが粉末にしても強い抗酸化能を示すことを報告している。3か月保存したテン

表3 テンペの機能性成分と期待される効果¹⁻⁴⁾

機能性成分	期待される効果*
インフラボン	吸収されやすいアグリコンタイプが増加。骨粗鬆症の予防（更年期の女性に有効）、抗酸化作用、脂質の過酸化を防止、活性酸素の除去（SOD活性）
不飽和脂肪酸	必須脂肪酸であるリノール酸、リノレン酸含量が高い、生活習慣病の予防（動脈硬化性疾患）
食物繊維	生活習慣病の予防 ^{27,28)} 、血清コレステロール低下作用、糖質代謝改善、整腸作用
植物性ステロール	シトステロール ²⁹⁾ 、血清コレステロール低下
γアミノ酪酸（GABA）	血流改善効果（血圧上昇抑制、血圧降下） ³⁰⁾
その他	抗変異原性 ³¹⁾ 、納豆キナーゼ様作用（血栓溶解活性） ³²⁾ 、抗溶血作用 ³³⁾ 、抗菌性など、抗酸化作用 ^{34,35)}

*関連する文献の一部を示した。

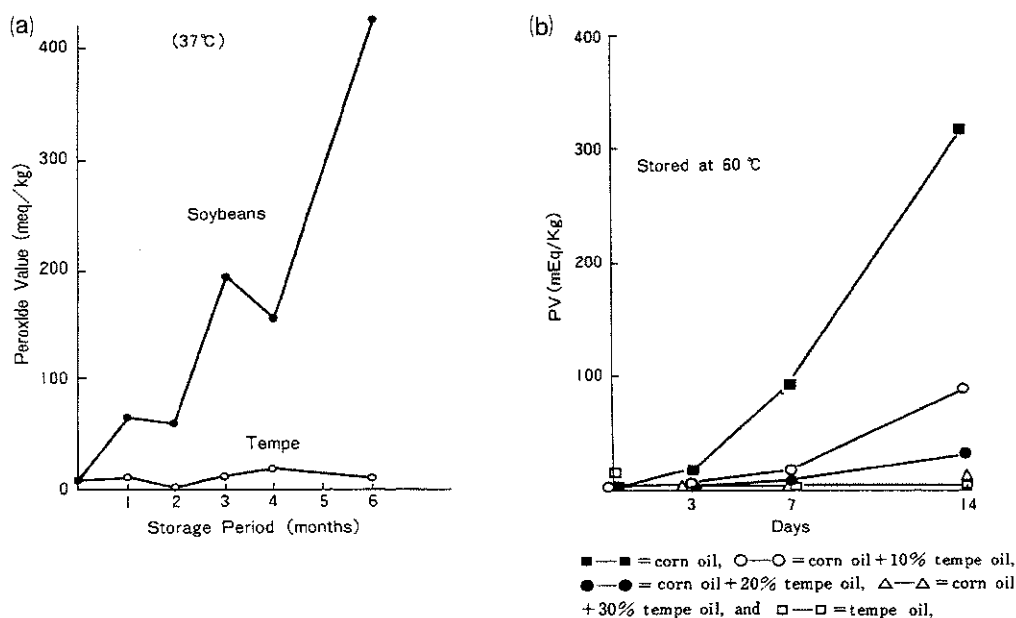


図6 (a)テンペ油と未発酵大豆油の貯蔵中の過酸化価の比較、
(b)コーン油—テンペ油の混合割合による過酸化価の比較

表4 テンペと大豆発酵食品の油脂の過酸化価

食品名	過酸化価 (ミリ当量/kg)	
テンペ粉末	1.0 (入手時)	1.3 (3か月後)
蒸煮大豆粉末	1.1 (製造時)	71.2 (3か月後)
納豆粉末	1.1 (製造時)	78.3 (3か月後)
乾燥味噌	2.9 (市販品)	35~40 (3か月後) ²⁵⁾
生味噌	0.7 (市販品)	1.0 (15か月後) ²⁵⁾

ペ粉末と大豆発酵食品の過酸化価を比較した(表4)。蒸煮大豆や納豆粉末、味噌粉末が酸化されやすいのに対し、テンペ粉末は3か月後も過酸化価が低く安定であった。同じ大豆発酵食品であるにもかかわらず粉末にした際にはその抗酸化能に違いが認められる点は興味深い。

(2) テンペの整腸作用^{37,38)}

1) ヒトの便秘改善効果

テンペは便秘の改善などに効果があると言われるが、その効果を科学的根拠に基づき検証した研究報告は見当たらない。テンペは高食物繊維食品であると同時にテンペ菌 (*R. oligosporus*) で発酵するのでプロバイオテックスならびにプレバイオテックスによる整腸作用や健康状態の改善が期待できる。テンペの経口摂取が便秘改善に役立つことをヒト試験により確かめたのでその概要を

第3章 大豆加工食品の機能性

紹介する。研究のアウトラインは表5のとおりである。

1日50gのテンペを4週間継続して摂取してもらったところ、テンペの摂取前に比べて4週間摂取後には排便回数、排便日数、排便量が有意に増加し ($p < 0.01$, 図7)、さらに、排便回数は摂取期間終了後(4週間)も効果が認められた。また、有意差は認められなかったものの、便の形状、色、硬さにおいてもテンペ摂取後の方がより排便状況を改善する傾向が認められた。これらの結果から、摂取したテンペがヒトの腸内環境を整える作用を発揮し、便通改善効果につながったと考えられる。今後さらにテンペの腸内環境への影響を調べ、プロバイオテックス、プレビオテックスとしての機能性評価を行いたい。

表5 テンペヒト試験研究のアウトライン

対象	若年健常女性 25名 研究の趣旨に書面で同意したもの
摂取	① 摂取量と方法 大豆テンペ(ブランチング処理)を1日50g自由に摂取してもらう ② 摂取期間 継続して4週間摂取する
調査・分析の内容	1) テンペの一般成分分析 2) 食・健康状況アンケート 3) 排便に関する調査(排便日誌) 4) 食事歴調査(BDHQ法) 5) 生化学検査(血液)

排便状況の観察	(平均±標準偏差)		
	前・観察期 (摂取前)	ヒト試験 (摂取期)	後・観察期 (摂取終了後)
日数/週	4.12 ± 1.73	5.24 a) ± 1.26	4.85 ± 1.59
回数/週	4.70 ± 2.08	6.59 b) ± 2.56	5.99 c) ± 2.74
量*/週	8.52 ± 5.81	11.51 d) ± 5.96	10.89 ± 7.94

a)b)d) 摂取前に対して有意差あり ** $p < 0.01$ c) 摂取前に対して有意差あり * $p < 0.05$

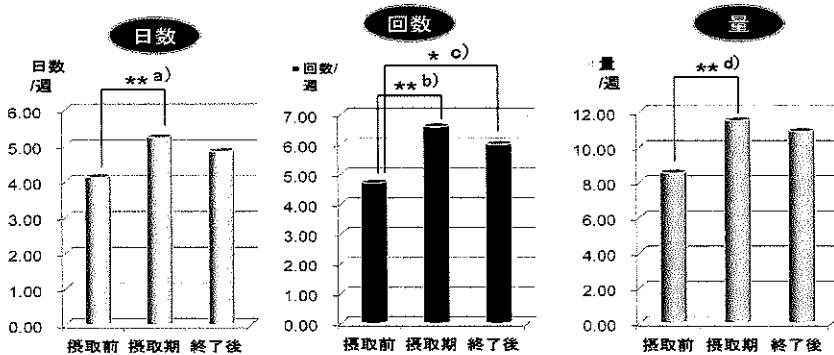


図7 テンペ摂取前後の排便状況の比較(排便日数・回数・量)

2) テンペの摂取と活用法

現代の若年女性にさらに1日あたり4~6g食物繊維を摂取させると便重量が有意に増加し便通改善が認められると言われている³⁹⁾。今回のテンペ摂取量50gは5gの食物繊維が含まれており、まさに便通改善に見合う量である。テンペの50gは無理なく食べられる量であり、あまり複雑な調理をしなくてもレンジやトースターで温めるだけでも手軽に食べられる。若年女性のみならず、妊婦や高齢者にも便秘(傾向)は多く、便秘(傾向)が続けばストレスも高くなりQOLの問題としても看過ごせない。妊婦の便秘を解消する安全な食材として、さらに便秘予防目的で下剤の使用が多い施設利用高齢者にとっては同時にたんぱく質源としても有用である。一方、血圧の高い人は、排便時にいきむことが血圧を一気に押し上げることにつながる。そのため便秘は疾病そのものとは関係がないが、その便秘(傾向)にならないように日頃の食生活に注意することが重要である。食物繊維の多いテンペはこれらの人にも適し、さらに無塩(Na)でカリウム量が多い点も食材として有用である。

6.5 さいごに

無塩発酵大豆食品テンペは、淡白な味で様々な調理加工が可能な食材であり、栄養補給のためにも、健康状態やQOLの改善にもつながる魅力的な食材である。しかし、日本では、知名度が低くその活用は十分とは言えない。さらにテンペの機能性研究が進み健康の維持増進、生活習慣病予防に役立つことを願うものである。

文 献

- 1) M. Shurtleff, A. Aoyagi, *The book of Tempeh* (Harper & Low) (1979)
- 2) 相田浩, 上田誠之助, 村田希久, 渡辺忠雄編, *アジアの無塩発酵大豆食品*, Step社 (1986)
- 3) *The Complete Handbook of Tempe* (ed. by J. Agranoff), American Soybean Association (1999)
- 4) 岡田憲幸, *日本醸造協会雑誌*, 27, 65-93 (1988)
- 5) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告 (2005五訂増補日本食品標準成分表)
- 6) 今野宏, *日本テンペ研究会誌*, 7, p.102-111 (2007)
- 7) 東和男編, *発酵と醸造III*, 光琳, 121-126 (2004)
- 8) Sorenson, W. G., Hesseltine, C. W., *Mycologia*, 58, 681-689 (1966)
- 9) 松本伊左尾, 今井誠一, *日本食品工業学会誌*, 37, 2 (1990)
- 10) 竜口一恵ほか, *日本テンペ研究会誌*, 1, 1-5 (1996)
- 11) D. Keith, H. Steinkraus, *Proceedings of the Asian Symposium on Non-Salted Soybean Fermentation*, Tukuba (eds. by Aida *et al.*, STEP), 205-208 (1985)

第3章 大豆加工食品の機能性

- 12) N. Okada *et al.*, *Rept. Natl. Food Res. Inst.*, **46**, 15-20 (1985)
- 13) 田口邦子, 川端信, 大槻耕三, 田中敬子, 日本栄養・食糧学会誌, **39**, 203-208 (1986)
- 14) P. Gyogy, M. Murata, H. Ikehata, *Nature*, **203**, 870 (1964)
- 15) K. Murata, Proceedings of the Asian Symposium on Non-Salted Soybean Fermentation Tukuba (eds. by Aida *et al.*, STEP), 186-198 (1985)
- 16) 家森幸男ら編, 大豆イソフラボン, 幸書房 (2001)
- 17) 太田美穂, 新宅賀洋, 合田麗奈, 相愛大学人間発達学研究, **1** (2010)
- 18) 太田美穂, 新宅賀洋, 野崎信行, 相愛大学研究論集, **23**, 97-110 (2007)
- 19) H. Aoki *et al.*, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**, 5 (2003)
- 20) 日本テンペ研究会編, テンペの食べ方ノート, 日本テンペ研究会 (2013)
- 21) 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書, 日本人の食事摂取基準 (2010年版)
- 22) 久木久美子, 新田陽子, 喜多野宣子, 調理学, 化学同人 (2011)
- 23) 松本伸子, 松元文子, 食べ物の味: その評価に関わる要因, 調理科学, **10**, 97-101 (1977)
- 24) 厚生省生活衛生局新開発食品保健対策室, 高齢者用食品の表示許可基準の策定について (1994)
- 25) 新宅賀洋, 太田美穂, 甲子園短期大学紀要, **24**, 63-66 (2005)
- 26) 新宅賀洋, 野崎信行, 太田美穂, 日本調理科学会平成17年度大会要旨集 (2005)
- 27) 松浦栄治, 日本テンペ研究会誌, **7** (2007)
- 28) 岡本基, 日本テンペ研究会誌, **9**, 20-25 (2012)
- 29) S. Kiriakids, S. Stathi, H. C. Jha, R. Hartmann, H. Egge, *J. Clin. Biochem. Nutri.*, **22**, 3 (1997)
- 30) 松岡麻男, 古場一哲, 活水論文集, **48**, 87-101 (2005)
- 31) 松岡麻男, 古場一哲, 日本テンペ研究会誌, **7**, 21-22 (2007)
- 32) 須見洋行, 温故知新, **48** (2011)
- 33) 福山美穂, 平井和子, 村田希久, 生化学, **47**, 771 (1975)
- 34) H. Ezaki, H. Onozaki, S. kawakishi, T. Osawa, *J. Agric. Food. Chem.*, **44**, 3 (1996)
- 35) 松尾真砂子, 日本テンペ研究会誌, **8**, 29-33 (2011)
- 36) 太田輝夫, 食料研究所報告, **18**, 67 (1964)
- 37) 太田美穂, 新宅賀洋, 遊作誠, 細井知弘, 今野宏, 早川文子, 伊藤壽記, 東城博雅, 第59回日本栄養改善学会学術総会講演要旨集 (2012)
- 38) 太田美穂ら, 日本テンペ研究会誌, **9** (2012)
- 39) 日本食物繊維学会監修, 食物繊維—基礎と応用— (第3版), 第一出版 (2008)