

チーズ製造における 限外濾過技術の利用—Ⅲ^{注)}

浅田 祥 司

6. 2 UF 処理におけるホエー蛋白の変性

ホエー蛋白はさまざまな変性状態でチーズ中に含まれているため、テクスチャーやフレーバーに及ぼす影響を評価することは決して容易ではない。オランダの研究者らによると、未変性のホエー蛋白は不活性な充てん材のような役割を担っており⁹⁰⁾、チーズになめらかなテクスチャーを賦与している可能性が指摘されている⁸⁾。この根拠として、ホエー蛋白はパラカゼインのマトリックス形成に関与せず、逆にマトリックス形成を妨げる場合さえあるという実験結果が示されている。伝統的なチーズ組織の強さや固さは大部分、カゼインのフレームワークに由来するものである。したがって、未変性のホエー蛋白を20%まで含むようになれば、テクスチャー全般、特にTS含量(全固形分)が比較的高いチーズのテクスチャーに影響を与えることになろう⁹¹⁾。UF Mozzarella チーズ⁹²⁾ではUF Gouda チーズ^{8,90)}やUF Havarti チーズ³³⁾と同様、従来法のものよりもソフトなテクスチャーとなることが既に報告されている。

もとの未変性状態のままのホエー蛋白がどの程度の割合でUFチーズに含まれているかを知るのは困難である。と言うのは、UF自体が何らかの変性をホエー蛋白にもたらすと考えられるからである。 β -ラクトグロブリンの場合、5%から50%の範囲内で変性を引き起こしている可能性が指摘されている。ただし、その程度はUF濃縮乳の循環回数、滞留時間、温度および工

注) 本稿は、「甲南女子大学研究紀要」, 第25号, P 111-127 (1989) に続くものである。

程中に入り込む空気の比率に依存する (Harper, W. J. からの私信)。一方、いくつかのホエー蛋白 (たとえば, β -ラクトグロブリン) は気液界面効果⁷⁵⁾によって容易に変性することも知られている。熱変性したホエー蛋白の場合と同様, この変性の結果, カゼインやカルシウムと複合体を形成するだけの構造変化 (unfolding) が β -ラクトグロブリンに生じるのか否かは未だ確定していない。

ポリスルホン膜やミネラル膜の導入により, 55°Cあるいはそれ以上の温度でも原乳の UF 濃縮が可能になってきた。研究初期の頃は, 60°C で 4~5 時間に及ぶ UF 濃縮を実施すると最小限の変性がホエー蛋白に生じる⁹³⁾と考えられていたようである。しかし, 最近では 54°C で 2 時間という操作条件下でもホエー蛋白とカゼインの会合⁸⁵⁾が観察されている。そのため, いくつかの UF チーズの製造現場では, ホエー蛋白の変性を最小限にする目的で操作温度を下げることも試みられている。ところが, このように操作条件を変えても, 濃縮保持液がパルプを通して UF 装置内にポンプ送液される際には何らかのホエー蛋白変性が起こり得るのである。吸い込みラインでの漏れ (leaks) も UF 濃縮保持液への空気の混入を増大させることになろう。

一方, 変性の程度は透析濾過 (diafiltration) が行なわれるかどうかにも依存する事実⁹³⁾も報告されている。即ち, 透析濾過によって濃縮保持液中の乳糖の保護効果が取り除かれるため, ホエー蛋白の熱変性が加速されるようになるのである。60°C で pH 6.2 の条件下で透析濾過を 2 回行った場合, α -ラクトアルブミンと β -ラクトグロブリンの 75~90%まで熱変性することが観察されている。これに対し, 原乳の UF 濃縮だけは 15~20%の変性が認められるだけである⁹³⁾。

6. 3 UF チーズにおけるホエー蛋白の加水分解

変性したホエー蛋白はチーズの熟成と共に加水分解が進行し, 異常なフレーバーやテクスチャーをもたらすことが既に報告されている^{28,49,94,95)}。硫黄分の多いホエー蛋白を硫化水素や他の硫黄化合物に加水分解することはフレ

ーバー欠陥を引き起こす可能性がある。これに対し、未変性のホエー蛋白はキモシン (chymosin), スターター細菌, プラスミン (plasmin) による加水分解を受けにくい事実^{8,33,90)} が知られている。さらに, UF Cheddar チーズでは従来法のものに比べ、遊離アミノ酸の蓄積が遅くなる傾向にある⁸⁶⁾。この理由としては、原乳中にあるプロティナーゼとペプチダーゼのインヒビター (inhibitors) 濃度が UF 濃縮保持液中で高くなっていることが考えられよう。一方、プラスミンとその前駆体 (precursor) であるプラスミノゲン (plasminogen) が、変性した β -ラクトグロブリンによって阻害される可能性もある⁹⁶⁾。プラスミンはチーズの熟成においてそれなりに重要な役割をはたしている⁸²⁾。 β -ラクトグロブリンが変性を受ける結果、比較的キモシンによる分解を受けにくいとされる β -カゼインや α_s -カゼインの加水分解において特に影響が認められるかもしれない⁸²⁾。UF Havarti チーズの場合にも熟成速度が従来法のものに比べ著しく低下するとの報告³³⁾がある。UF チーズでは β -カゼインの分解が特に遅くなるようである。UF Cheddar チーズのフレーバーは、従来のスターター菌に *Lactobacillus helveticus* の proteolytic 株を加えることで著しく改善されている⁸⁸⁾。*Lactobacillus* 属の細菌は UF チーズ中においてその活動が阻害されるにもかかわらず、従来法によるチーズと同レベルまで遊離アミノ酸をもたらすことが可能であった。UF チーズのフレーバーを改善するために中性プロティナーゼを添加する方法も提案されている^{29,45)}。また、いくつかの非スターター細菌が未変性のホエー蛋白を加水分解する事実も報告されている⁹⁷⁾。

ホエー蛋白が間接的にもチーズの品質に影響を与える可能性は十分に考えられる。UF チーズ中にホエー蛋白が存在することは一種の希釈効果、即ちカゼインのようなフレーバー前駆体の有効濃度を下げる効果をもたらすかもしれない⁹⁰⁾。同様に、レンネットのような酵素とカゼインの反応に対し、ホエー蛋白は物理的に干渉する結果、レンネットの作用力を低下させてしまう可能性もある。あるいは単に UF 処理で何倍にも濃縮した原乳中ではレンネットが動きにくいいため、レンネットの作用力が低下することも考えら

れよう。いずれにせよ、熟成中に蛋白分解 (proteolysis) を必要とする UF チーズでは、残存レンネット量が多いほど好ましいことが示唆されている (M. Iyer の私信)。UF チーズ中のカゼインの蛋白分解速度がホエー蛋白の含有率によって影響を受けるのか否か、あるいはホエー蛋白の変性の程度によって左右されるのか否かについては未だ結論は得られていない。UF チーズのテクスチャー、特になめらかさに影響する別の因子としては、使用する凝固剤 (coagulant) のタイプがある^{28,63)}。これはそのタイプによって蛋白分解活性やホエー蛋白に対する特異性が異なっているためである。

6. 4 UF チーズにおけるホエー蛋白の熱変性

UF 処理の前に原乳を加熱したり、あるいは UF 濃縮保持液を加熱した場合、UF チーズにおけるホエー蛋白の影響はかなり複雑なものとなるだろう。と言うのは、ホエー蛋白の変性と乳コロイドの安定性の両方に対し、加熱処理の程度如何が非常に大きな影響を及ぼすからである。少なくとも4つの因子、即ち加熱温度、加熱時間、全固形分濃度、pH がホエー蛋白の熱変性に関与していることは確かである。UF Cast Feta チーズのなめらかなテクスチャーは大部分、UF 工程の前の加熱処理に起因している。一方、UF 濃縮保持液への加熱処理はあまりテクスチャーには影響しないようである^{20,68,98)}。ただし、通常の標準乳よりも UF 濃縮乳の方がより大きなホエー蛋白変性が観察されるとの報告^{46,99,100)}もある。実際、UF 濃縮保持液では UF 工程中に濃縮されてしまった可能性のある細菌を殺すため、加熱処理を行なうのが常である⁴⁶⁾。UF Cheddar チーズ製造のあるプロセス¹⁴⁾では、UF 濃縮保持液の約10%がスターター菌の培養に使われており、またそれには程度の強い加熱処理が行なわれている。

ヨーグルトと UF ソフトチーズの各々のテクスチャーの間には少なからず関係がある。いずれも製品としてのテクスチャーのなめらかさは、行なった加熱処理によって決まってしまう。このようなテクスチャーのなめらかさは如何なる機構によって生じるのかについては未だよく解明されていない。

牛乳の加熱処理はホエー蛋白を変性させると同時に、カゼインミセルとホエー蛋白の間で複合体を形成し⁶¹⁾、さらにミネラル成分まで変化させてしまうものと考えられる。たとえば、変性した β -ラクトグロブリンの場合、 κ -カゼインと反応し、通常のレンネット凝固よりももっと弱いものになってしまう可能性があろう。 β -ラクトグロブリンが変性すると、活性な -SH 基に加え、Ca イオンを強く結合するカルボキシル基まで分子表面に現われるようになる。この結果は、未変性の β -ラクトグロブリンの示す低い Ca 結合能と対照的と言えよう。原乳や UF 濃縮保持液を加熱した後に観察されるテクスチャーのなめらかさの増大は、変性した β -ラクトグロブリンに対する Ca の結合増加に基づくということは十分考えられるのではないだろうか。なお未変性の α -ラクトアルブミンは Ca を強く結合する性質があるが、これは加熱後の著しい Ca 結合の増加とは関係がなさそうである。何故なら、 α -ラクトアルブミンは必ずしも容易に変性しないからである。

6. 5 保水性に及ぼすホエー蛋白の影響

UF チーズのテクスチャーは牛乳全体の保水性変化とも関係があるように思われる。と言うのは、ホエー蛋白の存在が UF チーズに対しより多くの水分をもたらしているからである^{84,101)}。ホエー蛋白は変性すると保水性が増大すると一般に報告されているが、その程度はあまり大きなものではないようである^{8,51,88,98,102)}。むしろ保水性増大の原因としては、カゼインミセルと熱変性したホエー蛋白との間の複合体形成を考えた方が適当なのではないだろうか。何故なら、ヨーグルトの保水性、そしてヨーグルトの粘度やゲル強度はカゼインミセルの集合程度 (coalescence) と密接な関係があるからである⁶¹⁾。ホエー蛋白が UF チーズにとりこまれる際の形、即ち変性しているか未変性なのかは蛋白分解 (proteolysis) および保水性 (water-binding) の両方にとって重要と言えよう。溶媒としての水がどの程度利用できるのかという点は、チーズの熟成と品質に影響する大きな因子となっている⁹⁸⁾。

6. 6 結 論

チーズ中にホエー蛋白が存在する結果、テクスチャーとしてのさまざまな物性や熟成経過にその影響が認められる場合が多い。しかもその程度はチーズ中にとりこまれるホエー蛋白量、およびホエー蛋白の変性状態によって決まってくる。無論、このようなホエー蛋白の影響は UF チーズの種類によって著しく異なるものである。UF Cheddar チーズや UF Mozzarella チーズでさえ、UF プラントの運転中にある種の変性が通常生じてしまうため、チーズ中にとりこまれたホエー蛋白が本当にまだ未変性の状態のままなのかどうかを決定できない現状である。UF Cast Feta チーズや UF Quarg チーズの製造においては、UF 工程に入る前の原乳や UF濃縮保持液は共に加熱処理と均質化処理が加えられている。この結果、ホエー蛋白の最大限の変性が確実に起こり、製品として必要なテクスチャーのなめらかさをもった UF チーズ生産が容易となっているのである。熱変性したホエー蛋白を UF ソフトチーズや UF セミソフトチーズに取り込むことの意義は、ヨーグルトや伝統的な Cream チーズの製造の場合と理論的には同じと考えてよいと思われる。

7. UF による Mozzarella タイプチーズの製造に際し、何か特別な問題が生じているのか否か？

従来法による伝統的な Mozzarella チーズの製造自体は比較的単純である。pH はこのチーズの伸展性 (stretchability) と溶解性 (meltability) の両方にとって最適とされる約 5.2 にコントロールされている。しかし、このチーズの理想的な種々の物性の実現に関与している因子とは何かについては、未だ正確に理解されているとは決して言えないのではないだろうか。ナチュラルチーズの伸展性と溶解性は共に未反応 (intact) のカゼインと残存ミセル Ca の比率、さらにカゼインと水分の比率によって決まると考えられている^{63,82)}。したがって、UF チーズの製造工程が反応し得るカゼイン ('effective' casein) と利用可能な Ca の比率を変えるようなら、そのチーズ

の伸展性と溶融性も変わってくるだろう。ホエー蛋白が実際にカゼインマトリックスに対し影響するのか、あるいは単にホエー蛋白が利用可能な Ca と水を求めてカゼインと拮抗するだけなのかどうかは不明である。

水分含量の高い UF Mozzarella チーズの製造に成功したという報告¹⁰³⁾は既にあるが、そのチーズの伸展性と溶融性についての詳細な記述は行なわれていない。パイロットスケールでの研究^{92,104)}によれば、従来法による伝統的な Mozzarella チーズと全く同じ特徴をもつ UF Mozzarella チーズの製造は容易なことではないとされている。ただし、比較的低濃度のホエー蛋白を含む低倍率の UF 濃縮保持液から、水分含量の低い UF Mozzarella チーズを製造した場合、伸展性と溶融性に秀れたチーズが得られたとの報告^{85,105)}はある。

7. 1 UF チーズの伸展性

現在までに公表された UF Mozzarella チーズの製造法の多くの場合、UF 工程に入る前に約 pH 5.8 まで原乳を酸性化し、その後 UF 濃縮保持液を透析汙過することでチーズ中の Ca 含量を減らす工程がとり入れられている。透析汙過の前あるいはその間に食塩を添加することも時々行なわれている。これにより UF チーズのブライン (brine, 塩水) 浸漬を省略できる利点¹⁰⁴⁾がある。部分的酸性化 (pre-acidification) した後の透析汙過は、UF チーズに伸展性をもたらし、乳糖含量をコントロールする上でも必須の工程¹⁰⁴⁾と考えられている。もしチーズ中に過剰の乳糖が存在すると、ピザの上のせたそのチーズを加熱した際、ブラウンの退色を引き起こす可能性がある⁵⁷⁾。しかし先に述べたように、透析汙過を行なうとホエー蛋白の変性程度が大きくなったり⁹³⁾、その後カゼインと複合体を形成する危険性も増してくる。透析汙過は水¹⁰⁷⁾、透過液 (permeate)⁹²⁾、低濃度のブライン(塩水)溶液^{103,104)}を使って行なわれるのが一般的である。

UF 濃縮乳中の Ca レベルをコントロールすることは容易なことではない。多くの研究者らは、ミセルに結合した Ca を乳清中に拡散させるのに必

要な時間を十分とるべきだと主張している。そのため、原乳を酸性化処理した後 UF 工程に入る前に、15～30分⁵¹⁾、2時間⁵⁷⁾あるいは数時間⁴⁸⁾放置しておいた方がよいのではないだろうか。同様に他の製造工程の場合、pH 5.8 で UF 処理した後、リン酸カルシウム塩を再溶解させる目的でその UF 濃縮保持液を 4°C で一晩放置する方法も実施されている⁹²⁾。このような放置時間を設けなければならないということは、UF Mozzarella チーズ製造にとって UF 濃縮保持液中の残存 Ca レベルが如何に大切であるかを意味している。

UF チーズが伸展性と溶融性の面で劣っている原因の一つとしてチーズ原料乳の均質化処理も指摘されている^{51,70)}。従来法による伝統的な Mozzarella タイプチーズ¹⁰⁸⁾の場合にも均質化処理は伸展性を低下させることが判明している。恐らくこれはカゼインと乳脂肪球膜が結合してしまったためであろう。したがって、UF Mozzarella チーズの製造に際しては通常脱脂乳だけが UF 処理されている。そして 82%という高い脂肪含量のクリームが別に均質化処理され、これと UF 濃縮した脱脂乳が混合されるのである^{51,57)}。同様にこのチーズの製造工程中の加熱処理はできる限り低レベルで行なわなければならない。何故ならホエー蛋白の変性の可能性を少なくし、Ca が変性した β -ラクトグロブリンに結合するのを減らすためである。UF 濃縮保持液がエバポレーション (evaporation) によってさらに濃縮される際の伸展性低下は、エバポレーター (evaporator, 濃縮機) での滞留時間 (residence time) によるものであろう¹⁰⁴⁾。しかし、新しい膜の開発でもっと高い濃度に至るまで全固形分を濃縮することが可能になれば、エバポレーションの工程も必要でなくなるものと期待される。

7.2 UF チーズの溶融性

熱変性に対する β -ラクトグロブリンの感受性は、原乳のももとの pH よりも pH 5.2 の方が低くなるようである (L. K. Creamer の私信)。にもかかわらず、UF 濃縮乳やチーズでのようにミセルが近接している場合、ホエー蛋白の低レベルの変性でさえカゼインとの凝集を引き起こすようになる

う。ピザの上ののったチーズはかなりの加熱処理を受けており、ホエー蛋白も少なからず変性していることが予想される。カゼイン、特に-S-S-結合を含むパラ- κ -カゼインや恐らく α_{s2} -カゼインに対し変性ホエー蛋白が結合する結果、カゼイン分子が互いに四方へ移動する力が低下し、チーズの溶融を妨げるようになるのかもしれない。UF チーズにみられる溶融性の低下は変性ホエー蛋白がフリーの水をつかまえてしまうためとする報告^{87,93}もあるが、私にはホエー蛋白とカゼインの複合体形成の方が溶融性低下の原因であるように思われる。チーズ中にホエー蛋白が多くなればなるほど、溶融性もそれだけ低下するようになる。溶融性低下の機構が必ずしも完全に解明されていないので、この低下をいかに少なくするか、また秀れた溶融性をもつ UF Mozzarella チーズを確実に製造するためにどのようなことを行なえばよいのかといったことは未解決の問題である。実はプロセスチーズの製造にチーズベースを使う際にも同様の問題が生じているのである¹⁰⁹。即ち、原料ミックス中のチーズベースの比率が大きくなるにつれてプロセスチーズの溶融性も下ってくる⁸⁷。しかし、この問題は溶融塩を適切に選ぶことで見かけ上解決されている⁴⁸。UF チーズの溶融性低下は取り込まれたホエー蛋白に関係していると考えられ、プロセスチーズの場合もチーズベース自体が Cheddar チーズと同じ成分組成をもっていないため生じた問題ではないだろう。

電子顕微鏡で UF 濃縮乳からのカード (curd) 構造を観察すると、通常のカードよりも多孔性で目のあらい (coarse) テクスチャーとなる傾向が見出される^{16,25}。そしてこのようなカード構造が UF チーズの溶融性低下に関係している可能性が示唆されている⁹。一方、別の溶融性低下因子としては、変性した β -ラクトグロブリンの表面にみられるカルボキシル基に Ca が結合してしまふことも考えられよう。UF 濃縮保持液の Ca 含量は UF Mozzarella チーズの溶融性にとって最も重要な鍵であるように思われる^{9,48,63}。ところが別の報告¹⁰⁴によれば、部分的酸性化 (pre-acidification) による Ca の除去や透析済の前およびその間に食塩添加を行なっても、UF Mozzarella チーズでは市販の Mozzarella チーズの平均溶融量の半分以下しかなか

ったとの結果も提出されている。

溶融性に影響する因子のいくつかは伸展性に影響する因子でもある。しかし、従来法による伝統的なチーズでは溶融性が熟成時間とともに増大する傾向なのに対し、伸展性は逆に減少する傾向となり、一つの重要な相違点となっている。この溶融性増大の原因としては、1) カゼインネットワークの部分的分解、2) Ca の放出、3) 蛋白分解の結果としてチーズ中に生じる水和の増加（即ち、溶媒化に利用できる水の減少）が考えられるのではないだろうか。伝統的な Mozzarella チーズの場合、子牛レンネットのキモシンがチーズ製造中に失活することはほとんど観察されていない。また、ピザ用 Mozzarella チーズの所定の溶融性を得るのに必要な蛋白分解の程度を左右しているのは、チーズ中の残存プラスミンである⁸²⁾。したがって、UF チーズ中に含まれる変性した β -ラクトグロブリンにプラスミンが吸着することによって生じる阻害は、そのチーズの溶融性を決める上で重要な現象となるかもしれない。

7.3 結論

Mozzarella タイプの UF チーズを製造する際の問題点が明らかになってきた。それは可溶性の Ca とミセルに結合した Ca との間の平衡コントロールが、従来法よりも UF 濃縮乳を使う新しいチーズ製造法の方がずっと困難であるという事実である。ピザやラザーニャをつくる場合、UF チーズが加熱されて生じるホエー蛋白の変性はこの問題をさらに大きなものになっている。そのため、UF Mozzarella チーズの伸展性と溶融性はともにチーズ内にとりこまれたホエー蛋白の比率に依存しているのではないかと予想する研究者もいる。

8. UF によるチーズ製造の将来はいかなるものであろうか？

8.1 チーズ製造における従来法と UF 法との関係

従来法による伝統的なチーズと全く同じ特徴をもつ種々の UF チーズを

開発するために多大の努力がこれまで費やされてきた。しかし、従来法によるチーズ製造で重要なパラメーターと、UF 技術を利用してチーズ製造を行なう上で重要なパラメーターとの間には単純な関係は認められないのである⁴⁵⁾。これはホエイ蛋白が UF チーズ中に存在するためだけの理由からではない。何故なら UF 濃縮保持液は高い緩衝能をもっているため、従来法によるチーズよりも高い pH と高いミネラル含量を UF チーズにもたらす傾向も認められているからである¹¹⁰⁾。もっと低い適切な pH のチーズが得られるように加工技術を工夫することが必要であろう¹⁰⁾。限外濾過液 (ultrafiltrates) 中のさまざまな複合体の間にあるイオン分布をどんな pH や温度でも推定可能にする 2 つのコンピューターモデルも提案されている^{111,112)}。これらのモデルを応用することで、チーズの特性に影響している原料乳の本当の構成成分は何かを知る指針が得られるのではないだろうか。

UF チーズに固有の特徴を打ち消すために UF 濃縮乳の成分組成を調整する方法が既に勧められている³¹⁾。従来法によるチーズ製造で最も重要な 2 つのパラメーターとは、原料乳中のカゼインと脂肪の比率、そしてカード中のカゼインと乳糖の比率である。UF 法によるチーズ製造の場合、これら 2 つの比率の中のカゼイン分を全蛋白量に置き換えて考えることができないのだろうか。しかし、所定の pH にするためには全蛋白量と乳糖の比率は調整しておかねばならないだろう。UF Cheddar チーズの場合、Ca と無脂・無塩固形分の比率、そして pH の両者の間には直線関係が存在するとの報告¹¹³⁾もある。

デンマークの研究者たち³³⁾は UF 処理時の pH がチーズの品質に関係することを示唆している。個々のチーズのタイプに応じて、最初の 24 時間におけるチーズ中の水分と pH の関係を示す理想曲線を描くことは可能である。この曲線に基づけば、濃縮倍率が 5 倍以下なら UF 工程の前の pH 制御は不要ということになる。ただし、ほぼ限界とされる 7 倍近くまで UF 濃縮する場合には pH 制御を行なった方がよい。また、UF 濃縮で取り込まれるホエイ蛋白の比率が大きくなるとチーズ自体がソフトになり過ぎてしまう

が、これを妨ぐためには比較的高いミネラル含量が必要ではないかとする報告³³⁾も無視できない。

8.2 UF で高倍率濃縮した保持液からのチーズ

高倍率濃縮した保持液を使用する UF チーズの製造分野では主に2つの研究が広範囲に展開されてきた。一つは UF チーズに必要な最終の全固形分レベルまで、即ち5～7倍まで原乳を濃縮する場合である。これに相当するのは、UF Feta チーズや UF Quarg チーズのような低酸度、高水分含量のチーズの開発であった。UF 技術の成果と言えるのは、従来のものとは若干異なったテクスチャーやフレーバーをもつ一連の新しいチーズを生んだことではないだろうか。新しいチーズを開発できるチャンスという意味では UF 技術の有用性が以前から指摘されてきている^{4,12,35)}。UF Cast Feta チーズはテクスチャーやフレーバーにおいても従来の Feta チーズとは異なるものであるが、このことは商業的規模での開発成功を妨げることにはならなかったのである。現在ヨーロッパで製造されている新しい UF チーズのほとんどは軟質(ソフト)チーズである^{4,12)}。しかし将来有望な UF チーズとして商業的に製造されつつあるのは、従来の Gruyere チーズよりも全固形分の少ない Gruyere タイプの半硬質チーズである^{35,58)}。一方、脱脂乳の UF 濃縮保持液(10倍濃縮したもの)と可塑状のプラスチッククリームとをブレンドし、さらにその混合物を薄膜下降式真空エバポレーターで濃縮することで高い水分含量の UF Cheddar チーズや UF Monterey チーズを製造する方法¹¹⁴⁾も既に提案されている。

もう一つの暗黙の研究成果、共通理解とも言えるのは、UF チーズの特性を従来のものと同じにしようとする場合、UF チーズ中のホエイ蛋白の比率を全蛋白量の約10%以下に保たなければならないという点である。したがって、UF 濃縮保持液は約5倍程度まで濃縮可能となるが、その場合かなりのホエイ排水が必要となってくる¹¹⁵⁾。カードが一定の組織をもつような UF Feta チーズ⁸⁴⁾、UF Cheddar チーズ¹¹⁾はこのような方法で商業的に製造さ

れている。

8. 3 UF で低倍率濃縮した保持液からのチーズ

UF チーズ原料乳の蛋白レベルを標準化することは今やヨーロッパでは普遍的手段となっており、Camembert タイプのチーズ製造では特にこれが普及している^{1,20)}。この結果、約2倍程度まで濃縮した原料乳をチーズ製造に利用しようとしたり^{12,85,105,116,117)}、通常の原料乳に高倍率濃縮した保持液を加える^{12,23,70,105,118,119)}といった研究が広範囲に進められてきたのである。このような方法は原料乳の蛋白レベルを4~5%に標準化することと実質的には同じと言えよう^{116,120)}。そして最終的に保持されるホエー蛋白の比率、および収率増加(主に蛋白分)は非常に小さなものとなっている。また、UF 濃縮乳に含まれるカゼインとその関連ミネラルの比率が増加すると、UF 濃縮乳自体の緩衝能も大きくなっていく。その結果、製造中の pH 低下速度とチーズの最終 pH の両方について過剰コントロール、即ち所定の pH 変化が起こりにくくなるという事態も発生してくるのである。こうした pH コントロールによってチーズの品質面の同一性がもたらされるものと考えられている。UF で低倍率濃縮した保持液 (**Low Concentrated Retentates**, 以下 LCR と略す)の緩衝能増加は、低い Na 含量の Cheddar チーズ製造に貢献している^{121,122)}。一般にヨーグルトの製造では原料乳の固形分を強化するために脱脂粉乳が加えられているが、この工程の代わりに UF 技術を利用することもできる。たとえばヨーグルトのねばり (consistency) を安定化する目的で、ヨーロッパでは約 10%⁸⁴⁾、アメリカでは 20%まで UF 濃縮されている⁴⁾。

チーズプラントで LCR を利用する場合、従来からの方法や装置をそのまま使えるという利点がある。LCR 利用による処理量増加は、生産能力の拡大を図りたいが工場スペースに制約があるようなチーズプラントにとって非常に重要なポイントになるのではないだろうか。また、低倍率の UF 濃縮では高い膜透過速度が得られ、資本とエネルギーコストは最低となる。

8. 4 農場における牛乳の濃縮

ミネラル膜を使ったシステムが最近では開発されるようになってきたが、これにより農場で直接牛乳を UF 濃縮してしまうことも実現可能になってきたように思われる。もし農場における牛乳の部分的な UF 濃縮が実現したならば、冷却、貯蔵および輸送におけるコストは相当節約できるのではないだろうか^{39,70,72,123~125}。膜透過液を家畜に水と飼料の二つを兼ねた代用物として与えることは、飼料の節約という面でも意義があると考えられる。こうした UF 技術の応用は大規模農場で、しかもチーズプラントまで牛乳を長距離輸送しなければならない場合には非常に魅力があると言えよう。しかし、いずれの利用法を考えるにしても詳細なコストと利益の解析が行なわれなければならないのは当然である³⁵。

農場で直接、牛乳の UF 処理およびサーミゼーション（原料生乳の貯蔵性向上のために 63°C で 10ないし 15秒加熱した後、貯乳すること）を行なうという考え方は最初 Maubois¹²⁴）によって提出されたものである。しかし、これに関する議論は牛乳の加熱処理を UF 工程の前に行なうのか、あるいは UF 工程の後で行なうのかという点に集中している現状である^{3,32,126}。この問題について議論が混乱している一つの理由は、収率計算を行なう上での根拠を明確にすることが困難という点であろう¹²。Dejmek⁵⁴）によれば、2倍あるいはそれ以下という濃縮倍率では収率の変化は実際のところ認められないだろうと主張している。ホエー蛋白を取り込んでいるのに収率増加が少ないのは、従来の UF 装置では運転中の脂肪損失が増加し、これが結果的にホエー蛋白の増加分を相殺してしまうためと思われる。

8. 5 食品産業における UF チーズの利用

食品産業のために特別に UF チーズを製造することは、チーズ産業にとって全く新しい市場を開拓することになるのではないだろうか^{9,48}。たとえば新しい Blue チーズタイプの食品は、脱脂乳の UF 濃縮保持液をリパーゼとカビ胞子で前処理した牛乳とでブレンドすることによって開発されたもの

である¹²⁷⁾。もっと高い Ca 含量, もっと低いレンネットレベルの UF チーズならば, 加熱中でも本来の状態を保つことができる万能の食品材料となり得るのではないだろうか⁹⁾。また, UF チーズは冷凍にも耐えるように, あるいは包装済みチーズのような秀れた貯蔵安定性をもつように改良されていくかもしれない⁹⁾。食品への利用のために特別に考案されたチーズ製品の良い例はチーズベースである¹⁰⁹⁾。これは全乳を原料にして UF, 発酵および蒸発の三つの工程を経てつくられている。そしてその製造には全くレンネットが使われていない。このようにしてできたチーズベースはのりのようなテクスチャーをもち, プロセスチーズの製造においては原料ミックス中のナチュラルチーズの30%まで代用できるとされている。別の報告⁴⁷⁾によれば, 全脂乳の UF 濃縮保持液に乾燥保持液 (dried retentate) を強化したものを使用すると, ナチュラルチーズの50%まで代用することが可能であり, もっと低いコストで市場価値のあるプロセスチーズを提供できそうである。

8. 6 結 論

UF によるチーズ製造は現在, 流動状態にあると言えよう。これは主として研究初期の頃の期待が大きすぎたためである。ほとんどの報告では, 高倍率まで UF 濃縮した保持液から従来のチーズと同じテクスチャーやフレーバーをもつ製品をつくることは困難とされている。しかし, UF で低倍率濃縮した保持液を使ってチーズ原料乳の蛋白レベルを標準化する方法は, 現在さらに広範囲まで普及しつつある状況である。多くの UF チーズプラントでは牛乳蛋白の季節的変動をなくすことが大きな目的となり, ホエー蛋白の回収は二次的なものとなってしまっている。UF による蛋白レベルの標準化の結果, チーズ組成の高い同一性と高い品質が製品にもたらされるようになったのである。UF で低倍率濃縮した保持液を使う他の利点としては, チーズバットの実質的な容量が大きくなる, 従来からの装置がそのまま使えるといったことが指摘されよう。高倍率まで UF 濃縮した保持液に近い将来のチーズ製造においてはたす主な役割は, UF Feta チーズや UF Quarg チーズ

と同じように低い酸度でかつ高い水分含量のチーズの開発, さらに従来のも
のとは若干異なった特徴をもつ半硬質熟成チーズの開発にあるように思われ
る。

REFERENCES

- 1) Korolczuk, J., Maubois, J-L. & Fauquant, J. (1986). In 'Milk, the Vital Force', 22nd Int. Dairy Congr., The Hague, p.123 & 153.
- 2) Hansen, R., (1981). N. Europ. Dairy J., 47(1), 6.
- 3) Honer, C. (1984). Dairy Record, 85(7), 72.
- 4) Horton, B. S. (1982). Dairy Record, 83(12), 126.
- 5) Horton, B. S. (1986). Caseus, The Cheese Magazine, 3(2), 22.
- 6) Jensen, L. A., Johnson, M. E. & Olson, N. F. (1987). Cult. Dairy Prod. J., 22(5), 6.
- 7) Maubois, J. L. & Mocquot, G. (1971). Le Lait, 51, 495.
- 8) De Boer, R. & Nooy, P. F. C. (1980). N. Europ. Dairy J., 46(3), 52.
- 9) Olson, N. F. (1984). Dairy Record, 85(7), 85.
- 10) Mocquot, G. (1979). In 'Porc. 1st Biennial Marschall Int. Cheese Conf', p. 603.
- 11) Wilson, G. (1986). Caseus, The Cheese Magazine, 3(2), 3 & 12.
- 12) Kosikowski, F. V. (1986). Food Tehnol., 40(6), 75.
- 13) Patel, R. S. & Reuter, H. (1985). Milchwissenschaft, 40(10), 592.
- 14) van Leeuwen, H. J., Freeman, N. H., Sutherland, B. J. & Jameson, G. W. (1984). PCT International Patent Application, WO/84/01/268/A1.
- 15) Culioli, J. & Shernan, P. (1978). J. Text. Studies, 9, 257.
- 16) Green, M. L., Turvey, A. & Hobbs, D. G. (1981). J. Dairy Res., 48, 57.
- 17) Glover, F. A. (1985). Tech. Bull. No. 5. N. I. R. D. Reading.
- 18) Maubois, J-L. & Mocquot, G. (1974). J. Dairy Sci., 58, 1001.
- 19) Kristensen, A. S., Nielsen, W. K. & Madsen, R. F. (1981). N. Europ. Dairy J., 47(9), 268.
- 20) Dunlop, F. (1987). Private communication.
- 21) Patel, R. S., Reuter, H. & Prokopek, D. (1986). J. Soc. Dairy Technol., 39, 27.
- 22) Randhahn, H. (1976). J. Text. Studies, 7, 205.
- 23) Goudedranche, H., Maubois, J-L., Ducruet, P. & Mahaut, M. (1980). Desalination, 35, 243.

- 24) Green, M. L., Scott, K. J., Anderson, M., Griffin, M. C. A. & Glover, F. A. (1984). *J. Dairy Res.*, 51, 267.
- 25) Green, M. L., Glover, F. A. & Marshall, R. J. (1982). 21st Int. Dairy Congr., Moscow, Vol 1, Book 2, p. 448.
- 26) Muller, L. (1987), Private communication.
- 27) Dalgleish, D. G. (1981). *J. Dairy Res.*, 48, 65.
- 28) Green, M. L., Glover, F. A., Scurlock, E. M. W., Marshall, R. J. & Hatfield, D. S. (1981). *J. Dairy Res.*, 48, 333.
- 29) Jameson, G. W. (1984). *Aust. Soc. Dairy Technol., Tech. Bull.*, No. 27, p. 23.
- 30) Bush, C. S., Caroutte, C. A., Amundson, C. H. & Olson, N. F. (1983). *J. Dairy Sci.*, 66, 415.
- 31) Sutherland, B. J. & Jameson, G. W. (1981). *Aust. J. Dairy Technol.*, 36, 136.
- 32) Coton, G. (1986). *Dairy Ind. Int.*, 51(8), 29.
- 33) Qvist, K. B., Thomsen, D. & Jensen, G. K. (1986). *Beretning fra Statens Mejeriforsog*, 268.
- 34) Mortensen, B. K. (1984). In 'Milk Proteins '84', *Proc. Int. Congr. Milk Proteins*. Luxemburg. Ed. Galesloot, T. E. & Tinbergen, B. J.
- 35) Kosikowski, F. V. (1985). *J. Dairy Sci.*, 68, 2403.
- 36) Ostergaard, B. (1987). Private communication.
- 37) Welch, B. J. (1985). *N. Europ. Dairy J.*, 51(6), 162.
- 38) Hickey, M. W., van Leeuwen, H., Hillier, A. J. & Jago, G. R. (1983). *Aust. J. Dairy Technol.*, 38, 110.
- 39) Anon. (1985). *Dairy Record*, 86(6), 52.
- 40) Mistry, V. V. & Kosikowski, F. V. (1985). *J. Dairy Sci.*, 68(5), 1613.
- 41) Mistry, V. V. & Kosikowski, F. V. (1986). *J. Dairy Sci.*, 69(6), 1484.
- 42) Ernststrom, C. A. & Anis, S. K. (1986). In *Proc. IDF Seminar 'New dairy products via new technology'*, p. 21. International Dairy Federation.
- 43) Haisch, K. H. (1982). 21st Int. Dairy Congr., Moscow, Vol. 1, Book 2, p. 449.
- 44) Brule, G., Maubois, J. L. & Fauquant, J. (1974). *Le Lait*, 54, 600.
- 45) Green, M. L. (1985). *J. Dairy Res.*, 52, 555.
- 46) Hansen, R. (1977). *N. Europ. Dairy J.*, 43, 304.
- 47) Kosikowski, F. V. (1981). 2nd Biennial Marschall Int. Cheese Conf., p. 385.

- 48) Neilson, P. S. (1985). Proc. Pre-Congr. Symp. Advanced Processing Technology of Animal Products. Seoul, Korea, p. 48.
- 49) Hansen, R. (1981). N. Europ. Dairy J., 47(5), 147.
- 50) Madsen, R. F. & Bjerre, P. (1981). N. Europ. Dairy J., 47(4), 89.
- 51) Madsen, R. (1985). In 'Evaporation, Membrane Filtration & Spray drying', Chapter 7, p. 179. Ed. Hansen. R.
- 52) Iyer, M. & Lelievre, J. (1987). J. Soc. Dairy Technol., 40, In press.
- 53) Marshall, K. R. (1982). In 'Developments in Dairy Chemistry-1', Chapter 11, p. 339. Ed. Fox, P. F.
- 54) Dejmek, P. (1986). Milchwissenschaft, 41(11), 686.
- 55) Zall, R. (1985). National Dairy News, 5(9), No. 28, p. 15.
- 56) Shaw, M. B. (1986). In 'Modern Dairy Technology', Volume 2. Ed. by R. K.
- 57) Anon. (1983). N. Europ. Dairy J., 6, 165.
- 58) Gouedranche, H., Maubois, J. L., Ducruet, P. & Mahaut, M. (1981). Technique Laitiere No. 950, p. 7.
- 59) Mahaut, M., Korolczuk, J., Pannetier, R. & Maubois, J-L. (1986). Technique Laitiere & Marketing No. 1011, p. 24.
- 60) Burgess, K. J. (1986). J. Soc. Dairy Technol., 39,, 101.
- 61) Schmidt, R. H. & Morris, H. A. (1984). Food Technol., 38(5), 85.
- 62) Siapantas, L. (1979). In 'Proc. 1st Biennial Marschall Int Cheese Conf.', p. 617.
- 63) Gilles, J. (1987). Private communication.
- 64) Olson, N. F. (1986). Dairy Foods, 87(6), 109.
- 65) Muller, L. (1984). In 'Proc. Symp. for soft drink, fruit juice, dairy and food industries', Auckland, New Zealand, p. 517.
- 66) Anifantakis, E. (1985). Recommended standard for Feta cheese, Appendix 3. Submission to Group D31, International Dairy Federation.
- 67) International Dairy Federation (1986). FAO/WHO Recommended General Standard for Cheese (Standard A6), D-Doc 151, Appendix 3.
- 68) Sutherland, B. J. & Jameson, G. W. (1982). 21st Int. Dairy Congr., Moscow. Vol. 1. Book 1. p. 451.
- 69) Covacevich, H. R. & Kosikowski, F. V. (1978). J. Dairy Sci., 61, 701.
- 70) Kosikowski, F. V. (1984). 21st Annual Marschall Invitational Italian Cheese Seminar, Madison, Wisconsin, p. 88.
- 71) Gerster, D. & Veyre, R. (1985). ACS Symposium Series, 281, 225.

- 72) Maubois, J-L, (1986). In 'Membranes and Membrane Processes' p.255.
Ed. Drioli, E. & Nakagaki, M.
- 73) Anon. (1979). Technique Laitiere, No.934, p.12.
- 74) Asmussen, P., Johnsen, A. F. & Anderson, K. (1986). N. Europ. Dairy J., 52(3), 66.
- 75) Reese, E. T. & Robbins, F. M. (1981). J. Colloid & Interface Sci., 83, 393.
- 76) Talboys, B. L. & Dunnill, P. (1985). Biotechnol. & Bioeng., 21, 2263.
- 77) Prokopek, D., Buchheim, W. & Knoop, A. M. (1978). 20th Int. Dairy Congr., Paris, p.796.
- 78) Mottar, J. & Delbeke, R. (1978). 20th Int. Dairy Congr., Paris, p.797.
- 79) Mahaut, M. & Maubois, J-L. (1978). 20th Int. Dairy Congr., Paris, p.793.
- 80) Puhan, Z & Gallmann, P. (1981). N. Europ. Dairy J., 47(1), 4.
- 81) Herbetz, G. (1985). Deutsche Milchwirtschaft, 36(33), 1042.
- 82) Lawrence, R. C., Creamer, L. K. & Gilles, J. (1987). J. Dairy Sci., 70, in press.
- 83) Lelievre, J., Iyer, M., Bennett, R. J. & Lawrence, R. C. (1986). N. Z. J. Dairy Sci. Technol., 21, 157.
- 84) van Leeuwen, H. J., Kim Nguyen, Prince, R. J. & Jameson, G. W. (1982). Second Australian Dairy Technology Conference, Glenormiston, Victoria, September 1982.
- 85) Fernandez, A. & Kosikowski, F. V. (1986). J. Dairy Sci., 69(8), 2011.
- 86) Donnelly W. J. & Barry, J. G. (1983). J. Dairy Res., 50, 433.
- 87) Sood, V. K. & Kosikowski, F. V. (1979). J. Dairy Sci., 62, 1713.
- 88) Kilara, A. & Sharkasi, T. Y. (1986). Crit. Rev. Food. Sci. & Nutr., 23(4), 323.
- 89) Jasinski, E. & Kilara, A. (1985). Milchwissenschaft, 40 (10), 596.
- 90) de Koning, P. J., de Boer, R., Both, P. & Nooy, P. F. C. (1981). Neth. Milk Dairy J., 35, 35.
- 91) van den Berg, G. (1979). Neth. Milk Dairy J., 33, 210.
- 92) Maubois, J-L. & Kosikowski, F. V. (1978). 20th Int. Dairy Congr., Paris p.792.
- 93) Sood, V. K. & Kosikowski, F. V. (1979). J. Food Protection, 42, 958.
- 94) Brown, R. J. & Ernstrom, C. A. (1982). J. Dairy Sci., 62, 2391.
- 95) Banks, J. M. & Muir, D. D. (1985). J. Soc. Dairy Technol., 38(1), 27.

- 96) Rollema, H. S. & Poll, J. K. (1986). *Milchwissenschaft*, 41(9), 536.
- 97) Hickey, M. W. & Broome, M. C. (1984). *Aust. Soc. Dairy Technol., Tech. Bull.*, No. 27, p. 27.
- 98) Kinsella, J. E. & Fox, P. F. (1986). *Crit. Rev. Food Sci. & Nutr.*, 24(2), 91.
- 99) Pierre, A., Brule, G., Fauquant, J. & Piot, M. (1977). *Le Lait*, 57, 646.
- 100) Pierre, A., Brule, G. & Fauquant, J. (1978). *Le Lait*, 58, 575.
- 101) Kealey, K. S. & Kosikowski, F. V. (1985). *J. Dairy Sci.*, 68, 3148.
- 102) Birkkjaer, H. E. (1976). *Deutsche Milchwirtschaft*, 27, 859.
- 103) Friis, T. (1981). *N. Europ. Dairy J.*, 47(7), 220.
- 104) Covacevich, H. R. (1981). In 'Proc. 2nd Biennial Marschall Int. Cheese Conf.', p. 237.
- 105) Fernandez, A. & Kosikowski, F. V. (1986). *J. Dairy Sci.*, 69, 643 & 2551.
- 106) Schafer, H. W. & Olson, N. F. (1975). *J. Dairy Sci.*, 58, 494.
- 107) Covacevich, H. R. & Kosikowski, F. V. (1977). *J. Food Sci.*, 42(5), 1359.
- 108) Kosikowski, F. V. (1977). 'Cheese and Fermented Milk Foods', 2nd Ed., p. 188.
- 109) Ernstrom, D. A., Sutherland, B. J. & Jameson, G. W. (1980). *J. Dairy Sci.*, 64, 228.
- 110) Covacevich, H. R. & Kosikowski, F. V. (1977). *J. Food Sci.*, 42, 1362.
- 111) Lyster, R. J. L. (1981). *J. Dairy Res.*, 48, 85.
- 112) Holt, C., Dalgleish, D. G. & Jenness, R. (1981). *Anal. Biochem.*, 113, 154.
- 113) Sutherland, B. J. & Jameson, G. W. (1982), 21st Int. Dairy Congr., Moscow, Vol. 1, Book 1, p. 450.
- 114) Kosikowski, F. V., Masters, A. R. & Mistry, V. V. (1985). *J. Dairy Sci.*, 68(Suppl. 1), 52.
- 115) Jacobsen, M. K. (1985). *Nord. Europ. Dairy J.*, 51(2), 38.
- 116) Rousseaux, P., Maubois, J. L. & Mahaut, M. (1978). 20th Int. Dairy Congr., Paris, p. 794.
- 117) Pakhala, E., Turunen, M. & Antila, V. (1985). *Meijeritieteellinen Aikakauskirja*, 43(1), 47.
- 118) Kealey, K. S. & Kosikowski, F. V. (1986). *J. Dairy Sci.*, 69(6), 1479.
- 119) Kosikowski, F. V., Masters, A. R. & Mistry, V. V. (1985). *J. Dairy Sci.*, 68, 541 & 548.
- 120) Poulsen, P. R. (1978). *J. Dairy Sci.*, 61, 807.
- 121) Kindstedt, P. S. & Kosikowski, F. V. (1986). *J. Dairy Sci.*, 69 (Suppl.

- 1), 78.
- 122) Kosikowski, F. V. (1983). *J. Dairy Sci.*, 66, 2494.
- 123) Olson, N. F., Amundson, CH., Bush, C. S. & Garoutte, C. A. (1981). 'In Proc. 2nd Biennial Marschall Int. Cheese Conf.', p.155.
- 124) Maubois, J. L. (1979). In 'Proc. Symp. Ultrafiltration/Membranes', Am. Chem. Soc., Washington DC, Vol. 13. *Polymer Sci. & Tech.*, p.305.
- 125) Slack, A. V., Amundson, C. H., Hill, C. G. & Jorgensen, N. A. (1983). *J. Dairy Sci.*, 66(Suppl. 1). 99.
- 126) Zall, R. R. & Chen, J. H. (1986). *Milchwissenschaft*, 41(4), 217.
- 127) Jolly, R. C. & Kosikowski, F. V. (1975). *J. Dairy Sci.*, 58, 1272.