

卵白・乳清タンパク質の新機能開発と利用

京都大学食糧科学研究所助教授 北 畠 直 文

1. はじめに

食品タンパク質はわれわれ生体にとっての栄養源であり、その第一の機能は、言うまでもなく栄養素としての役割である。それと同時に食品タンパク質は食品の構成成分であり、加工や調理にともなって形成される食品固有の構造や形態を造り出す上で重要な機能を有している。食品に特有の物性を与えるタンパク質の性質を、一般に食品タンパク質の機能特性(functional property)と呼んでいる。機能特性としては1)結合特性、2)界面特性、3)流動・ゲル化特性、4)組織化特性などに分けて捕らえることができるが、これらの特性が食品タンパク質のいかなる性質に基づいて発現されてくるのか、その性質を制御するにはどうしたらよいのか、またこれらに対処する上で問題点は何か、そして従来の食品タンパク質から、新機能を持った食品タンパク質を開発するにはどのようなアプローチが必要か、これらは食品科学のテーマでもある。本稿では代表的食品タンパク質である卵白タンパク質および乳清タンパク質を例に取り、流動・ゲル化特性を中心に上記の点について説明したい。

2. 食品タンパク質の流動・ゲル化特性

水を多く含む溶液状態のタンパク質を加熱すると、液が粘稠化したり、ゲル化や凝固が生じる。これらの性質の多くは個々のタンパク質に固有の性質であるように考えられがちであるが、同じタンパク質であっても加熱時の条件のわずかな違いによっても状態は全く変わってくる。例えば同じタンパク質濃度であってもpHがわずかに異なるだけで、白濁の柔らかいゲル状態から、透明性の高い、弾力性のあるゲルを形成することもある。同様に液状の場合も、白濁の懸濁液から透明の液体まで様々な状態を取り得る。加熱すると液の粘度は上昇するが、粘稠液が得られるのは稀である。なぜならば通常はゲル化するからである。

3. 卵白タンパク質

卵白を加熱すると、ゆで玉子、目玉焼でわかるように、白く濁ったゲルになる。これは、卵白を構成するタンパク質分子の会合、凝集の仕方によるものであることがわかっている。すなわち加熱変性タンパク質分子が大きな塊状凝集体を形成し、光を乱反射することにより白濁して見えるのである。したがって加熱変性タンパク質分子の凝集を制御すると、必ずしも白濁するとは限らない。同じタンパク質濃度であっても透明なゲルやゾルも形成される。この機構については卵白の主成分である卵白アルブミンについて詳細に調べられている。

4. 乳清タンパク質

牛乳の乳清タンパク質は膜濃縮技術や分画技術の進歩により、近年多量に生産されるようになり、食品素材として、主に食肉製品、乳製品、育児粉乳などに用いられている。乳清タンパク質の加熱ゲル化の挙動も加熱条件によって制御され、白濁ゲルや透明ゲルが形成されることが判明しているが、食品タンパク質としての機能性（保水性、ゲル特性、乳化性その他）は、他の食品タンパク質（例えば卵白タンパク、大豆タンパク、乳カゼインなど）と比較した場合、必ずしも優れたものとは言い難い。特に、通常食品素材として用いられる乳清タンパク質は加熱に伴い白濁や沈澱が生じたり、ゲル物性に難点があるため、用途が限られている。また乳清タンパク質は時として、強いアレルギーを引き起こすことが知られている。これらの点を克服するために、様々な検討を加えた結果、乳清タンパク質を温和な方法で加工することにより、新しい機能性をもつ「改良乳清タンパク質」を得た。この「改良乳清タンパク質」は、従来の乳清タンパク質の性質を超える新しい機能を有していた。その特徴を、以下に列挙するとともに、その機構について解説したい。また利用、応用の可能性についても言及する。

- 1) 現在広く用いられている食品素材タンパク質は、水溶液を加熱することによりゲル化させることができるが、ゼラチンを除くほとんどの素材は白濁して、木目が粗く、比較的脆いゲルを形成する。それに対して、「改良乳清タンパク質」は熱に安定な透明ゲルを形成する。いったん形成したゲルは再加熱（レトルト加熱を含む）を行っても溶けない。
- 2) 多くの食品のpHは中性から酸性領域にあり、しかも食塩をはじめ、数種類の塩を含んでいる。このような条件下では、従来のタンパク質素材は透明感のない、不透明・白濁状態を呈し、保水性に乏しく、粗く脆いゲルとなる。透明ゲルを形成するタンパク質素材としてはゼラチンがある。これは熱可逆性のゲルを形成するため、加熱時にはゲルを得ることはできない。これらに対しては「改良乳清タンパク質」のゲルは広い条件で、透明性、保水性が高く、熱安定なゲルを形成する。
- 3) 「改良乳清タンパク質」からゲルを調製する際、加熱時の条件（例えば、pH、塩濃度、タンパク質濃度など）を調整することにより、弾力性に富んだゲル、柔らかいゲルを計画的につくりだし得る。
- 4) 「改良乳清タンパク質」をゲル化させる場合、必ずしも調理加熱（調理や加工食品製造時の加熱）を必要としない。冷蔵庫内や室温でもゲル化させることができる。つまり、低温でしか加工できない場合や加熱を伴わない工程においてもゲル化させることが可能である。

- 5) 透明で粘度の高い液やゾルを調製することができ、これは液状油脂、例えばサラダオイルによく似た食感を示す。新たな低カロリーの油脂代替物となりうる。
- 6) 一般的に、タンパク素材は、中性付近で、塩濃度が低く、しかも高温加熱を受けない条件下では、高い乳化力を示すものが多い、しかし多くの食品は、酸性のpHや高い塩濃度であったりする。さらに加熱は避けられない。このためにタンパク素材だけで乳化食品を造ることは困難である。しかし、「改良乳清タンパク」は酸性域、高い塩濃度、高温加熱時でも高い乳化性と乳化安定性を示す。さらに融点の高い油脂でも、高温に加熱した状態で乳化させることができる。これは「改良乳清タンパク」特有の性質である。
- 7) 乳化状態の食品を加熱したり、他の処理により乳化物ゲルを調製することができる。ゲルの硬さは調整でき、チーズやバターのような硬い食品から、カスタードクリームのようなゾルまで調製可能である。また、油性のビタミン、香辛料、香料などを水系に安定に分散させることができる。
- 8) 乳化性同様、「改良乳清タンパク」は高い起泡力、泡沫安定性を持っており、形成した泡は耐熱性が高く、乳化物ゲル同様、泡ゲルを調製することもできる。
- 9) 乳清タンパクは栄養性の高いタンパク質であるが、消化性に難点があった。しかし「改良乳清タンパク」は高い栄養性は保持しつつ、さらに消化性にも優れることが明らかになった。この高い消化性はミルクアレルギーの原因を取り除くことにもなり、健康・安全食品を越えた安心食品を提供することにもなる。幼児や高齢者、病氣療養中の人々にも利用されると考えられる。
- 10) 「改良乳清タンパク」は温和な方法で熱加工しているので、食品の安全性に全く問題がない。また素材を水和状態で無菌包装した状態のものをであれば、そのまま食品原料として使用できる。

5. まとめ

素材の改良や新機能の開発は、それが食品であることを常に念頭においてなされねばならない。それゆえ、取り得る手段、範囲には制限がある。また実際の食品は様々な成分の入り交じった混合物である。これは現象の解析を複雑にする。複雑と言うより、解析不能にすることも過言ではない。したがって食品技術者は、素材の改良や新機能の開発には、てっとり早い方法、すなわち「いろいろ混ぜては、口に入れて結果を評価する」方式に頼らざるを得なくなる。しかし食品科学の進展は、何をどのようにまぜれば、どの方向に物性が変化するかを予想することぐらいは可能にして来ている。また、新しい素材が開発された場合は、食品が複雑であるがゆえに、その応用範囲は無限であると言える。新素材を使って新食品を作り出すのは食品技術者の腕であるし、楽しみであるに違いない。