

豆乳凝固性に及ぼす影響

田中ゆかり*

Effect of Phytic acid Degradation in Soymilk On Content of Inositol and Textural Improvement of Tofu

Yukari TANAKA*

豆乳にフィターゼを添加すると、フィチン酸が減少しイノシトールが生成することを確認した。フィターゼによるフィチン酸分解速度とイノシトールの生成速度は大きく異なり、フィチン酸は 0.5%の酵素濃度で速やかに分解されるのに対してイノシトールの生成は非常に緩やかであり、十分なイノシトール生成量を得るには2%の酵素添加が必要であった。

一般的な豆乳製造条件でフィターゼを作用させた豆乳は、凝固性が低下し、豆腐製造が困難であったが、無処理豆乳を混合することで凝固性を改善することが可能となった。

キーワード：豆乳、フィチン酸、イノシトール

I. 緒言

穀物・種子中に多く存在するリン酸の貯蔵形態フィチン酸は、単胃動物であるヒトではフィチン酸を分解する消化酵素であるフィターゼが欠乏しているため、分解されずに消化管を通り過ぎ体外へ排泄されてしまい、それに含まれるリンは利用できない。また、フィチン酸はCa, Mg, Fe, Cu, Znなどのミネラルと結合し、これらミネラルの消化吸收を妨げている。更に、フィチン酸は、消化管内の種々の消化酵素に対しても阻害作用を有する¹⁾。

食品中からの除去が望まれているフィチン酸をその分解酵素であるフィターゼで処理することにより、フィチン酸の骨格であるイノシトールが生成し、機能性が高まることが予想される。イノシトールは抗脂肪肝作用、動脈硬化防止作用、免疫力向上作用などの多くの生理的作用が報告されており、これらの新機能を付加した食品の開発も可能性がある²⁾。

大豆は多様な栄養機能成分を含む健康に良い食物であり、フィチン酸が多く含まれている。しかし、フィチン酸が分解してできるイノシトールは有効活用されていない。

本研究は大豆をフィターゼで処理することにより、イノシトールを含んだ健康に良い食品素材を開発することを目的とし、フィターゼ濃度とフィチン酸の分解、イノシトールの生成量の関係を検討した。さらに酵素処理豆乳の凝固性改善方法について検討した。

II. 試験方法

1. 使用酵素

新日本工業株式会社のフィターゼ製品であるスミチーム PHY を使用した。また、一部の試験にはスミチーム PHY より精製した酵素(福井大学工学部 内田博之教授より恵与)を使用した。各々の酵素活性はスミチーム PHY が 2,000unit/g、精製酵素は 600unit/ml であった。

フィターゼ活性は1分間に pH5.5 でフィチン酸から 1 μ mol のリン酸を遊離する酵素量を 1unit とした。

2. フィチン酸の測定

既報に従い³⁾ 陰イオン交換樹脂カラム (DAWEX AG-X8 200-400 mesh, 0.7 cm \times 10 cm) にて分画後 wade 試薬を用いて定量した。

3. イノシトールの測定

テスター株に *Hanseniaspora uvarum* NBRC0630 を用い、バイオアッセイ法にて定量した。試験管に 2 倍濃度のイノシトール測定用培地 (Difco社製) 5ml および試験液を加えた後、全量 10ml となるように水を加えて滅菌した。冷却後、YPD培地(2%グルコース, 2%ポリペプトン, 1%酵母エキス)にて 30 $^{\circ}$ C, 1 日間浸とう培養後 0.8%食塩水で菌体を洗浄したテスター株を、試験管あたり 1 \times 10⁶個となるように接種し、30 $^{\circ}$ C, 3 日間静置培養後の 600nmにおける吸光度を測定した。

*福井県農業試験場 食品加工研究所 技術開発研究グループ

定量用検量線は、試験管あたりイノシトールを 0~4 μ g 添加した培地にて作成した。豆乳サンプルは、10,000rpm, 10 分の遠心分離で得られた上清を、試験管あたり 10~25 μ l 添加して測定した。

4. フィチン酸水溶液のモデル系酵素処理試験によるイノシトール生成

2%フィチン酸溶液 (pH5.5) にフィターゼ 1.5%を添加し、40 $^{\circ}$ C で反応を開始した。反応開始後、48 時間まで経時的にサンプリングを行い、フィチン酸およびイノシトール含有量を測定した。

5. 豆乳における酵素反応条件

市販の豆乳に濃度の異なる酵素を加え、酵素の至適温度である 40 $^{\circ}$ C で反応させ、7.5 分、15 分、22.5 分にサンプリングし、フィチン酸およびイノシトール量を測定した。

6. 酵素処理豆乳の凝固性

大豆 160g を浸漬させたのち、水 900g, 所定の酵素 (呉に対して 0.5%, 1%または 2%) を加えて磨砕、図 1 のとおり昇温加熱した後、豆乳を分離した。

豆乳に豆腐用凝固剤 (達人 No. 8, 理研ビタミン株式会社) 1% を加え、70 $^{\circ}$ C で凝固させた。

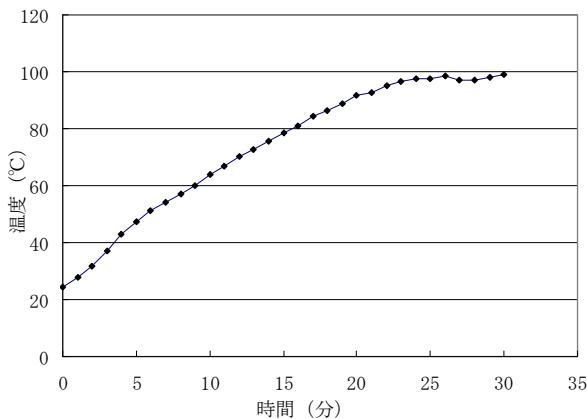


図 1 大豆磨砕物の昇温条件

III. 結果および考察

1. フィターゼ処理によるフィチン酸およびイノシトール含量の変化

フィチン酸水溶液に一定濃度のフィターゼを作用させ、フィチン酸およびイノシトール含量の変化を検討した。

フィチン酸の分解は反応時間は短いものの、イノシトール生成には時間を要した(図 2)。

フィチン酸は別名イノシトール 6 リン酸と呼ばれ、イノシトールに 6 個リン酸基が付随した形をしている。この実験結果から、フィチン酸を分解しリン酸基を全くもたないイノシトールを作る過程においては、リン酸基が 1~5 個付随した中間物(イ

ノシトールーリン酸からイノシトール五リン酸) が蓄積されていると推測できた。

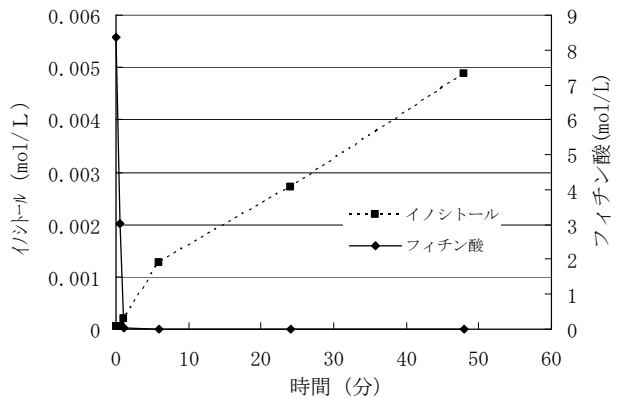


図 2 フィターゼ反応によるフィチン酸およびイノシトール濃度の経時変化

2. 豆乳における酵素反応条件の設定

40 $^{\circ}$ C の恒温条件下で豆乳に添加する酵素量を変化させ、経時的に豆乳中のフィチン酸量およびイノシトール量の変化を測定した。

フィチン酸は、酵素濃度 0.5%以上で効率よく分解することがわかった (図 3)。一方、イノシトールの生成には 1%以上の酵素が必要であった(図 4)。これらの結果から、フィチン酸分解に必要な酵素量とイノシトール生成に必要な酵素量には、差があることがわかった。味については、0.5%フィターゼ処理したものは甘味が感じられ、粘りの少ない豆乳になった。このことは、粗酵素に含まれる澱粉分解酵素が影響していると考えられた。

次に、実際の豆乳製造条件にあわせて昇温加熱でフィターゼ処理を行い、得られた豆乳のイノシトール濃度を測定した。表 1 に示すとおり、フィターゼ添加量を 2%にすることで、無処理に対して 10 倍量のイノシトールが生成することがわかった。

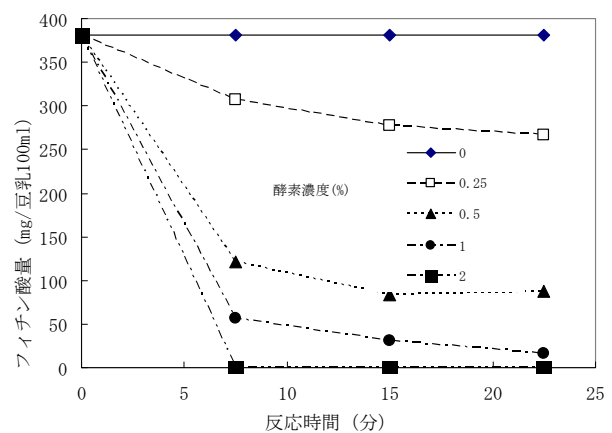


図 3 豆乳のフィターゼ処理によるフィチン酸含量の変化

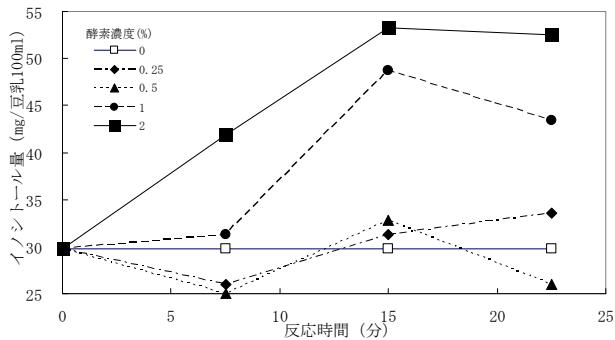


図4 豆乳のフィターゼ処理によるイノシトール含量の変化

表1 昇温加熱¹⁾で調整した豆乳のフィチン酸量、イノシトール量

	フィチン酸 (mg/100ml)	イノシトール (mg/100ml)
無処理	1086.5	1.8
1%フィターゼ	123.7	3.6
2%フィターゼ	87.5	17.0

1) 豆乳は呉に酵素を添加し、22~97℃まで昇温させ、オカラと分離し、調整した。



図5 酵素処理豆乳の凝固性

表2 精製酵素を用いた豆腐の物性

	硬さ
A: 無処理	69.1g
B: フィターゼ 0.5%	38.7g
C: 精製酵素	45.1g

※精製酵素はBと同力価添加した。

3. 酵素処理豆乳の凝固性

フィターゼを1%または2%添加して調製した豆乳を用いて豆腐を試作したところ、凝固が困難になることがわかった(図5)。このことは、フィターゼ処理工程を組み入れることでイノシトールを含む豆乳は製造可能であるが、豆腐の作業性は著しく低下することを示している。

豆乳の凝固性低下とフィターゼ処理の関連を明らかにするため、フィターゼ添加量を0.5%に減じて豆腐製造試験を行ったところ、凝固性は若干改善されたが豆腐の硬さは無処理に比べて

柔らかであった。次に、フィターゼ0.5%と同じ力価の精製酵素を用いて同様の試験を行った結果、豆腐の硬さの減少は実用に耐えうる程度にまで抑えられた(表2)。これらの結果から、フィターゼ処理豆乳の凝固性を低下させる要因のひとつは、フィターゼ製剤に混在する他種酵素であることが推測される。

4. 無処理豆乳の混合による凝固性の改善

精製酵素を用いてイノシトールを含有する豆腐を製造することは可能であるが、精製酵素の使用はコスト高を招くため、商品化にむけては更なる検討が必要であった。

そこで、フィターゼ処理豆乳に無処理豆乳を混合することで凝固性の改善を図る方法を検討した。フィターゼ豆乳混合割合を変えて検討した結果、2%フィターゼ処理豆乳に対して無処理豆乳60%を混合することにより、凝固性が改善され滑らかなプリン様豆腐が製造することが可能となった(表3)。

表3 2%フィターゼ処理豆乳¹⁾と無処理豆乳を混合した豆腐加工適性

フィターゼ豆乳 混合割合(%)	イノシトール 量(mg/100ml)	凝固率 ²⁾ (%)	組織の 滑らかさ ³⁾
100	17.0	60	粗い
80	14.0	60	粗い
60	10.9	60	やや粗い
40	7.9	65	滑らか
20	4.8	65	滑らか
0	1.8	66	滑らか

1) 豆乳は呉に酵素を添加し、22~97℃まで昇温させ、オカラと分離したものを用いた。

2) 凝固率: 混合豆乳に凝固剤を添加し、凝固後、遠心し、沈殿量を測定した。

3) 組織の滑らかさ: 目視、官能評価により判定した。

今後は、ミネラルの吸収性など消化性の向上、イノシトールにリン酸基が1個から5個結合したリン酸化合物の挙動を把握することにより、さらにイノシトールリン酸化合物の機能性が解明できると考えている。

IV. 謝辞

本研究において、精製酵素の提供およびご助言をいただきました福井大学工学部生物応用化学科 内田博之教授に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 大槻耕三・佐藤健司・中村考志(2001) : 大豆たんぱく質研究 4 : 33
- 2) Joseph A. Maga(1982) Phytate : Its Chemistry Occurrence, Food Interactions, Nutritional Significance, and Methods of Analysis. J. Agricultural and Food Chemistry. 30 : 1-9
- 3) Latta M and Eskin M. (1980) Methods of Analysis of Phytic acid. J. Agricultural and Food Chemistry. 28 : 1313-1315

Effect of Phytic acid Degradation in Soymilk On Content of Inositol and Textural Improvement of Tofu

Yukari Tanaka

Summary

When a soymilk was treated with phytase, decrease of phytic acid and increase of inositol was observed. Phytic acid was promptly degraded by 0.5% enzyme addition. On the other hand, 2% enzyme addition was needed for sufficient inositol production. The tofu making ability of a enzyme treated soymilk was very good, but it can be recovered by mixing a non-enzyme treated soymilk.