

豆腐製造過程で生じる豆腐ホエーの利用

小嶋 道之¹・青山 将²

The utilization of tofu whey from the tofu-making process

Michiyuki KOJIMA¹ and Masaru AOYAMA²

(受理：2004年4月30日)

摘 要

豆乳100ml に市販の0.03ml 酢酸を加えてオートクレーブ (121℃, 15分間) すると、大豆タンパク質は凝固した。口液は、淡黄色の酸処理豆腐ホエーであり、この酸処理豆腐ホエー (pH4.0前後) で乳酸菌を培養することができた。また、酸処理した凝固タンパク質は家畜の飼料として利用可能であった。この酸処理手法は、豆腐製造過程での廃液 (豆腐ホエー) にも利用でき、未利用資源である豆腐ホエーが、乳酸菌培養用の培地として有効であることを明らかにした。また、豆腐残渣 (OKARA) に添加して、保存期間の延長が可能であった。

キーワード：豆腐製造，豆腐ホエー，酢酸処理，乳酸菌発酵，オカラ

緒 言

日本全体には中小を含めて約15,000以上の豆腐業者があり、年間に約80万トン以上のオカラが排出されており、その10倍量程度の廃液が捨てられている。最近、オカラを利用する試みが再燃してきているが、それでも大部分は産業廃棄物として処理されている。オカラには、カルシウム、タンパク質など飼料としての有効な成分が多く含まれていて、飼料として利用する農家もあるが、日持ちがしない点に問題がある。また、豆腐加工業者から出る廃液はほとんど利用されずに下水処理されている。最近、廃棄物処理の問題は、企業の責任として位置付けられ、また環境リサイクルの観点から、産業廃棄物の有効利用可能な成分の回収とその活用法についての試みが始まっている。これらの事を考慮して、豆腐製造過程で出る廃棄物の有効利用について模索した。本課題では、オカラと同時に生じる豆腐ホエーを使って乳酸菌を増殖し、pHを調整した乳酸菌入りオカラ発酵飼料について検討した。酸処理豆腐ホエーの調製法と利用法について報告する。

実験方法

1. 実験室レベルにおける豆腐製造過程と廃棄物

1-1. 大豆の吸水と生呉の調製

洗った大豆 (100g) は水 (1300ml) に浸して一夜吸水させ、給水した大豆と残りの水を使い、滑らかになる程度までミキサーですりつぶす。

1-2. 豆乳とオカラの調製

大きめの深鍋に生呉と同量の水を沸騰させておき、そこに生呉を加えて再び沸騰させる。沸騰したら弱火にして10分間、よく混ぜ加熱する。加熱した呉は、布袋でかたくしぼる。しぼった液体は豆乳、布袋に残ったものはオカラである。

1-3. 豆腐の製造と豆腐ホエー

豆乳の温度は70~75℃に保温して、湯で三倍に薄めたニガリ100mlを全体に加えてゆっくり混合する。この作業は三回くらいに分けて行う。豆乳が凝固したら、型箱にさらし布を敷き、すくって入れ、押しぶたをのせて重しをのせる。このとき出る廃液が豆腐ホエーであり、固形物は豆腐である。

¹ 帯広畜産大学畜産科学科食料生産科学講座食品機能科学

¹ Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Department of Animal Science, Department of Food Production Science, Food Functional Science

² 同大学草地畜産専修

² Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Two-year course (Animal Husbandry)

2. 豆腐ホエーを使った乳酸菌の培養

2-1. 豆乳ホエーによる乳酸菌の培養

7種類の大豆から調製した豆腐ホエー(200ml)に乳酸菌1-3)をそれぞれ0.5ml加えて振とう培養した。乳酸菌は、Lactobacillus casei 34143(熱帯果実果肉起源の植物性乳酸菌)、Lactobacillus plantarum 6214(パイナップル果肉起源の植物性乳酸)、Enterococcus (Streptococcus) faecalis TH15(大豆発酵食品テンペ起源)を使用した。乳酸菌の増殖は培養液のpHで検討した。すなわち、加えた乳酸菌の生育により、培地pHが低下する事を指標にして、乳酸菌の生育を判定した。

乳酸菌の大量培養条件について、3種類の乳酸菌¹⁻³⁾(34143・TH15・6214)を用いて検討した。すなわち、乳酸菌用の液体培地で培養して、遠心分離により菌体を回収し、液体培地で希釈して吸光値を一定に合わせ、菌数を同じにした種菌を作った。植える乳酸菌の種菌液の吸光値は0.8ABSに合わせ、2mlの乳酸菌液を豆腐ホエー液体培地(200ml)に加えて振とう培養を行った。乳酸菌の増殖は2時間おきに吸光値を測定して、吸光値の変化が見られなくなるまで続けた。乳酸菌の菌数測定や培地調製は常法に従った⁴⁾。

2-2. 酸処理豆腐ホエーの調製

マイクロピペットで測定した2種類の酸(酪酸と酢酸)を豆乳もしくは豆腐ホエーに添加し、pHの変動をpHメーターで測定した。また、豆乳がpH4.0になるように添加した時の酸量を測定した。pH調整後の試料はオートクレーブ(121℃, 15分)にかけてpHの変化と状態変化を調査した。豆乳や豆腐ホエーに酢酸を加えて、タンパク質を凝固して除いた液は酸処理豆腐ホエーとした。また、豆乳100mlに酢酸を添加する最適量は、酢酸を0.01mlから0.05mlまで加えてオートクレーブにかけ、凝固する量から判断した。凝固タンパク質の湿重量は、ガーゼで水分をある程度取り除き、重量測定して求めた。乾重量は、室温で3日間風乾させ、固形物の重さとした。また、数週間室温に放置して、カビの生える程度を観察した。

3. 酸処理オカラに対する牛の嗜好性

豆乳100mlに1mlの酢酸もしくは2mlの酪酸を加え、それをオカラ1kgに添加してよく混合した酸処理オカラを調製した。酸処理オカラは1週間分以上をまとめて作り、密閉した袋に1日分ごとに分けて貯蔵した。また、酸添加オカラの貯蔵期間における嗜好性への影響も検討した。今回使用したホルスタイン牛は、オカラのみを与えて生育している50頭の中からランダムに18頭を選び6頭毎のグループとして7日間試験した。酸処理オカラは、1日1回、夕方の搾乳前に100g与えて嗜好性を検討した。

統計処理

測定は3回以上繰り返し、ダンカンの有意差検定を行い解析した(P<0.05)。

結果および考察

1. 豆腐製造工程における収率

7種類の大豆を使用して、製造過程での豆腐ホエーなどの収率を測定した(Table 1)。大豆100gに水1300mlを加えて得た豆乳量は、1150 - 1200mlの範囲にあった。それに、市販のがりを加え、195-240gの豆腐を得た。また、豆腐ホエーは800 - 1000ml、オカラは70 - 110g(湿重量)得られた。すなわち、大豆重量に対して8 - 10倍の豆腐ホエー、ほぼ同重量のオカラが出る計算になる。現在、この豆腐ホエーおよびオカラは、ほとんど利用されないで廃棄されている。

Table 1. 豆腐製造過程の収率

No.	品 種	豆乳(ml)	豆腐(g)	豆腐ホエー(ml)	オカラ(g)
1	市販大豆A	1200	240	950	90
2	市販大豆B	1200	210	900	70
3	函館黒	1150	215	850	105
4	いわい黒	1200	210	950	110
5	中生光黒	1200	235	850	100
6	トカチ黒	1150	200	800	70
7	丹波黒	1200	195	1000	75

2. 豆腐ホエーを使った乳酸菌の培養条件

がりを加えて豆腐を作った残渣である豆腐ホエーには、乳酸菌の培養時間の経過や保存温度の低下などによりタンパク質様の残渣が生じたため、乳酸菌の増殖を比色法で検討することができなかった。そこで、乳酸菌用のBCP加プレートカウント寒天培地(日水)で100万倍希釈したものを0.5ml培養したところ、使用した3種の乳酸菌どれもが増殖している事を確認した。

また、タンパク質様の残渣を取り除いた豆腐ホエーを使って、2種類の乳酸菌を液体培地で培養して、培養後2時間ごとに吸光値を測定した。測定開始後4時間では増殖はごくわずかであったが、培養12時間を過ぎた頃から吸光値が増え始め、約30時間の振とう培養で飽和状態になった。増殖率は、TH15の方が34143よりも高かった(Fig. 1)。

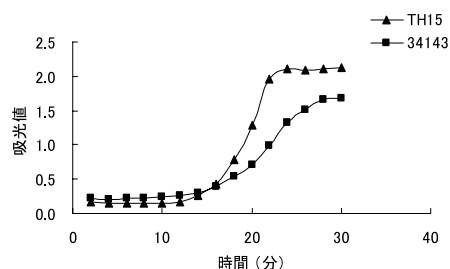


Fig. 1. 乳酸菌培養液の吸光度変化

3. 酸処理豆腐ホエーの利用

pHを4.0程度にして、乳酸菌以外の微生物の増殖を抑えることを考えた。すなわち、豆乳100mlに対して酢酸は0.95ml、酪酸は2.0mlを加える事で、豆腐ホエーのpHは4.0に達した (Fig. 2)。酪酸よりも酢酸を加えたほうがpHの低下が速かった。豆腐ホエーは、酪酸を加えるより酢酸を加えた方が少量でpHを低下させられる。また、オートクレーブした豆腐ホエーを搾って凝固タンパク質を除き、その口液に酸を加えてpH4.0にすると、さらに若干のタンパク質の沈殿が認められた。これらのことを考慮して、豆乳もしくは豆腐ホエーに酢酸を加えてpH4.0とした後にオートクレーブにかけ、凝固タンパク質をガーゼなどで除去する事で凝固物を完全に除き、得られた酸処理豆腐ホエーを乳酸菌の培地とする操作手順とした。最終的な収率は、酢酸添加でも酪酸添加でもほぼ同様で、凝固タンパク質：廃液（酸処理豆腐ホエー）の割合は、1：9であった。

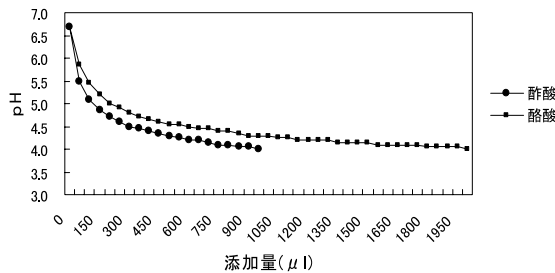


Fig. 2. 豆乳に酢酸および酪酸を添加したときの pH 変化

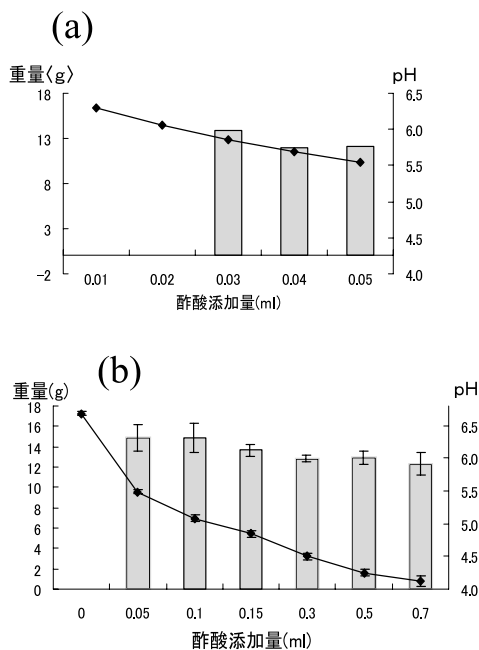


Fig. 3. 豆乳100ml が凝固する pH と凝固したタンパク質量（湿重量）
 (a) 豆乳タンパク質が凝固する最少の酢酸量の確認と凝固したタンパク質量
 (b) 酢酸を添加したときの pH 変化と凝固したタンパク質量

Table 2 豆腐ホエーを培地に用いた乳酸発酵によるpHの変化

No.	品 種	pH		
		培養 0 日	培養 7 日	培養 12 日
1	市販大豆 A	5.8	4.3	4.0
2	市販大豆 B	6.0	4.6	4.3
3	函 館 黒	5.7	4.5	4.3
4	いわい黒	6.1	4.6	4.3
5	中生光黒	6.1	4.9	4.8
6	トカチ黒	6.2	4.7	4.4
7	丹 波 黒	5.9	4.7	4.4

豆乳100mlに加える酢酸の最適な添加量について検討した (Fig. 3a, 3b)。酢酸0.02ml添加により沈殿物が見え始めたが、完全には凝固しなかった。ガーゼで絞ったときに網目から微粒子が流れ出て、口液が濁っていた。加えた酢酸の量と豆腐ホエーの pH および固形物の重さから、タンパク質が凝固する最少の酢酸添加量は0.03mlであった (Fig. 3a)。また、酢酸の添加量が少ないと、密度が低いために水を多く含み、湿重量は重く、酢酸の添加量が多いとその逆で、湿重量は軽くなった。しかし、乾重量はほとんど同じであった (Fig. 4)。また、湿重量から乾重量を引いたものを水分としたが、0.15%以上の酢酸添加では、凝固タンパク質に含まれる水分含量の変動は見られなかった。酢酸の添加量が少ないほど、凝固タンパク質に含まれる水分含量が高い事が示された。

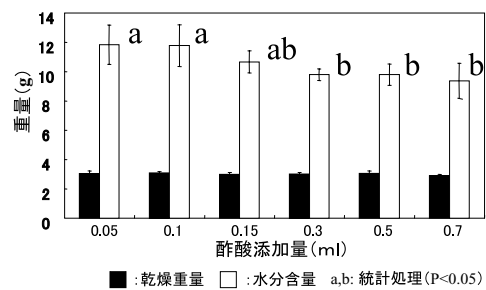


Fig. 4. 酢酸添加量によりできた酸処理凝固タンパク質の乾燥重量と水分含量

0.03%および0.7%酢酸添加豆腐ホエーを用いて、乳酸菌の増殖試験を行ったところ、添加時の乳酸菌液の吸光値は0.8であったが、培養後の前者の吸光値は 1.21 ± 0.075 、後者のそれは 1.26 ± 0.074 であり、ともに乳酸菌の増殖が認められた。酢酸の濃度の違いによる増殖に差はほとんど認められなかった。

酸処理で凝固したタンパク質は、室温で風乾しながら3週間後のカビの状態を調査したところ、0.7%酢酸処理タンパク質にはまったくカビが確認されなかった。しかし、水分の多い0.03%の凝固タンパク質には多くのカビが認められた。カビの量は、酸の添加量にほぼ比例して認められた。

4. 牛の酸処理オカラに対する嗜好性

調製した酢酸および酪酸処理オカラは、1週間貯蔵してもカビなどの腐敗は認められず、臭いは酸臭のままであった。また、全ての餌に対して、牛の嗜好性はよく、1週間の試験終了時まで酸処理オカラを全て食べることが判明した。それによって、体調不良や糞への影響はまったく見られなかった。ただし、試験した牛は、通常オカラのみを食べていることから、サイレージや配合飼料を与えている牛に対する嗜好性とはかなり異なる可能性がある。優良なサイレージの酸量は、乳酸0.7 - 1.5%、酢酸0.3 - 0.5%で酪酸はほとんど検出されない。今回の添加量は、酢酸で0.1%、酪酸で0.2%に相当する。酢酸は範囲内であったが、酪酸は通常のサイレージ臭としては無いものである。しかし、酪酸が含まれている餌でも、牛の嗜好性にはほとんど影響を与えないことが判明した。

謝辞：豆乳および豆腐ホエーを恵与していただいた(有)中田食品の貴戸武司氏、乳酸菌を分譲していただいた岡山大学の宮本卓先生に深謝いたします。この研究は、帯広畜産大学学術研究助成プロジェクトの特定研究および21世紀 COE プログラム研究の一環で行われた。

引用文献

1. Miyamoto, T., Matsushima, F., Nakae, T., Yogurt-like fermented bean milk prepared by lactic acid bacteria from tropical vegetation. *Jpn. J. Zootech. Sci.*, 57 (5), 422-429 (1986)
2. 宮本卓, 中江利孝, 新規な乳酸菌の菌種の利用について, *Jpn J. Dairy and Food Sci.*, 35 (6), 299-306 (1986)
3. 大平猪一郎, 鄭 昌敏, 宮本 卓, 片岡 啓, 中江利孝, 東南アジア地域の伝統的副食発酵食品から分離した乳酸菌の同定, *Jpn J. Dairy and Food Sci.*, 37 (5), 185-192 (1988)
4. 森地敏樹, 八重島智子, 乳酸菌の菌数測定と培地一覧, 乳酸菌の科学と技術, 乳酸菌研究集談会編, 学会出版センター, 373-378 (1996)

Abstract

In the current studies, we found that addition of 0.03 ml acetic acid to 100 ml soy milk caused it to solidify when autoclaved for 15 min at 121 . The whey remaining after this process is light yellow in color, has a pH of approximately 4.0, and acted as an effective medium for culturing lactic acid bacteria. To investigate the potential of the

solidified protein as a feed for domestic animals, the protein was fed to a Holstein cow over a week and was usually more than 95% consumed. These studies show that the acid treatment technique could also allow use of waste water (tofu whey) generated in the tofu-making process for culturing lactic acid bacteria. Finally, acid treated tofu whey and lactic acid bacteria were added to tofu residue (OKARA), and it was possible to extend the storage period of the tofu residue by over 7 days.

Key words : Tofu making, Tofu whey, Acetic acid treatment, Lactic acid bacteria. Fermentation, OKARA