

凝固乳カードの粘弾性制御に基づく機能性食品開発の新展開

山梨大学大学院医学工学総合研究部・准教授 島 弘幸

■ 目的

乳の利活用製品は多岐にわたっており、世界の食生活に深く浸透している。その一方で、乳製品の物理特性に関する科学的知見は、構成成分の多様性および製造条件・外的環境に依存した複雑な特性変化ゆえに、今なお進展の途にある。特に、乳特有のタンパク質成分ユニット(カゼインミセル)が示す複合構造と凝集・解離機構については、現象論的モデルに基づく定性的な研究が主であり、定量的な物性データを用いて既存のシナリオを検証した例は少ない。そこで本研究では、酵素添加とホエイ排出によって生じる乳凝固カードについて、その粘弾性率変化を測定し、乳カードの弾塑性と流動性を記述する基盤理論展開と基礎データ獲得を試みた。

■ 方法

測定試料としては、八ヶ岳エリアの農場から提供された生乳を用いた。初めに生乳の脂肪分をコントロールして低温殺菌した後、乳酸菌スターターを投入し、レンネット反応させ、ジャンケット状態を得た。さらにカッティング・ホエイオフして得たチーズカードをマッティングし、所望のpHを持つカードを作成した。このpHのカードを熱水にて混練し、冷却したものをサンプルとして、レオメーターMCRによる粘弾性測定を実施した。

■ 結果および考察

異なるpHカードの動的粘弾性について、その温度分散と周波数分散を系統的に精査した。その結果、次の事実がわかった。

- i) pH=5.5付近のカードは弾力に富み、pH=4.9付近のカードは伸展性に富むことを示す、定量的な粘弾性曲線データを得た。
- ii) pH=4.9付近のカードは、温度43°C付近において、貯蔵弾性率と損失弾性率の曲線が交差する「固相-流動相転移」を起こすことを発見した。
- iii) 温度を固定しpHのみを変化させた場合は、弾性率 $G(T)$ が全ての温度 T においてpH低減とともに単調減少することがわかった。
- iv) 上記の $G(T)$ 曲線は、 $G(T) \propto \exp(-T/A)$ という指数関数に従うことがわかった。

上記のうち、特に結果ii)は、凝固乳カードの流動特性変化を初めて定量的に裏付けた成果と言える。チーズ(またはカード)を熱すると柔らかくなることは、日常で目にする経験的事実であるが、果たしてどのpH値・どの温度で固相から流動相に移り変わるのか、その科学的な指標を提案した例は私たちが調べた限り過去にない。また結果iv)は、未だ解明されていない乳蛋白分子の凝集・解離過程を洞察するための鍵を暗示するものと考えられる。

■ 結語

乳製品の新たな需要創造による酪農業の発展は、持続可能な農と食を実現する一助として極めて重要である。この需要創造を目的として本研究では、凝固乳カードの動的粘弾性率を測定し、乳タンパク凝固現象を総括する理論構築に不可欠な基本データ収集を行った。その結果、温度変化・pH変化に伴うカードの固相・流動相転移の存在を、当該分野において初めて同定した。得られた結果をもとに今後は、カゼインミセルの複合構造と凝集・解離機構を、実験・理論の両面から総合的に解明することを目指す。こうしたカゼイン物性の解明により、客観的・定量的な物性制御に基づく、発展性の高い乳加工技術の処方箋を提供できるものと強く信ずる。

末筆になりますが、本研究を支援して頂いた財団法人・旗影会の関係各位に、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。