冷え性女性の皮膚表面温度におけるショウガ麹の効果

川端幸奈¹・金岡美里¹・坊垣知佳¹・鈴木杏子¹・井口隆文²・高岡素子¹・渡辺敏郎^{2*}

(¹神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科・²ヤエガキ醗酵技研)

平成 25 年 2 月 21 日受理

Effects of ginger koji intake on skin surface temperature for young women sensitive to cold temperatures.

Yukina KAWABATA¹, Misato KANAOKA¹, Chika BOGAKI¹, Kyoko SUZUKI¹, Takafumi IGUCHI², Motoko TAKAOKA¹ and
Toshiro WATANABE^{2*}

(¹Department of Biosphere Sciences, School of Human Science, Kobe College, 4-1 Okada-yama, Nishinomiya,
Hyogo 662-8505, Japan

²Yaegaki Bio-industry, Inc., 681 Mukudani, Hayashida, Himeji, Hyogo 679-4298, Japan)

This study investigated the effect of ginger koji powder on sensitivity to cold temperatures among young women. Ginger koji is an enzyme-rich food which is produced by solid-state fermentation with *Aspergillus oryzae* in ginger chips. Ginger koji powder (500mg/2cp), ginger powder (500mg/2cp), or a placebo (cellulose, 500mg/2cp) was administered to 5 women (20.6±0.4 years old) with cold fingertips using a double-blind placebo-controlled crossover protocol. The combined effect with a milk protein drink was investigated. Twenty minutes after a single administration, the hand of each subject was exposed to cooling at 20°C for 1min, and then the skin surface temperature on the hand along with the width of blood vessels in their fingers were measured. In the case of a single administration of ginger koji, the recovery rates of hand temperature were significantly higher than those in the placebo group. In addition, after a single administration of a combination of a milk protein drink and ginger koji, hand temperature recovery time was shorter than in the placebo group. It can therefore be suggested that the administration of both a milk protein drink and ginger koji leads to an increase in diet-induced thermogenesis, and subsequently the recovery of skin surface temperature. Our findings suggested that ginger koji can be helpful for women sensitive to cold temperatures.

Key words : ショウガ, 麹, 冷え性, 皮膚表面温度, サーモグラフィー

緒 言

近年、環境や生活習慣の変化、ストレスなどに伴い「冷え」を訴える人は男女とも増加の傾向にあるが、西洋医学的には疾患としての認識がなされていない¹⁾。冷え性とは「特定の部位だけが不快に感じられる状態」のこと²⁾であり、以下の3つの属性があげられ

る³⁾。

- ①「冷えている」という自覚がある
- ②温度交差が大きい
- ③寒冷刺激暴露後の皮膚温の回復が遅い

冷え性は、更年期女性に特有の不定愁訴の1つと考えられてきたが、最近では学童や大学生等、若い女性にも顕著化している⁴⁻⁶⁾。実際、大学生および大学院

本論文については、*印著者あて連絡ください。

生の女性を対象とした調査研究でも、約50%の者が冷え性と判定されている⁷⁾。20代女性が冷え性になりやすい原因として、月経周期完成への過渡期であり内分泌環境の変動の時期であること、やせ願望による食物摂取制限・貧血等によるもの、ファッション優先による薄着傾向等が挙げられる³⁾。また、冷えを訴える女子学生に不眠、肩こり、便秘が多いこと、さらに倦怠感、易疲労感、集中力や注意力、気分の変調や精神面にも大きな影響を与えていることが報告されている⁷⁾。このように、冷えがもたらす弊害は多く、改善を求める人が多いにも関わらず更年期障害のホルモン治療法以外には今のところ見当たらない⁸⁾。

冷え性を食事で改善させるための素材として、ショウガ^{9,10)}、トウガラシ¹¹⁾、ヒハツ¹²⁾等が挙げられる。中でもショウガは身体を温める作用が強く、昔から中国では薬用として用いられてきた。ショウガの辛味成分には、主にジンゲロールとショウガオールがあるが、ショウガオールはジンゲロールよりも身体を温める効果が強いことが示されている¹³⁾。従って、ショウガのショウガオール含量を高めることができれば、体温上昇作用をより高めることが可能になる。

一方、体温上昇作用は、ショウガなどの食品成分による効果だけでなく、食事の際に栄養素を分解、吸収する過程で発生する熱にも影響を受ける。これら食事による咀嚼、消化、吸収、代謝に伴って発生する熱エネルギーは、食事誘導性熱産生(diet-induced thermogenesis :DIT)と呼ばれ、これは1日の消費エネルギーの10~15%を占め、体温上昇や発汗に使われる¹⁴⁾。DITによるエネルギー代謝は食事の質や量によって大きく異なり、摂取エネルギー量に対する比率で示すと蛋白質が約20~30%と特に高く、炭水化物が約5~10%、脂質が約0~3%と報告されている¹⁵⁾。また、蛋白質が分解されたアミノ酸にもDITに関して優位に働くことが報告されており^{16,17)}、蛋白質を分解するプロテアーゼを豊富に産生する麹の活用はDITによる体温上昇に働くことが考えられた。そこで、ショウガを麹にすることでショウガに含まれるショウガオール含量が高まるかについて検討するとともに麹菌のプロテアーゼを活用した体熱産生効果の高い新規発酵食品素材の開発を試みた。また、その効果を冷え性女性の皮膚表面温度を測定することで検証した。

実験方法

1. ショウガ麹の製造方法

ショウガ麹の原料に使用した乾燥ショウガチップは、主にショウガ入り茶の原料に使われているもので福田龍株より入手した。ショウガ麹は、60℃にて温風乾燥させたショウガのチップを原料とし、*Aspergillus oryzae* からなる醤油用の種麹(製品名「良い種麹(オリゼー)」:ピオック)を用いて製麹した¹⁸⁾。すなわち乾燥ショウガチップ30kgを水道水に1時間浸漬させた後(吸水率32%)、121℃で60分間蒸煮した。30~35℃に放冷後、種麹を30g混合し種付け(品温35~36℃)をおこない、製麹管理最高温度を40±2℃に設定し製麹した。12時間後に一度切り返しをおこない、44時間後に出麹したものを45℃にて24時間温風乾燥させ、粉碎、粉末化(50メッシュ通過)したものをショウガ麹とした(Fig. 1)。なお、試験の対照には原料である乾燥ショウガチップを粉碎して粉末にしたもの(乾燥ショウガ粉末)を使用した。これらの成分(炭水化物、蛋白質、脂肪、食物繊維、灰分、水分)は(財)日本食品分析センターの方法に準じて分析した。

2. 酵素力価および麹菌体量の測定

ショウガ麹および乾燥ショウガの酵素活性は次の方

Fig. 1 Flow chart for making ginger koji

法により測定した。 α -アミラーゼは酵素液の調製を国税庁所定分析法¹⁹⁾に従い、キッコーマンの測定キットを用いて測定した²⁰⁾。プロテアーゼは国税庁所定分析法の麴の酵素活性測定法に準じて測定した¹⁹⁾。

また、ショウガ麴の麴菌体量の測定は、藤井らの方法²¹⁾に準じて麴菌細胞壁を分解し遊離させたN-アセチルグルコサミン (GlcNAc) を Reissig らの方法²²⁾により、GlcNAc 量 139 μ g を麴菌菌体量 1mg として定量した。

3. 辛味成分の分析

ショウガの主要な辛味成分であるジンゲロールおよびショウガオールを Fig. 2 に示す。ジンゲロールおよびショウガオールの標準品は和光純薬工業の局方生薬試験用を用いた。0.5g の乾燥ショウガ粉末およびショウガ麴にエタノールを 30ml 添加し、蒸留水にて正確に 50ml とした。それを 0.45 μ m 孔のメンブランフィルター (Dismic-13cp : Advantec) に通し高速液体クロマトグラフ (N2438 : 島津) にて辛味成分を次の条件で測定した。

カラム : Develosil ODS-UG-5 (4.6 $\times$ 250mm)

移動相 : 0.05% トリフルオロ酢酸 : アセトニトリル
= 50 : 50 $\sim$ 20 : 80

流速 : 1.0ml/min

温度 : 40 $^{\circ}$ C

検出 : 280nm

4. 乳蛋白質の消化試験

井上らによる多穀麴の人工胃液を用いた蛋白質の消化試験の方法に準じて実施した²³⁾。すなわち、50ml の人工胃液 (pH1.2)²⁴⁾にショウガ麴 2g および乳蛋白質 8g (Promilk85 : 森永乳業) を添加し、37 $^{\circ}$ C で 2 時間反応させ、ろ過 (FILTER PAPER 110mm : Ad-

vantec) した。ろ液をエッペンチューブに入れ、遠心分離機 (himac CT13R : 日立) で 13,000rpm, 20 分、遠心分離した。遠心後、エッペンチューブの上清を採取し、0.22 μ m のフィルター付きエッペンチューブ (Ultrafree-MC : Millipore) に入れ、遠心分離機で 13,000rpm, 20 分、遠心分離し、試料とした。対照にはショウガ麴のみを人工胃液で反応させたもの、乳蛋白質のみを人工胃液で反応させたものを用いた。遊離アミノ酸量は、オルトフタルアルデヒド (OPA) ポストカラム誘導体化高速液体クロマトグラフ法 (GL7400/VISFL Gr システム : ジーエルサイエンス) にて測定した。

5. 被験者

神戸女学院大学、人間科学部、環境・バイオサイエンス学科と文学部、総合文化学科 2 $\sim$ 4 年生 (平均年齢 20.2 $\pm$ 0.8 歳) 100 名を対象として寺澤の文献²⁵⁾に準じて冷え性の質問事項に関してアンケート調査を実施した。その後、結果を集計し、冷え性であるかどうかは中村らの判定法²⁶⁾により、冷え性と判定された者は 61 名であった。山田らの調査研究では女子大学生の約 50% が冷え性と報告⁷⁾しているが、本アンケート調査判定においても半数以上が冷え性であることがわかった。冷え性と判定された 61 名の中から特に冷え性の症状が顕著な学生 5 名 (平均年齢 20.6 $\pm$ 0.4 歳) を本試験の被験者として選抜した。なお、試験はヘルシンキ宣言に従い、試験目的、試験内容、被検物に関する説明およびプライバシーの保護等について口頭および文書で詳細に説明し、被験者の同意を得た後に実施した。

6. 寒冷ストレス負荷試験プロトコル

試験は 2 種類実施した。試験 I では、冷え性女性の

6-gingerol

6-shogaol

Fig. 2 Pungent ingredients of ginger

寒冷刺激暴露後におけるショウガ麹摂取による皮膚温度回復効果を調べ、試験Ⅱでは、冷え性女性の寒冷刺激暴露後におけるショウガ麹と乳蛋白質飲料摂取の併用効果を調べた。

摂取試料は、ショウガ麹粉末、乾燥ショウガ粉末、セルロース（プラセボ）を用いた。これらを中身が見えないようカラメル色素にて着色したカプセル（1号サイズ）に250mgずつ充填した。乳蛋白質飲料にはPromilk85（森永乳業）を主成分とし、合成甘味料で味付けした飲料を使用した。乳蛋白質飲料の栄養成分をTable 1に示したが、蛋白質として10g摂取できるよう200ml摂取した。

実験室は $24 \pm 1^\circ\text{C}$ に設定し、実験室の四隅の温度が均一であることを確認した。被験者は実験室に入室し、座位で20分間安静にして環境馴化させた。その後、試験Ⅰではカプセル（500mg、2カプセル）を摂取、試験Ⅱではカプセル（500mg、2カプセル）と乳蛋白質飲料200mlを摂取し、20分後、左手を 20°C に設定

された恒温槽（SP-12/タイテック）に1分間浸け、サーモグラフィー（G100W2 0040212：NEC Avio 赤外線テクノロジー）にて左手のすべての指先表面温度を測定した。このとき、サーモグラフィーと被験者の距離は140cmとした。また、同時に末梢血管モニタリング装置（ASTRIM SU：Sysmex）を用いて座位姿勢にて左手中指の血管幅を測定した。寒冷刺激暴露後から5分間隔で30分間、指先表面温度と血管幅の測定および解析を実施した。これら一連の試験プロトコルをFig. 3に示した。

7. 統計解析

値はすべて平均値 $\pm$ 標準誤差（SE）で示した。平均の差の検定には市販の統計ソフトウェア（IBM SPSS Statistics 19 for Windows：日本アイ・ビー・エム）を用い、プラセボに対するt検定をおこない、 $p < 0.05$ を統計学的に有意と判定した。

実験結果および考察

1. ショウガ麹の性質

30kgの乾燥ショウガチップから22.4kgのショウガ麹を得た（Fig. 1）。収率は74.7%であったが、これは製麹やその後の乾燥粉碎工程において欠損したためと考えられた。麹としての品質を評価するため、ショウガ麹の麹菌菌体量をグルコサミン量として測定したところ4.21mg/g-kojiであった。またショウガ麹は、酸

Table 1 Component concentrations in the milk protein drink

	milk protein drink / 200ml
Carbohydrate (g)	0.70
Protein (g)	10.0
Fat (g)	0.10
Na (mg)	137
Energy (kcal)	44.0

Fig. 3 Experimental protocol

性プロテアーゼが6,608units/g, 中性プロテアーゼが43,803units/g, アルカリプロテアーゼが41,106units/gであり, 中性域からアルカリ域が蛋白質を分解する効果の高いことが考えられた。乾燥ショウガとショウガ麴の成分分析結果を Table 2 に示した。酵素活性は原料である乾燥ショウガからは検出されなかったもので, これらのプロテアーゼは麴菌由来のものであることが示された。また, 乾燥ショウガとショウガ麴の辛味成分を分析した結果, ジンゲロール含量は5.67mg/g か

ら3.5mg/gに減少したが, ショウガオール含量は0.46mg/gから1.20mg/gと増加した (Fig. 4)。ジンゲロールは, 加熱などによりショウガオールに変換することが知られている¹³⁾。そこで, ショウガチップを加水後, 蒸煮したものについてジンゲロール含量を調べると4.72mg/gに減少し, ショウガオール含量は0.68mg/gに増加することが確認された。つまり, 加熱だけではなく, その後の製麴において更にジンゲロールがショウガオールに大きく変換されることが明らかとなった。

Table 2 Components concentrations in ginger chips and ginger koji

	ginger chips	ginger koji*
Carbohydrate (%)	75.8	78.3
Protein (%)	9.89	10.00
Fat (%)	2.68	2.10
Dietary fiber (%)	15.62	17.40
Ash (%)	3.80	4.00
Moisture (%)	7.83	5.60
α -Amylase (unit/g)	ND	3073
Acid protease (unit/g)	ND	6608
Neutral protease (unit/g)	ND	43803
Alkaline protease (unit/g)	ND	41106

ND, Not detected

* Fermented ginger by *Aspergillus oryzae*

2. 遊離アミノ酸の分析結果

ショウガ麴はプロテアーゼ活性を有するが, 生体内においてもこれらの酵素が作用し, 食事に含まれる蛋白質を消化することができるか調べるために, 人工胃液を用いたモデル評価系において検討した。その結果, Table 3 に示すようにショウガ麴のみや乳蛋白質のみに比べ, ショウガ麴と乳蛋白質の両者を反応させるとpHが低い状態 (pH1.2) にも関わらず測定したすべてのアミノ酸において高値を示した。麴菌 (*Asp. oryzae*) の産生する酸性プロテアーゼは分子量150,000と60,000の2つの分子種があるが, いずれも酸性域

Ginger powder

Ginger koji powder

Fig. 4 Separation and determination of 6-gingerol and 6-shogaol in ginger and ginger koji by HPLC

において安定であると報告されている^{27,28)}。本実験では生体内の胃内における消化を想定した実験であるが、この結果から、ショウガ麴は食物として摂取した蛋白質を生体においても消化できる可能性が示された。また蛋白質の消化産物であるアミノ酸が吸収される際にも、DITによって熱エネルギーが発生する。なかでも、ロイシンは蛋白質合成の増加を介し、DITとして高い効果を有することが報告されている²⁹⁾。本実験では、ショウガ麴と乳蛋白質が反応することで高いロイシンの遊離性(245mg/l)を示したことから、ショウガ麴と乳蛋白質を同時に摂取することでDITによる体温上昇作用が期待できると考えられた。

3. 冷え性女性の寒冷ストレス負荷試験

試験Ⅰ：寒冷ストレス負荷試験におけるショウガ麴の皮膚温度回復効果

冷え性女性の左手を寒冷刺激暴露後、5本の指先表面温度を基準として、その後、5分ごとに指先表面の

回復温度を測定した。プラセボ摂取群と比較すると粉末ショウガおよびショウガ麴摂取群の両者とも、15分後には皮膚表面温度が約4℃上昇しており、プラセボ摂取群と比べて有意な($p < 0.05$)皮膚温度上昇効果を示した。その後、粉末ショウガ摂取群の皮膚温度は低下したのに対し、ショウガ麴では有意な($p < 0.01$, $p < 0.05$)皮膚温度上昇効果を維持していた(Fig. 5)。この結果からショウガ麴は粉末ショウガよりも皮膚温度上昇の持続効果が得られる可能性が示された。

また同時に、左手中指の末梢血管幅について経時的に測定した。最も血管幅の数値が顕著であったのは、測定10分後であり、その結果をFig. 6に示した。プラセボ摂取は血管幅が収縮し、粉末ショウガ摂取はわずかに血管幅の拡張が見られたが、ショウガ麴摂取では血管幅は有意に($p < 0.05$)拡張した。ショウガオール摂取により血管幅が拡張すると末梢の血液量が増加し、皮膚表面温度を回復させると考えられており³⁰⁾、粉末ショウガをショウガ麴にすることでショウガオール含量を高めたことが大きく関与したものと推測された。

Experiment- I

Fig. 5 Time-dependent effect of ginger powder(■) and ginger koji powder(●) on the skin surface temperature of fingers of participants chilled following exposure to cooling. Placebo(○) control values; vertical bars represent the mean $\pm$ SE. Asterisk indicates a significant difference versus the placebo at a time point by the t-test. (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

10 min after exposure

Fig. 6 Changes in blood vessel width of the finger after the intake of ginger powder or ginger koji powder following exposure to cooling. Vertical bars represent the mean $\pm$ SE. Asterisk indicates a significant difference versus the placebo at a time point by the t-test. (* $p < 0.05$)

Experiment-II

Fig. 7 Time-dependent effects of placebo + milk protein drink(■)and ginger koji powder + milk protein drink(●)on skin surface temperature of fingers of participants chilled following exposure to cooling. Placebo(○)control values; vertical bars represent the mean $\pm$ SE. Asterisk indicates a significant difference versus the placebo at a time point by the t-test. (* $p < 0.05$)

試験Ⅱ：寒冷ストレス負荷試験におけるショウガ麴と乳蛋白質飲料の併用効果

乳蛋白質飲料とショウガ麴を同時に摂取することで、ショウガの辛味成分による皮膚温度上昇とショウガ麴のプロテアーゼが乳蛋白質を加水分解し、DITによる併用効果について寒冷ストレス負荷試験をおこない評価した。まず、DITによる効果を調べるためにプラセボと乳蛋白質飲料の同時摂取について検討したところ、10分後で皮膚温度が約2℃上昇、その後もその温度を維持し、乳蛋白質飲料がDITに働きかけたことがわかった。またショウガ麴と乳蛋白質飲料の同時摂取では、10分後で皮膚温度が約3.5℃上昇、その後も有意に($p < 0.05$)皮膚温度の上昇を示した(Fig. 7)。これは乳蛋白質とショウガ麴を同時に摂取したことで蛋白質が消化酵素により消化が促進され、一部アミノ酸として吸収される際、熱エネルギーとして放出されたDITとショウガオールなどのショウガ成分の併用による皮膚温度上昇の併用効果であることが示唆

された。また、今回の結果は寒冷刺激曝露後の皮膚温度上昇の最高温度がショウガ麴単独の場合と比べて差が認められなかった。その理由としては、今回の被験者は冷え性の症状が顕著であったため通常時の指先皮膚温度がそもそも25℃前後と低く、室温も $24 \pm 1^\circ\text{C}$ の環境下であったため、これ以上の皮膚温度上昇は期待できなかったことが挙げられる。本試験において乳蛋白質と併用することでショウガ麴単独摂取以上の皮膚温度の上昇は認められなかったが、指先温度が上昇し始める時間が早くなったことは乳蛋白質との併用によりショウガオールなどのショウガ成分による皮膚温度上昇効果と麴の酵素の蛋白質消化促進効果との併用効果であることが示唆された。

ヒトの先行研究においても牛乳の摂取およびバランスのとれたアミノ酸摂取は高いDITを示す報告があり^{31,32)}、アミノ酸のなかでもロイシンは高い産熱効果を有する²⁹⁾ことや、動物実験ではあるがグルタミン酸ナトリウムを摂取すると褐色脂肪細胞が多い背部を中心に皮膚温度の高温範囲が増大する報告³³⁾がある。乳蛋白質の消化試験結果からもショウガ麴はロイシンやグルタミン酸の遊離含量が高く(Table 3)、これらアミノ酸がDITに寄与していることが示唆された。また、DITは食後10分後から以後30~40分間続くと報告³⁴⁾されていることから比較的長時間において産熱効果を示すことが推測される。

以上のことから、ショウガ麴は蛋白質との併用により、冷え性女性の体温回復効果を示す食品として期待できると思われる。

要 約

冷え性女性の皮膚表面温度におけるショウガ麴の効果について検討した。冷え性女性の寒冷刺激曝露後におけるショウガ麴の皮膚温度回復効果を調べたところ、ショウガ麴はプラセボと比較して有意な皮膚温度上昇効果が確認でき、皮膚温度上昇の持続効果が得られる可能性が示された。左手中指の末梢血管幅について調べたところ、ショウガ麴の摂取により血管幅は有意に拡張し、ショウガオールなどの辛味成分が血管幅を拡張させたことが示唆された。また、ショウガ麴は乳蛋白質と同時に摂取することでショウガ成分による皮膚温度上昇効果と麴の酵素の蛋白質消化促進効果との併用効果が認められた。これにより、ショウガ麴は蛋白

Table 3 Free amino acid concentrations in simulated gastric juice after reaction

Amino acid (mg/l)	+milk protein*	+ginger koji	+ginger koji +milk protein*
Asp	0.55	3.37	12.40
Thr	0.36	4.84	180
Ser	0.76	0.35	31.2
Glu	5.50	15.0	128
Gly	1.11	0.41	5.90
Ala	0.54	4.77	62.9
Val	0.16	0.28	75.6
Met	0.24	0.38	69.9
Ile	1.08	0.24	77.4
Leu	0.14	0.39	245
Tyr	0.32	0.73	98.4
Phe	0.19	0.30	209
Orn	0.06	0.79	2.15
His	0.03	0.09	70.5
Lys	74.5	0.56	553
Arg	0.48	0.38	199
Total amino acids	86.0	33.0	2020

* Promilk 85 (Morinaga Milk Industry Co., protein contents=85%)

質と併用することで、冷え性女性の体温回復効果を有する食品として期待できると思われた。

文 献

- 江崎宣久, 酒井里美, 小島 暁, 矢久保修嗣, 木下優子, 薬理と治療, 35, 335-341 (2007)
- 有山 愛, 森 由佳, 稲野美穂, 灘本知憲, 食科工, 56, 628-638 (2009)
- 中村幸代, 日本看護科学誌, 30, 62-71 (2010)
- 藤原素子, 細野剛良, 平田耕造, 体力研究, 91, 142-147 (1996)
- 竹中静広, 日本産科婦人科学会鹿児島地方部会雑誌, 5, 7-13 (1997)
- 大和孝子, 青蜂正裕, 総合検診, 29, 878-883 (2002)
- 山田典子, 吉村裕之, 栄食, 63, 271-278 (2010)
- 青木貴子, 黒木由希子, 岐阜市立女子短期大学紀要, 58, 53-67 (2009)
- Suekawa M., Ishige A., Yuasa K., Sudo K., Aburada M., Hosoya E., J. Pharmacobio Dyn, 7, 836-848 (1984)
- 岡田佳子, 川端洋子, 桑原真紀, 高柳治奈, 戸村多郎, 奥田 学, 山本博司, 坂口俊二, 寺田和史, 東洋療法学校協会学雑誌, 28, 47-49 (2005)
- 河田照雄, 栄食, 45, 303-312 (1992)
- 山田典子, 西原知恵, 吉村裕之, 山口泰永, 高柿了士, 宮腰正純, 水谷健二, 日本神経精神薬理学雑誌, 29, 7-15 (2009)
- 夏野豊樹, 平柳 要, 人間工学, 45, 236-241 (2009)
- St-Onge M. P., Clap N., Heshka S., Heymsfield S. B., Kosteli A., Metabolism, 56, 1699-1707 (2007)
- Westerterp K. R., Nutr. Metab., 18, 5 (2004)
- Garlick P. J., Int. J. Vitam. Nutr. Res., 56, 197-200 (1986)
- Lopez J., Goodband R. D., Allee G. L., Jesse G. W., Nelssen J. L., Tokach M. D., Spiers D., Bwcker B. A., J. Anim. Sci., 72, 367-379 (1994)
- 難波康之祐, 清酒製造技術, (財団法人日本醸造協会, 東京), p91 (1993)
- 注解編集委員会編, 第四回改正国税庁所定分析法注解 (財団法人日本醸造協会, 東京), 211-228 (1993)
- 白兼孝雄, 徳武昌一, 戸辺光一朗, 鈴木 勝, 醸協, 91, 889-894 (1996)
- 藤井史子, 尾関健二, 神田晃敬, 浜地正昭, 布川弥太郎, 醸協, 87, 757-759 (1992)
- Reissig J. L., Storminger J. L., Leloir L. F., J. Biol. Chem., 217, 959-966 (1955)
- 井上美保, 川田あゆみ, 宇野多津子, 今城小百合, 渡辺敏郎, 辻 啓介, 醸協, 102, 847-853 (2007)

- 24) 日本公定書協会編, 第十四改正日本薬局方, 東京, 619-627 (2001)
 - 25) 寺澤捷年, 生薬学雑誌, 41, 85-96 (1987)
 - 26) 中村幸代, 日本看護科学誌, 28, 3-11 (2008)
 - 27) Tsujita Y., Endo A., Biochim., Biophys., Acta, 445, 194-204 (1976)
 - 28) Tsujita Y., Endo A., Eur., J., Biochem, 84, 347-353 (1978)
 - 29) Tsujinaka T., Sakaue M., Iijima S., Ebisui C., Kan K., Kishibuchi M., Morimoto T., Kido Y., Nutrition, 12, 36-39 (1996)
 - 30) 藤澤史子, 灘本知憲, 伏木 亨, 栄食, 58, 3-9 (2005)
 - 31) Pitkanen O., Takala J., Poyhonen M., Kari A., Nutrition, 10, 132-137 (1994)
 - 32) 小栗靖生, 林 純平, 川口祐美, 柏絵里子, 倉貫早智, 中村丁次, 肥満研究, 17, 139 (2011)
 - 33) 村上仁志, Smriga M., 森 将人, 鳥居邦夫, 日本味と匂学会誌, 6, 627-628 (1999)
 - 34) 宮田 剛, 外科と代謝・栄養, 45, 129-130 (2011)
-