

加熱・ペースト化したキノアテンペの 食パン素材としての利用

松尾 眞砂子

(岐阜女子大学家政学部)

原稿受付平成 18 年 7 月 25 日；原稿受理平成 18 年 12 月 2 日

Utilization of Cooked and Pasted Quinoa-Tempeh as an Ingredient of Bread

Masako MATSUO

Faculty of Home Science, Gifu Women's University, Gifu 501-2592

Quinoa-tempeh (the quinoa fermented with *Rhizopus oligosporus*, Q-tempeh) is a typical functional food, but its use has been limited for its strong enzyme activities. To expand the use of quinoa-tempeh as a high functional foodstuff, breads were prepared using wheat flour partly substituted with quinoa powder and Q-tempeh paste (heated and pasted Q-tempeh) inactivated enzymes of *R. oligosporus*, and their suitability of quinoa and Q-tempeh as an ingredient of bread were compared. The bread made from 5% substitution of quinoa for wheat flour increased hardness, and descent preferable ranking on taste, flavor, texture and overall of it. However, no significant differences were found between the control bread and the bread made from 5% substitution of Q-tempeh for wheat flour on the hardness and cohesiveness, and as well as in the preferable ranking on taste, flavor, texture and overall. Furthermore, Q-tempeh retarded hardening of bread during storage at low temperature.

(Received July 25, 2006; Accepted in revised form December 2, 2006)

Keywords: quinoa キノア, quinoa-tempeh キノアテンペ, bread 食パン, dietary fiber 食物繊維.

1. 緒 言

キノア (*Chenopodium quinoa*) はアンデス山地の寒冷乾燥地帯で栽培されている疑穀類で、数千年も前からアンデス山地の人々の主食にされてきた。キノアはタンパク質を 13%、脂肪を 6% 含んでおり、その含量は米や小麦より多い。また、鉄¹⁾や α -トコフェロール²⁾をそれぞれ小麦粉の 10 倍量と 4 倍量に相当する 6.6 mg と 1.1 g 含んでおり、栄養的価値が優れている。しかし、キノアはアンデス山地以外ではほとんど利用されておらず、食品としての研究は極めて少ない。種子粒径は 2~3 mm と細かく、黍に似ているが、植物の分類上、米、小麦、蕎麦、黍とは異なるアカザ科に属し³⁾、胚芽が胚乳の表面を取り囲むように分布している。最近、米国航空宇宙局 (NASA)⁴⁾ がキノアのタンパク質の栄養価が高いことに注目し、宇宙食の一部に採用したことから注目され、各地で食品・栄養

学的研究が始まった。キノアは植物分類学上穀物に属さないことから、穀物アレルギー患者の回転食の一つとしての活用が期待されている⁵⁾。利用法としては、粒状のまま米と混合炊飯したり、粉末にして小麦粉に混入したり、焙煎・膨化 (パフ) して朝食用シリアルにされている⁶⁾。

現在、高齢化社会の健康の維持・増進のため、機能性豊かな食品を開発する必要性が高まっている。一般に、発酵食品はワイン⁷⁾、納豆⁸⁾、大豆テンペ⁹⁾、味噌¹⁰⁾ のように抗酸化性等の機能性が高い。キノアも発酵させれば、機能性がさらに増大する可能性がある。

著者は、キノアをテンペ菌 (*Rhizopus oligosporus*) で発酵させてキノアテンペ (Q-テンペ) を調製し、Q-テンペは生体内抗酸化作用¹¹⁾ やコレステロール低下作用¹²⁾ がキノアより強いことを発見した。ついで、Q-テンペを機能性の高い食品素材としての具体活用例を

開発することにした。しかし、Q-テンペにはテンペ菌が生きており、時間の経過とともに品質が変化する。Q-テンペの品質を保持するため、加熱乾燥すると発酵が停止し、軽量化と輸送・貯蔵性は向上するが、組織が収縮し、加水しても組織が完全に復元せず、保水力が低くなった（松尾眞砂子：未発表データ）。前報¹³⁾ではQ-テンペの凍結乾燥粉末を用いてビスケットを調製し、Q-テンペはビスケット素材として適性があり、鉄と α -トコフェロールの補給素材としても有効であることを報告した。Q-テンペの凍結乾燥粉末はテンペ菌の酵素が活性状態で存在し、とくにプロテアーゼやキシラーゼ活性が強い¹⁴⁾。Q-テンペの凍結乾燥粉末を食パン素材として利用するとグルテンの形成を阻害した（松尾眞砂子：未発表データ）。パン生地の発酵中にテンペ菌のプロテアーゼが小麦のタンパク質を分解したためと思われる。本報告では、加熱し、酵素類を熱失活させ、磨砕してペースト状にしたQ-テンペペーストを用い、小麦粉の一部を代替した食パンを調製し、Q-テンペペーストの食パン素材としての利用を食パンの物性、食味特性および保存性から検討した。

2. 実験方法

(1) 試料

1) キノア粉末

大日本明治製糖株式会社（東京）より分与されたキノアを充分水洗し、天日乾燥した後、ウィレーの粉碎機（WM-2、株式会社藤原製作所）とミルサー（IFM 300 DG、岩谷産業株式会社）で連続して粉碎し、65メッシュの篩にかけて粒度を揃えた。

2) Q-テンペ¹⁵⁾

水洗したキノア種子に水を加えて水分を64%に調整し、121℃で5分間オートクレーブ処理した後、テンペ菌（*R. oligosporus* NRRL 2710、米国北方地域研究センター、発酵研究所より購入）の胞子を含むスターターと混合し、1.0 mm 間隔で直径2.5 mmの孔あきビニール袋に詰め、厚みを15 mmに成型し、36℃で25時間培養した。

3) Q-テンペペースト

発酵終了後のQ-テンペを手早く5~7 mm角に切り、121℃で2~3分オートクレーブ処理して酵素類を失活させた後、既述のミルサーでテンペ菌の菌糸を細かく切断し、裏漉（50メッシュ）した。

(2) 食パンの調製法と保存法

1) 対照食パン

強力粉（150 g、日清カメラ、日清製粉株式会社）、ドライイースト（日清スーパーカメラ、日清フーズ株式会社）、砂糖、蒸留水（207 ml）をレディースミキサー（KN-200、大正電機株式会社）のポットに入れ、低速で10分間混捏した。つぎに、強力粉（150 g）、塩（4.5 g）、ショートニング（6 g、雪印ショートニング、甲南油脂株式会社）を加え、低速でさらに11分間混捏した。これを丸め、ショートニングを塗ったボールに入れ、30℃のインキュベーター（BITEC-300、島津理化学機株式会社）で30分間保温した（一次発酵）。一次発酵した生地をレディースミキサーのポットに入れ、低速で5秒間攪拌してガス抜きをした後、包丁で2等分し、丸めて発泡スチロール製の箱に入れ、20分間静置した（ベンチタイム）。この生地を麺棒で平らに伸ばし、上下に折り、向きを変えて伸ばし、端からくるくると巻き、巻き終わりを指先でしっかり閉じ、閉じ目を下にして食パンの型に2つ並べて入れた。これを38℃のインキュベーター内で40分間保温した（二次発酵）。一次発酵と二次発酵は、インキュベーター内にぬるま湯を入れたバットを置き、型に布巾をかけて生地の乾燥を防いだ。次に、170℃に予熱した電気式コンベクションオーブン（ADVANTEC FC-42D、アドバンテック東洋株式会社）で10分間焙焼し、さらに200℃で25分間焙焼した。焼き始めから15分の時点でオーブン内に少量の水をスプレーし、生地表面の乾燥を防いだ。

2) キノア代替食パン

対照食パンの調製法に準じた。ただし、2回目に加える強力粉を15 g、30 g、45 gずつ減らし、キノア粉末（65メッシュ）で代替した。生地の硬さを対照食パンと同程度になるよう加水量で調節した。

3) Q-テンペ代替食パン

対照食パンの調製法に準じた。ただし、2回目に加える強力粉を15 g、30 g、45 gずつ減らし、Q-テンペペースト41.5 g、83.0 g、124.5 gで代替し、加水量をそれぞれ180.5 ml、154 ml、127.5 mlに変更した。また、Q-テンペペーストは生地と混じり難いので、Q-テンペペーストを除く2回目の材料をミキサーで5分間混捏した。その後、Q-テンペペーストを添加し、生地が均一になるまで手で捏ねた。以後、Q-テンペペーストを単にQ-テンペと記述する。各種食パンの原料配合をTable 1に示す。

4) 食パンの冷蔵

焙焼直後の食パンを室温まで放冷し、ラップで包んでポリ袋に入れ、乾燥を防ぎながら4℃で3日間保存してデンプンの老化を促進した。

5) 物性測定用試料

焙焼後45分間室温で冷却した食パンと4℃で冷蔵した食パンを外側から2cm、底面から3cm内部を20×20×120mmのスティック状に4本切り、15mmの厚みに32個スライスした。

(3) 測定法

1) 体積

葉種置換法で測定した。

2) 硬さと凝集性

試料を試料台にのせ、クリープメーター (TPU-2S, 山電株式会社) で10個宛測定した。測定条件は径40mmの円形プランジャーを用い、圧縮率60%, クリアランス6mm, 圧縮スピード2.5mm/sとした。

3) 色調

色差計 (ND-1000, 日本電色工業株式会社) を用い、 $L^* a^* b^*$ (JIS-Z-8701) により色調を測定した。

これらの項目は、同一条件で3回調製した食パンで毎回ほぼ同傾向の測定値が得られた。本報告では3回目調製品の10検体当たりのデータを示した。

(4) 官能検査

女子大生27名をパネリストにして、食パンのクラムの香り、舌触り、味、総合評価に関して各自の好みの順位を回答させた。

(5) 統計処理法

官能検査によって得られたデータは合計点をNewell & MacFarlaneの多重比較検定法¹⁵⁾で有意差を検定した。その他のデータはSPSS 6.1を使用してTurkeyの多重検定法で検定した。

3. 実験結果および考察

(1) 物性に及ぼす影響

キノアやQ-テンペで小麦粉の一部を代替した食パンを調製し、その物性と嗜好性を対照食パン (小麦粉100%) と比較した (Table 2)。キノアで小麦粉の5~15%代替した食パンは対照食パンより硬かったが、Q-テンペで小麦粉の10%を代替した食パンは容積、

Table 1. Composition of ingredients of breads made from partially substitution of quinoa and Q-tempeh for wheat flour

| Ingredient | Control | Substitution stuff (%) | | | | | |
|--------------------------|---------|------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| | | Quinoa 5 | Quinoa 10 | Quinoa 15 | Q-tempeh 5 | Q-tempeh 10 | Q-tempeh 15 |
| Hard flour (g) | 300.0 | 285.0 | 270.0 | 255.0 | 285.0 | 270.0 | 255.0 |
| Quinoa powder (g) | 0 | 15.0 | 30.0 | 45.0 | 0 | 0 | 0 |
| Q-tempeh paste (g) | 0 | 0 | 0 | 0 | 41.5 | 83.0 | 124.5 |
| Water (ml) | 207.0 | 208.0 | 209.0 | 210.0 | 180.5 | 154.0 | 127.5 |
| Baker's yeast, dried (g) | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 |
| Sugar (g) | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| Salt (g) | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.5 |
| Shortening (g) | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |

Table 2. Volume, hardness and cohesiveness of breads made from partially substitution of quinoa and Q-tempeh for wheat flour

| Substitution (%) | Volume (cm ³) | | Hardness (×10 ³ N/m ²) | | Cohesiveness | |
|------------------|---------------------------|-----------|---|-----------|--------------|-----------|
| | Quinoa | Q-tempe | Quinoa | Q-tempe | Quinoa | Q-tempe |
| 0 | 20.1±0.5 | | 2.7±0.2 | | 0.86±0.01 | |
| 5 | 19.0±0.6 | 21.7±0.4 | 3.5±0.3* | 2.8±0.1 | 0.86±0.01 | 0.85±0.04 |
| 10 | 18.7±0.9 | 19.6±1.0 | 3.5±0.2* | 2.9±0.1 | 0.90±0.01 | 0.89±0.01 |
| 15 | 17.7±0.4* | 16.6±0.1* | 3.8±0.3* | 4.8±0.4** | 0.87±0.02 | 0.89±0.03 |

Data were expressed as means±SD (n=10). *Values with asterisk were significantly different from the control value by Turkey's multiple test (*p<0.05, **p<0.01).

硬さ、凝集性に関し対照食パンのそれらの値と有意の差が認められなかった。Q-テンペで15%代替すると、容積が減少し、硬くなった。キノアのタンパク質はほとんどがグロブリンでグルテンを含まない¹⁶⁾。キノアやQ-テンペの代替量の増加にともない生地のグルテン含量が減少したためであろう。

この結果から、Q-テンペは食パン素材として小麦粉の10%まで代替しても食パンの物理的性質に影響を与えないと考えられる。

次いで、キノアやQ-テンペで小麦粉生地の一部を代替した食パンのクラムの色調を比較した (Table 3)。Q-テンペは小麦粉の10%を代替すると赤色と黄色が少し強くなり、明度が暗くなったが、キノアは10%まで代替しても色調が変わらなかった。原料に用いたQ-テンペはキノアより色調が少し暗く、加熱・ペースト化すると色調がさらに暗くなった。テンペ菌はアミラーゼ活性¹⁷⁾ やプロテアーゼ活性¹³⁾ が強い。Q-テンペ代替食パンの色調の変化は、Q-テンペ調製中にキノアのデンプンやタンパク質から生成された遊離糖

とアミノ酸がメイラード反応した結果であろう。クラムの明るさは食パンの官能評価上大切な因子である。したがって、Q-テンペによる小麦粉生地の代替率は5%が上限と思われた。食パンの断面写真を Fig. 1 に示す。肉眼的にも食パンの容積は、キノアとQ-テンペのどちらの場合も、小麦粉の10%までの代替では変化が認められず、15%代替すると減少した。クラムの明るさは、キノアとQ-テンペのどちらの場合も、小麦粉の15%まで代替しても差が認められなかった。

(2) 嗜好性に及ぼす影響

小麦粉の一部をキノアやQ-テンペで代替した食パンに対する嗜好性を官能検査で調べた (Table 4)。キノアで小麦粉の5%代替した食パンは香り、舌触り、味、総合に対する嗜好順位の合計点はいずれも対照食パンの順位より有意に大きく、嗜好性が低かった。しかし、Q-テンペで小麦粉生地の5%を代替した食パンの嗜好順位の合計点はいずれの項目も対照食パンの嗜好順位との間に有意差が認められなかった。この結

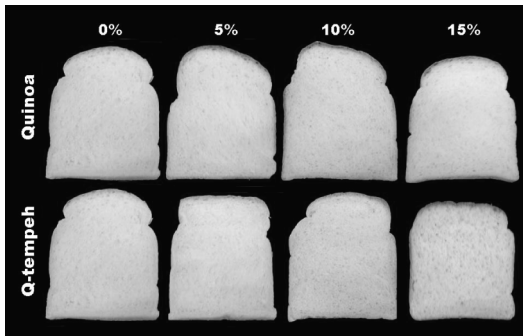


Fig. 1. Cross section of breads made from 5%, 10% and 15% substitution of quinoa and Q-tempeh for wheat flour

Table 4. Total preference ranking of breads made from 5% substitution of Q-tempeh for wheat flour

| Items | Bread | | |
|----------|--------------------|--------|----------|
| | Substitution stuff | | |
| | Control | Quinoa | Q-tempeh |
| Flavor | 42 | 78* | 42 |
| Softness | 43 | 67* | 52 |
| Texture | 44 | 69* | 49 |
| Taste | 44 | 76* | 42 |
| Overall | 44 | 75* | 43 |

*The asterisk in the each row indicates significant difference at the $p < 0.05$ levels by Newell & MacFarlane multiple comparison test.¹⁵⁾ $n = 27$.

Table 3. Internal color of breads made from partially substitution of quinoa and Q-tempeh for wheat flour

| Substitution (%) | L^* | | a^* | | b^* | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | Quinoa | Q-tempeh | Quinoa | Q-tempeh | Quinoa | Q-tempeh |
| 0 | 71.4±2.1 | | -0.6±0.1 | | 12.0±1.3 | |
| 5 | 69.0±1.7 | 68.2±0.9 | -0.3±0.4 | 0.2±0.2 | 12.0±0.9 | 13.1±1.2 |
| 10 | 69.0±1.0 | 66.9±2.2 | -0.3±0.4 | 1.0±0.3* | 13.7±1.4 | 15.0±0.5* |
| 15 | 70.1±1.2 | 66.7±1.5 | 0.6±0.2* | 1.5±0.5* | 15.7±0.3* | 15.8±0.6* |

Data were expressed as means±SD ($n = 10$). Values with asterisk in each column were significantly different from the control value at $p < 0.05$ using Turkey's multiple range test.

Table 5. Hardness of breads made from 5% substitution of quinoa and Q-tempeh for wheat flour

| Storage time (day) | Hardness ($\times 10^3 \text{N/m}^2$) | | |
|-----------------------|---|----------------|----------------|
| | Substitution stuff | | |
| | Control | Quinoa | Q-tempeh |
| 0 | 2.7 \pm 0.2 | 3.5 \pm 0.5* | 2.8 \pm 0.2 |
| 1 | 7.6 \pm 0.8 | 7.9 \pm 1.2 | 6.5 \pm 0.6 |
| 2 | 8.3 \pm 0.6 | 8.6 \pm 1.5 | 7.7 \pm 1.5 |
| 3 | 10.2 \pm 1.5 | 9.6 \pm 0.8 | 8.2 \pm 1.5* |

*Values with asterisk was significantly different from the control value at the same time by Turkey's multiple test ($p < 0.05$). $n = 10$.

果から、Q-テンペは官能的にも小麦粉の5%まで代替できることが確認できた。

(3) 冷蔵による生地硬化に及ぼす影響

小麦粉の5%をキノアやQ-テンペで代替して調製した食パンを冷蔵し、経時的に室温に戻して硬度を測定した (Table 5)。食パンのクラムは冷蔵すると硬化したが、キノア代替食パンと対照食パンの硬度の間には差が認められなかった。しかし、Q-テンペで代替した食パンは3日間冷蔵しても対照食パンより有意に柔らかかった。すなわち、Q-テンペは冷蔵による食パンのクラムの硬化を抑制した。Q-テンペは保水力が強いため⁵⁾、Q-テンペ使用により食パンの結合水が増加し、デンプンの老化が抑制されたと思われる。

以上の結果から、Q-テンペは食パン素材としてキノアより優れた適性を有していることが示唆された。

4. 要 約

テンペ菌で発酵したキノア (キノアテンペ、Q-テンペ) は、機能性が高いが各種酵素が強く、利用面が限られている。Q-テンペを機能性の高い食品素材として利用を拡大するため、小麦粉の一部をキノアやQ-テンペペースト (テンペ菌の酵素を熱失活させ、磨砕したQ-テンペ) で代替した食パンを調製し、キノア粉とQ-テンペの食パン素材としての適性を比較した。キノアで小麦粉の5%を代替した食パンは硬く、味、香り、テクスチャー、総合評価に関する嗜好性が低かった。しかし、Q-テンペで小麦粉の5%を代替した食パンは味、香り、テクスチャー、総合評価に関する嗜好性や容積、硬度、凝集性のいずれにおいても対照食パンと差が認められなかった。さらに、Q-テンペは冷蔵によるパンのクラムの硬化を抑制した。

本研究を実施するにあたり、実験にご協力いただきました平野紗由美氏と増田千詠子氏に深く感謝します。

引用文献

- 1) Chauhan, G. S., Eskin, A. M., and Tkachuk, R.: Nutrients and Antinutrients in Quinoa Seed, *Cereal Chem.*, **69**, 85-88 (1992)
- 2) 松尾真砂子: キノアテンペ (テンペ菌で発酵させたキノア) の抗酸化作用, 栄食誌, **56**, 91-95 (2003)
- 3) Schlick, G., and Bubenheim, D. L.: *Quinoa, an Emerging "NewCrop with Potential for CELSS,"* NASA Ames Research Center, CA, USA (1993)
- 4) *National Research Council Lost Crops of the Incas*, National Academy Press, Washington, D.C., 149-161 (1989)
- 5) 小西洋太郎: 擬穀類アマランス, キノアの栄養特性とアレルギー代替食品への応用, 栄食誌, **55**, 299-302 (2002)
- 6) 小西洋太郎: 序説—アマランスとキノア—シュード・シリアル食品開発, 食の科学, **253**, 18-24 (1999)
- 7) Stupans, I., Kirlich, A., Tuck, K. L., and Hayball, P. J.: Comparison of Radical Scavenging Effect, Inhibition of Microsomal Oxygen Free Radical Generation, and Serum Lipoprotein Oxidation of Several Natural Antioxidants, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 2464-2469 (2002)
- 8) Esaki, H., Nohara, Y., Onozaki, T., and Osawa, T.: Antioxidative Activity of Natto, 食科工誌, **37**, 474-477 (1990)
- 9) Esaki, H., Onozaki, Y., Kawakishi, S., and Osawa, T.: New Antioxidant Isolated from Tempeh, *J. Agric. Chem.*, **44**, 696-700 (1996)
- 10) 山口直彦, 横尾良夫, 藤巻正生: 味噌及びしょう油のリノール酸にたいする抗酸化力, 食科工誌, **26**, 71-75 (1979)
- 11) Matsuo, M.: Serum Cholesterol Reduction by Quinoa Tempe, Quinoa Fermented with *Rhizopus oligosporus*, in Rats Fed with a Cholesterol-Free Diet, 家政誌, **56**, 791-795 (2005)
- 12) Matsuo, M.: *In Vivo* Antioxidant Activity of Methanol Extract from Quinoa Fermented with *Rhizopus oligosporus*, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **51**, 449-452 (2005)
- 13) 松尾真砂子: テンペ菌で発酵させたキノアのビスケット素材としての適性, 食科工誌, **53**, 62-69 (2006)
- 14) 松尾真砂子: テンペ菌培養おからの組織・成分・物理化学的性質の変化, 栄食誌, **42**, 173-178 (1989)
- 15) Newell, G. J., and MacFarlane, J. D.: Expanded Tables for Multiple Comparison Procedures in the Analysis of Ranked Data, *J. Food Sci.*, **52**, 1721-1725 (1987)
- 16) 渡辺克美, 伊富貴亜矢, 陳 怡君, 河村幸雄, 光永俊郎: キノアタンパク質画分の成分組成, 食科工誌, **50**, 546-549 (2003)
- 17) 松尾真砂子: おからテンペの性質に及ぼす米糠の影響, 農化, **64**, 1237-1239 (1990)