

タンパク質の凝固

- 豆腐づくりを通して生活と化学を結びつける -

前田 昭彦

大豆は、重要なタンパク質源であり、豆腐、納豆、枝豆等いろいろな加工食品があり、季節を問わず多くの人々に食されている。中でも豆腐は優れた食品として古くから知られていが、身近な食品であるにもかかわらず、その原料や製造過程などはよく知られていない現状がある。

ここでは、当センターで行われた小学生と保護者を対象とした「親と子の理科教室」での豆腐づくりの方法について紹介するとともに、身近な食品に興味・関心を持ち、生活と化学の結びつきを意欲的に学ぶことができる教材について検討した。

[キーワード] ものづくり 食品化学 豆腐 タンパク質 コロイド 塩析

はじめに

タンパク質を多く含んだ豆腐はその種類、食べ方の多様性からもわかるように、日本人にとって最もポピュラーな食品のひとつである。

ここでは、市販の乾燥させた大豆から豆乳を搾り、天然のにがりを使って豆腐をつくることにより、タンパク質がどのようにして固まるかを調べるとともに、豆腐づくりにおける凝固剤について検討する。

1 豆腐づくり

準備

乾燥大豆(100g)、天然のにがり(10g)、木綿布、木綿布の袋、しゃもじ、お玉、わりばし、温度計(100℃)、ミキサー、携帯ガスコンロ、なべ(小2個)、ざる、発泡スチロールカップ、



図1 材料と器具

方法

(1) 大豆(100g)をよく水洗いして、大豆の3倍の量の水の中に入れ、夏ならば8~10時間、冬ならば20~30時間つけておく(図2)。



図2 乾燥大豆(左)と水につけた大豆(右)

(2) 方法(1)の水を一度すて、水を吸って小さくなった大豆に、大豆の約2倍の量の水を加え、ミキサーにかけて2分間すりつぶす(図3)。

このすりつぶした豆汁は呉汁こじりと呼ばれる。



図3 大豆の粉碎

- (3) 方法(2)のすりつぶした呉汁をなべに移して加熱する。呉汁はこげやすいので、しゃもじでかき回しながら加熱する。呉汁が泡立ったら加熱をやめる(図4)。



図4 呉汁の加熱

- (4) ざるに水で湿らせた袋状の木綿布をかぶせ、なべの上にこのざるを置き、そこに方法(3)の呉汁を注ぎ込み(図5)、木綿布をねじるようにしてかたく搾る。このとき、木綿布の上からお玉を押しつけるとかたく搾ることができる(図6)。



図5 呉汁を注ぐ



図6 呉汁を搾る

なべの中のものは「豆乳」であり、ガーゼの中のものは「おから」である(図7)。



図7 おから(左)と豆乳(右)

- (5) 豆乳の入ったなべを加熱し、90℃になったら火を止める。温度が80℃ぐらいに下がったら、10gのにがりを150cm³のお湯にとかしたものを加え(図8)、しゃもじでなべの中で十字を書くようにして一度だけかき混ぜる。しばらくすると固まって豆腐になる(図9)。



図8 にがりを入れる



図9 タンパク質の凝固

- (6) もう一つのなべの上に、水で湿らせた木綿布をかぶせたざるをのせ、方法(5)でできた豆腐を注ぎ込む(図10)。注ぎ込んだら、木綿布で包むようにふたをして、紙皿をのせ、さらにその上に発泡スチロールカップに水を入れたおもしろをのせて水分をきる。



図10 豆腐をざるに注ぐ

(7) 方法(6)の水分をきった豆腐(図11)を、水をはったなべの中に移して、30~60分ぐらい静置してさらしておく(図12)。



図11 水分をきった豆腐



図12 豆腐を水にさらす

(8) なべの中の固まった豆腐を静かに取りだし(図13)、ネギ、削りかつお、しょう油をかけて試食する。



図13 手作り豆腐の完成

2 豆腐と凝固剤の種類

凝固剤として天然のにがりを使用すると、他の凝固剤と比べて収量は減少するが(表1)、風味が大変豊かになる。市販の豆腐にない大豆の香りと甘みを感じられ、受講した児童や保護者に好評であった。

表1 凝固剤の種類と豆腐の収量比較

凝固剤	収量
天然のにがり	約240g
硫酸カルシウム	約330g
グルコノデルタラクトン	約400g

なお、現在豆腐に用いられている凝固剤は硫酸カルシウムが多い。硫酸カルシウムを用いると軟らかい豆腐になる。また、最近はグルコノデルタラクトンという凝固剤があり、加熱によってグルコン酸に分解される(図14)。グルコノデルタラクトンを使用すると、グルコン酸の影響で少し酸味が残るが、きめの細かい軟らかい豆腐ができ、絹ごし豆腐をつくるのに適している。

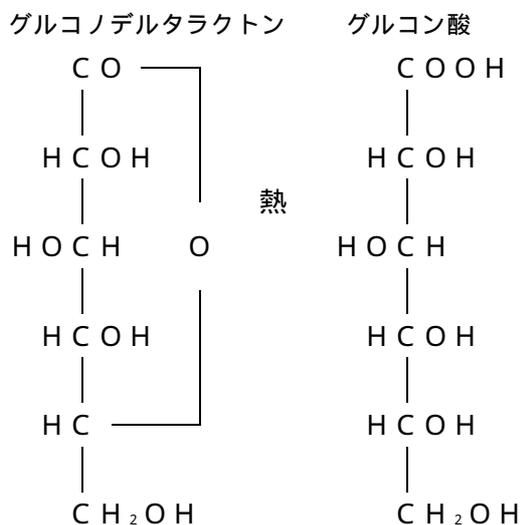


図14 グルコノデルタラクトンの熱分解

塩化マグネシウムを用いると、天然のにがりに近いできあがりになるが、これはのにがりの成分(塩化マグネシウム約16%含有)を考えると当然と思われる。

3 加熱と凝固剤を投入する温度

豆乳を加熱すると、大豆に含まれているサポニンの影響でたいへんよく泡立つ。ふきこぼさないために火加減を抑えて加熱すると、沸騰せず、豆腐が固まらないことがある。泡消しのために消泡剤を使用したり食用油を数滴落とす方法もある。

凝固剤の投入温度は、高すぎるとすぐ凝固し、粒子が粗くざらざらした舌触りとなる。低すぎると粒子は細かいが豆腐として固まらないことが多い。適温は75～80 である。

そのほか、豆乳の濃度、凝固剤投入後のかきまぜ方、型枠の穴の大きさ、布の目の細かさ、おもしの重さなどでできあがる豆腐の風味や固さに違いが生じてくる。

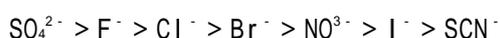
4 解説

大豆には約35%のタンパク質が含まれるが、その大部分は、貯蔵タンパク質で、大豆グロブリンと総称される。これは、発芽するときに窒素源として使われると考えられる。

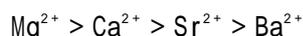
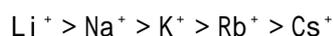
大豆を食品として利用するには、必ず加熱するが、このとき、タンパク質は変性をおこす。豆腐は、大豆の可溶性部分を熱湯で抽出し、これにカルシウム塩などを加えて、タンパク質を沈殿、凝固（ゲル化）させ、成形したものである。

タンパク質のような親水コロイドの粒子は水との親和力が強く粒子のまわりに多くの水分子を強く引きつけており、これが溶液の安定度を大きくしている主な原因である。このため、親水コロイドを凝析させるためには、水との結合を引き離し、且つ、電荷を中和するという両方を行わなければならない。親水コロイドは疎水コロイドに比べて一般に凝析しにくいだが、多量の塩類を加えると凝析を起こす。このタンパク質の塩析に対する各種イオンの塩析力の強さは、次の通りである（ホフマイスター順列）。

（陰イオン）



（陽イオン）



つまり、水和度の大きなイオンほど塩析力が大きいということになる。加えた電解質イオンの水和作用が強ければ、親水コロイドのまわりに水和していた水がこれらイオンのために奪われ、コロイド粒子は不安定となって凝析するのである。

おわりに

小・中学校における有機物の学習は、デンプンの性質や植物体の炭化、光合成で扱うくらいであり、タンパク質が生物体の構造や機能の上で中心的な役割を果たしている視点での学習はしていない。

ここで紹介した豆腐、または、ゆで卵やカッテージチーズなどをつくる活動を通して、日常生活の中でタンパク質について楽しく学習しながら、生活と理科（化学）を結びつけていくような展開を考えていくことが、今後の理科教育に必要なことであると考えられる。

参考文献

- 日本化学会 実験で学ぶ化学の世界3 有機・高分子化合物の化学 pp.129-132 丸善 1996
 福田清成・中垣正幸 基礎化学シリーズ コロイド化学の基礎 pp.79-82 大日本図書 1969
 渡辺保夫 化学と教育 おもしろ化学実験 Vol.39 No.2 豆腐作り 日本化学会 pp.101 1991
 中野政弘 日本化学会 産業化学シリーズ 食品の化学 pp.59-62 大日本図書 1969

（まえだ あきひこ 化学研究室研究員）