

牛乳成分の高度利用

(牛乳からの新素材)

八 木 直 樹

Hyper-Application of Components in Milk

(New Materials from Milk)

YAGI Naoki

1. はじめに

食品分野における膜分離技術は、常温で品質を損なうことなく有効成分の分離・濃縮が可能なることから、急速にその用途は拡大し、膜技術についての研究もまた著しく進展している。そして「先端技術産業動向調査¹⁾」によると、膜利用の実績の高い業種と付加価値額の高い業種は、ほぼ一致するという結果が得られるほど、膜分離技術の駆使は高い評価を得ている。

乳業においては、逆浸透法、ナノ濾過法、限外濾過法、精密濾過法、イオン交換膜電気透析法などの膜分離技術が利用されているが、第二次大戦直後のオランダにおいて、食糧難を克服する手段として、ホエーたん白質を電気透析法で脱塩して利用しようとしたのが、乳業界への膜分離技術導入の最初とされている²⁾。

その後1960年代から1970年代にかけて、チーズの需要の急増により、チーズの副産物であるホエーの廃棄が、環境汚染の原因として問題化し、その解決策と資源を有効利用するという観点からホエーの処理が必要となり、膜技術の導入が行なわれるようになった。そしてホエーたん白質濃縮物、全乳たん白質濃縮物、ホエーたん白質単離物、脱塩ホエー粉末などの新しい乳製品の開発が次々となされ、同時にそれらの品質の改良に大きく貢献した。

これらの新しい乳製品は、栄養面と物性面で優れた改善効果をもたらすことから、既存の乳製品では果たし得なかった新しい市場の開拓に大きく貢献した。

一方、牛乳成分の分離精製技術が進むとともに、牛乳には人間の身体の調節機構に直接作用して、病気を予防したり病気の回復を速めるなどの生理活性物質が数多く存在することも次第に明らかにされ³⁾、生態調節機能の発現を目的とした乳素材の開発に、クロマト

分画技術、酵素分解技術が駆使され、多くの生理活性を有する新素材が次々と市場に出現した。これらはいずれも健康に貢献する食品を企画するうえで有用な素材となっているが、特に乳たん白質の酵素分解物であるペプチドは、潜在型の生理活性ペプチドとして積極的な利用が期待できる。

人口構成の高齢化は急速に進んでおり、これから人類史上では例を見なかった高齢社会の出現に遭遇することとなるが、このときこそ健康に貢献する食品素材の役割が高まることは必至と思われる。

膜分離技術については、“農協乳業技術情報No.3”の中で「牛乳・乳製品に関する最近の膜技術について⁴⁾」と題して詳しく解説されているのでこれを参照されたい。ここでは、製造技術の説明上必要となるので要点のみの説明にとどめ、主に膜分離技術によって生産され、市場に出ている新しい乳製品および、分画技術や酵素分解技術によって牛乳やその成分から作り出された新素材を中心に、高度利用という面から製法、特徴、使用例や物理的および生理的機能性などをまとめて概説することにした。

2. 乳業における膜分離技術の概要

乳業分野で利用されている膜分離技術としては、逆浸透法（RO：Reverse Osmosisの略）、ナノ濾過法（NF：Nanofiltrationの略）、限外濾過法（UF：Ultra filtrationの略）、精密濾過法（MF：Micro filtrationの略）、イオン交換膜電気透析法（ED：Electrodialysisの略）及び一般濾過法を掲げることができるが、これらの技術の概要を表1に、また膜分離技術と分離対象物質の大きさとの関係を図1に示した。

表1 乳業分野で利用されている膜分離技術の概要

種 類	膜の種類	使用目的	応 用 例
逆浸透法(RO)	逆浸透膜	水の分離・濃縮	ホエーの濃縮、濃縮乳の製造、排水処理
ナノ濾過法(NF)	ナノ濾過膜	水の分離・濃縮	ホエー、牛乳の脱塩濃縮
限外濾過法(UF)	限外濾過膜	低分子物質と高分子物質の分離	WPC、TMPの製造 たん白濃縮乳の製造
精密濾過(MF)	精密濾過膜	菌体・微粒子の分離	空気の除菌・清浄化、 チーズ用生乳の除菌、脱脂乳、 ホエーの除菌
イオン交換膜電気透析法(ED)	イオン交換膜	電解質の分離、脱塩	牛乳・ホエーの脱塩 育児用粉乳の製造
一般濾過(F)	濾布・濾紙	粒子の分離	混入物、異物の除去

次にそれぞれの膜分離技術の特徴と、処理された牛乳などの特性について要点を述べる。

牛乳成分の高度利用

大きさ	領域	観察器	粒子	ろ材
50 μ	ダスト	白色顕微鏡	花粉	ケイソウ土ろ過
20 μ	懸濁質領域	紫外線顕微鏡	ココア粉粒	セラミックろ材
10 μ		電子顕微鏡		スクリーン・焼結金属ろ材
5 μ		顕微鏡		各種繊維ろ材
2 μ		顕微鏡		各種ろ材
1 μ	コロイド領域	顕微鏡	病原菌 コレラ菌 チフス菌 破傷風菌 他	U F 透膜
0.5 μ		顕微鏡	成人血液細胞	アルファ アミラーゼ ペクター アミラーゼ ウレアーゼ
0.2 μ		顕微鏡	ウイルス 天然痘ウイルス 狂犬病 インフルエンザ 肺炎ウイルス 他	各種たん白質
0.1 μ		顕微鏡	小児麻痺ウイルス	各種たん白質
0.05 μ 500A	低分子領域	顕微鏡	ヘモグロビン 各種アルブミン	R O 透膜
100A		顕微鏡	シヨ糖	
50A		顕微鏡	グルタミン酸 イオン低分子 Zn ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Ca ⁺ Na ⁺ K ⁺	
10A		顕微鏡	2.8A・H ₂ O	
5A	低分子領域	顕微鏡		
1A		顕微鏡		

図-1 粒子の大きさとろ材の関係

(1)逆浸透法

逆浸透法の特徴は、水を分離除去して、無加熱の条件下で濃縮ができることにある。その原理を説明すると、半透膜を介して水とのその水より濃い溶液（脱脂乳やホエーなど）が在る場合、濃い溶液側に浸透圧以上の圧力を加えることによって、濃い溶液中の水が半透膜を透過して水側に移動するという、正常な浸透の逆な浸透を原理として成り立っている濾過法である。通常30～50kg/kℓの加圧下で濾過すると、低分子の成分を透過させずに

殆ど水だけが濾過されて除去されるので、栄養価の損失や、たん白質の熱による変性などの品質変化もなく、そのうえエネルギー費も蒸発法の1/17と低い条件で濃縮できる。しかし濃縮が進むにつれて浸透圧が増大するので、濾過効率は著しく低下し、30%内外の固形分含量までの濃縮が限界とされている。最近、逆浸透膜とナノ濾過膜との組み合わせによる多段化システムとすることで、濃縮限界を上昇する試みがなされている⁵⁾。

ホエーの濃縮、脱脂乳の濃縮などに適しており、一例としてデンマークでは、ヨーグルトの製造時に脱脂粉乳などの乳製品を添加して牛乳の固形分濃度を高めることが認められていないので、牛乳を濃縮する以外に方法がないが、エバポレーターによる方法に代えて逆浸透法による濃縮が早くから採用されてきた。

逆浸透法で濃縮された牛乳は風味が良好であり、またこの濃縮乳でつくられたヨーグルトは粘度が高く、良好なカードが得られて、脱脂粉乳添加のものと比べて優れた品質のものとなる。

(2)ナノ濾過法

ナノ濾過法は、逆浸透法による濾過をより効率よくする目的で膜の改良が行なわれる中で出現した濾過技術で、逆浸透法と限外濾過法の間隔的な性能と言える。ナノ濾過膜は逆浸透膜と比べて食塩阻止率が低いので、脱水と脱塩が同時にできる特徴があるが、イオン交換膜電気透析法のような高い脱塩率を達成することはできない。

ホエーの脱塩では、カルシウムやマグネシウムといった2価イオンの除去率が悪く、塩素、カリウム、ナトリウムなどの1価イオンの除去率が高いという結果が得られている⁶⁾。

(3)限外濾過法

高分子やコロイドのような浸透圧を殆ど示さない物質を分離・濃縮する技術を限外濾過法と呼んでいる。

牛乳のように多くの成分からなっている場合は、高分子成分であるたん白質や脂肪および、これらに結合した成分を選択的に濃縮し、乳糖や遊離の塩類などを除去することが可能となる。牛乳を限外濾過すると、牛乳の成分組成は大きく変化する。著しく増大する成分はたん白質、脂肪、カルシウム、マグネシウム、燐で、逆に減少する成分は乳糖と塩素で、この結果、新規な組成および特殊な機能を持った牛乳に生まれ変わることになる。

脱脂乳を限外濾過法で濃縮して全乳たん白質濃縮物（TMP：Total Milk Proteinの略）が、またホエーを処理してホエーたん白濃縮物（WPC：Whey Protein Concentrateの略）がつくられている。

一般にチーズの製法といえば、牛乳に凝乳酵素であるレンネットと乳酸菌を加え、カー

牛乳成分の高度利用

ドが形成されてからホエーを排除するのが手順であるが、一部の軟質チーズやフェタチーズでは、牛乳を限外濾過によってチーズの組成まで濃縮し、これにレンネットと乳酸菌を加えて型に入れ、ホエーを排除しない方法でつくられている。この方法ではホエーたん白質はチーズ中に残るため、従来のチーズと成分組成は異なるが、牛乳当りのチーズの収率は増大する。また限外濾過した牛乳でヨーグルトを製造すると、たん白質とカルシウムの含有量が増大する結果、後発酵方式のヨーグルトではカードが固く引きしまった組織のもので、前発酵方式の攪拌タイプのヨーグルトでは、高粘度のものが得られたとする報告がある⁷⁾。

(4)精密濾過法

0.025~10 μ mの微粒子の分離が目的の膜で、無菌タンク用の空気の除菌、清浄空気の供給に用いられる。

牛乳の除菌には、1.4 μ mの孔径の膜が使われるが、脂肪球も細菌と同様に膜の透過ができないので、予め脂肪を分離した脱脂乳を50~55℃の温度で濾過すると、99.8~99.9%除菌された脱脂乳を得ることができる。別に殺菌したクリームと混合することで、低温殺菌やHTST殺菌したものより除菌率の高いものが得られることになる。

チーズの製造時に、原料乳を高温の条件で殺菌すると、一時的に可溶性カルシウムが減少するのでレンネットによるカゼインの凝固性が低下し、チーズの品質が損なわれる。したがって原料乳はHTST法や低温殺菌などの方法で加熱殺菌されるが、この方法での殺菌率はおよそ97%であって、大半の孢子が残存したうえに細菌の生き残りが多いため、チーズの熟成中に異常膨張を引き起こす危険度が高くなる。

精密濾過では加熱することなく、しかも除菌率が99.8~99.9%と高いので、チーズの原料乳の除菌法として優れた効果を発揮している。

またホエー中には若干の脂肪が含まれているので、ホエーを精密濾過すると脂肪が除かれ、脂肪含量の少ないホエーやWPCの製造が可能となる。この場合0.1 μ mの孔径の精密濾過膜が使用される⁸⁾。

(5)イオン交換膜電気透析法

この方法は、陽イオンは透過させるが、陰イオンは透過させない陽イオン交換膜と、陰イオンは透過させるが陽イオンは透過させない陰イオン交換膜とを交互に配列して、電極間に多数の隔室をつくり、電極間に直流電流を流して、溶液（牛乳）中のイオンを脱塩室から濃縮室に膜を透過させて分離する、脱塩と濃縮とを同時に行なわせる方法である。ホエーまたは脱脂乳を脱塩室に、食塩水を濃縮室に供給することにより通電すると脱塩と濃縮が行なわれる。この方法では、陽イオンとしてはカリウムが、また陰イオンとしては塩

牛乳成分の高度利用

素が脱塩の初期より急速に除去され、それらが約90%除去された後に引き続いてカルシウムや燐が除去されるようになる。これはカルシウムや燐が、カゼインと結合してカゼインミセルを形成しているためと考えられている。このことは電気透析法では、牛乳中に存在するイオンを時差的に選択除去することが可能であることを意味しており、塩類含量の調整が求められる育児用粉乳などの製造には最適の方法である。またホエーや脱脂乳の脱塩、カゼイン分解物の脱塩などにも利用されている。イオン交換膜電気透析法の原理図を図2⁹⁾に示した。

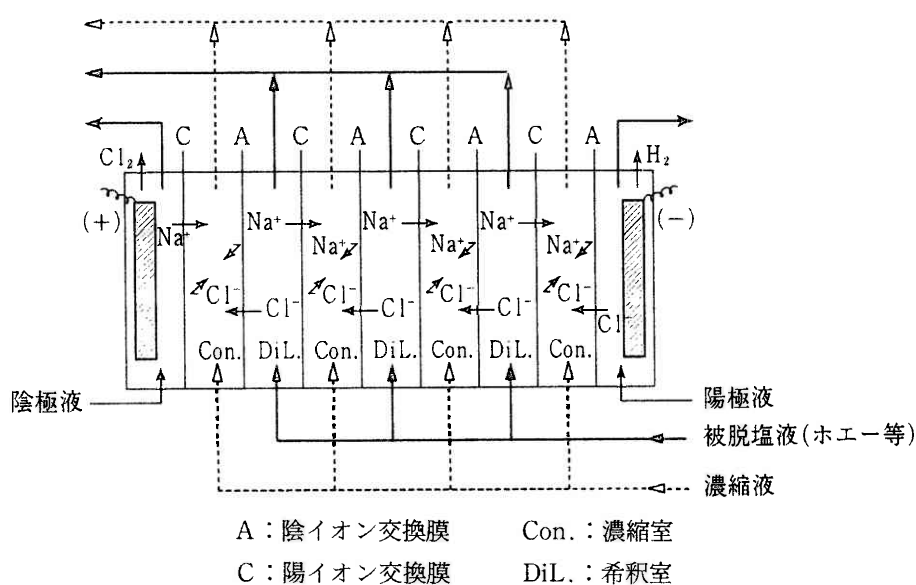


図2 イオン交換膜電気透析法の原理図

3. 膜及びイオン交換分離技術によってつくられた牛乳からの新素材

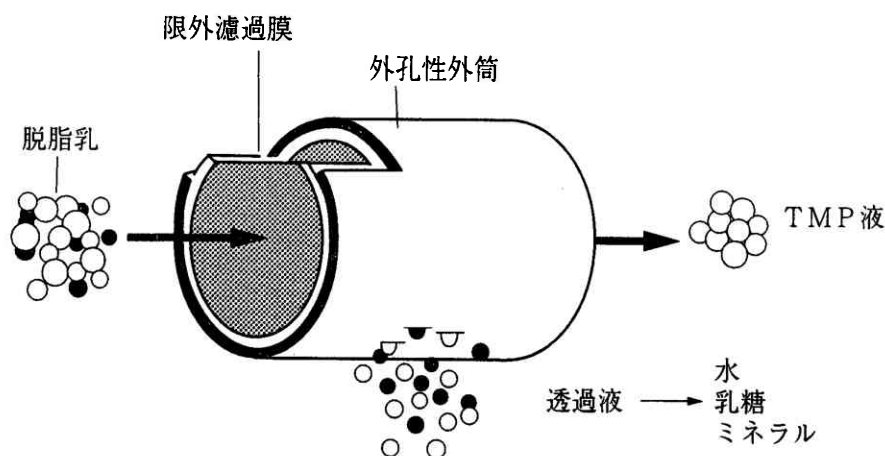
近年、膜分離技術の進歩によって、乳由来の新素材が次々に開発されて実用に供されている。それらのうちから乳たん白質の素材についてその製法や特性などを概説する。

(1) 乳たん白質濃縮物（TMP：Total Milk Proteinの略）

MPC（Milk Protein Concentrateの略）とも呼ばれる場合もあるが、MPCは牛乳中のたん白質をUF濾過で濃縮し粉末化したもので、カゼインとホエーたん白質とが非複合体の状態で共存しているのに対し、TMPは脱脂乳のpHを調整することでカゼインとホエーたん白質との複合体を形成させ、それを回収して粉末化したもので、カゼイン85%、ホエーたん白質15%の構成比率からなる複合体をさす場合もある。ここではMPCとTMPを同一物とし、脱脂乳をUF膜で処理した濃縮物として取り上げた。

TMPは、脱脂乳から限外濾過によって製造されるマイルドなミルクフレーバーを持ち、高い結合カルシウム含量の、優れた熱安定性と乳化性をもった粉末の乳たん白質製品である。

牛乳成分の高度利用

図3 限外濾過の原理¹⁰⁾

脱脂乳中のカゼインミセルとホエータン白質を変性させることなく限外濾過膜で濃縮し、乳たん白質を乾物中80%以上に精製し乾燥させたものである。この工程の基本を図3に示した。

(成分組成と栄養価)

水と比較的低分子量の乳糖（分子量342）や可溶性のミネラル等は、膜を透過して濾過液として分離され、高分子量のたん白質や結合型のミネラルは、膜を透過することができないので保持されたまま濃縮される。非たん白態窒素は分子量が小さいので

透過液（パーミエイト）と一緒に出る。この結果TMPの成分組成を脱脂粉乳と比較すると表2のようになる。脱脂粉乳と比較してたん白質の含有量は2倍強に増加しているが、乳糖は約1/8に減少している。カルシウムとリンはカゼインミセル中にコロイド状のリン酸カルシウムとなっているものが多いので、濃縮されて増大している。

TMPの構成たん白質は、カゼインとホエータン白質とから成るためにきわめてよいアミノ酸組成を示し、生物価、消化率、正味たん白質利用率、たん白質効率などのたん白質の栄養価を示すパラメーターは牛乳と殆ど同じ値とみてよい。

(溶解性と粘度)

TMPは密度の高いたん白質構造をもつので、水との結合が少なく、溶解に多少時間がかかる。

適切な溶解条件は、40～60℃の温度のもとで15～30分間攪拌する方法が好ましい。密度の高いたん白質構造のため溶解後の液の粘度は低いものとなり、高たん白質溶液ながら低

表2 脱脂粉乳とTMPの成分組成の比較¹⁰⁾

	脱脂粉乳	TMP
たん白質 (N 6.38)	36 %	80 %
乳糖	51.3%	6.5%
無機質	7.7%	6.5%
脂肪	1.0%	2.0%
水分	4.0%	5.0%
ナトリウム	4,800 ppm	1,100 ppm
カリウム	16,500 ppm	2,400 ppm
カルシウム	12,500 ppm	23,300 ppm
マグネシウム	1,250 ppm	950 ppm
リン	10,000 ppm	14,500 ppm
塩素	11,000 ppm	500 ppm

牛乳成分の高度利用

粘度であることは、臨床栄養食品（流動食）などへの利用を容易にしている。

（熱安定性と乳化安定性）

熱安定性は、粒子の大きさの分布変化、眼に見える凝集の度合、粘度の増加と沈澱傾向の変化などから見るができるが、たん白質含量5%と脂肪5%含有のエマルジョンで130℃、4.8分と130℃13分の加熱後に粒子サイズの変化で安定性を調べたところ、加熱前で0.66 μ mのものが、130℃で13分の加熱後も0.65 μ mで殆ど変化が見られず、高い熱安定性をみせた。また栄養流動食を試作し、142℃と147℃で2.9秒間のUHT処理したが何れも不安定性はみられなかったとしている¹⁰⁾。

以上のようにTMPは高い栄養価と高いカルシウム含量を持ち、熱および乳化安定性に優れ、しかもミルキーなフレーバーを有する特徴を備えているので、その応用領域は表3¹⁰⁾に示したように広いものとなっている。

表3 TMP (MPC) の用途

製 品 特 性	応 用 領 域
*たん白質の質	高たん白エネルギー飲料、臨床（経腸）栄養・流動食、プロテイン・タブレット、ビスケット、たん白補給
*たん白強化	ダイエット調整品、ビスケット、老人食、スポーツ食、高たん白エネルギー飲料、食餌代替物、乳製品、ペーカリー製品
*カルシウム強化	乳製品、老人食
*感覚器官受容性	高たん白エネルギー飲料、プロテイン・タブレット、食餌代替飲料、スポーツ食、低カロリーチョコレート、乳製品、老人食
*粘度	ヨーグルト、臨床（経腸）栄養・流動食
*熱安定性	臨床（経腸）栄養・流動食、高たん白エネルギー飲料、乳児用調整乳
*乳化性および安定化性	臨床（経腸）栄養・流動食、食餌代替物、ダイエット用濃縮脂肪、畜肉魚肉練り製品、ドレッシングおよびソース
*起泡性	低カロリーデザート、低カロリーアイスクリーム
*密度改良性	畜肉魚肉練り製品
*圧縮性	プロテイン・タブレット

(2)ホエーたん白濃縮物（WPC：Whey Protein Concentrateの略）とホエーたん白分離物（WPI：Whey Protein Isolateの略）

チーズの生産量が増大するなかで、ホエーの生産量は70万トンの規模に達し、ホエーパウダー、WPC、WPIなどの形でホエー中のたん白質は利用されている。

今迄ホエーたん白質は、栄養学的な価値での利用が多かったが、近年になって栄養以外の機能、即ち物性改良機能や生理活性機能としての利用が増大している。

WPCは、チーズホエーや酸ホエーからUFとDF（Dia Filtration＝加水濾過）法によってホエーたん白質を分離濃縮することで製造されている。WPCの一般的な製法を図4¹¹⁾に示したが、さらにイオン交換クロマトグラフィーによってホエー中のたん白質のみを吸

牛乳成分の高度利用

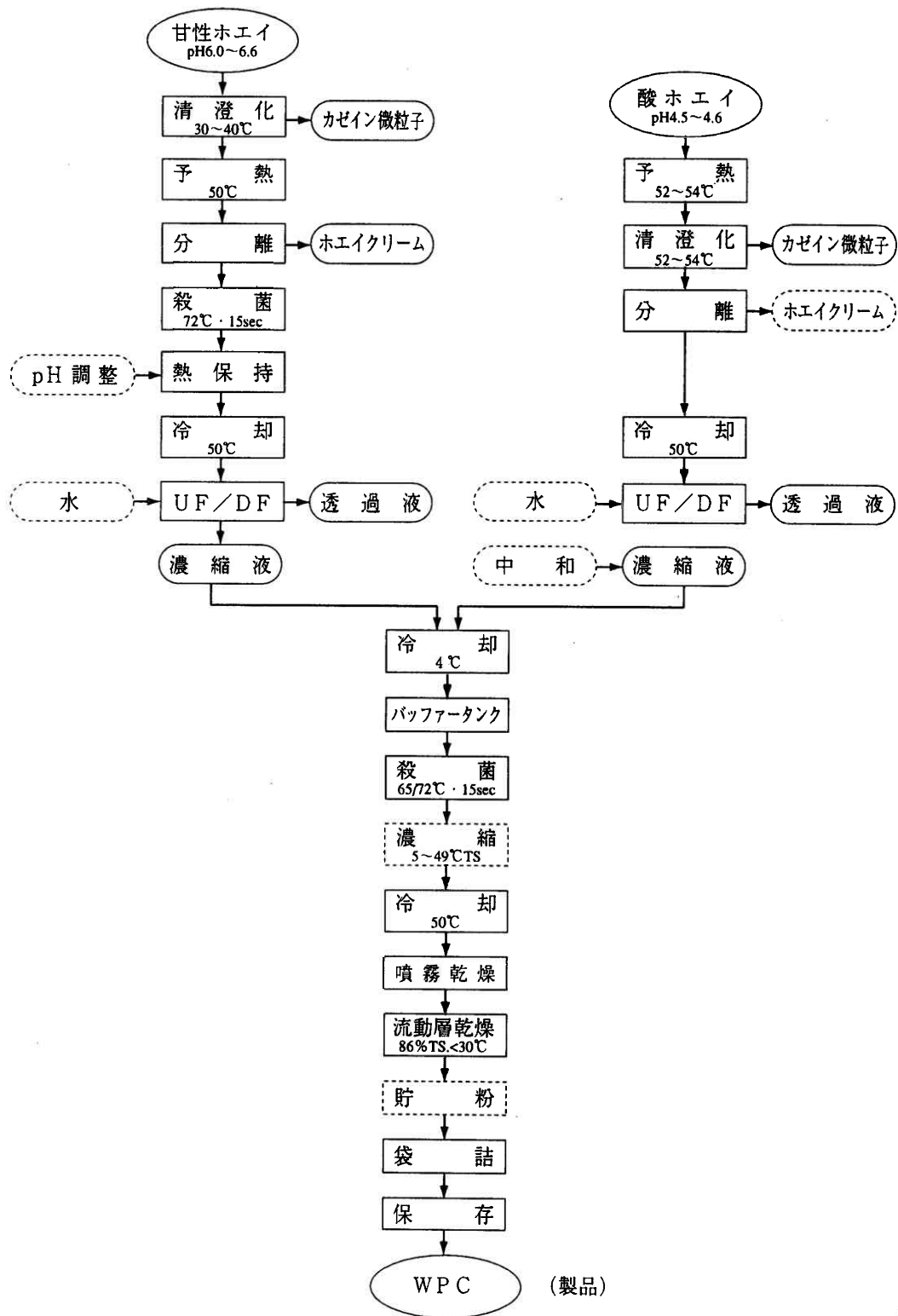


図4 WPCの一般的製法¹¹⁾

牛乳成分の高度利用

着分離するとWPI（ホエーたん白質離物）となる。

WPCには、たん白質含有量が35%、50%、65%、80%の種類があり、90%までたん白質の含有量を高めることは可能であるが、たん白質90%以上で脂肪や乳糖が1%以下に精製されたものがWPIとして販売されているので、通常は80以下のものとして製造されている。

ホエーを限外濾過した場合の濃縮液（WPC液）の組成と透過液（パーミエイト）の組成の様子を一例として表4に示した。

この表から明らかなように、濃縮液の成分変化は大きく3つに分けられる。即ち、①著しく増加する成分は固形分、たん白質、灰分、カルシウム、マグネシウム、リンで、②軽度

表4 ホエー100gをUF濃縮した場合の理論式による濃縮液組成と透過液組成の一例⁹⁾

濃縮倍率 (wt・wt ⁻¹)	UF濃縮液										UF透過液*
	1	3	5	10	20	30	50	70	100	167	—
ホエー量 (g)	100	33.3	20.0	10.0	5.00	3.33	2.00	1.43	1.00	0.60	—
固形量 (g)	5.62	2.64	1.94	1.34	1.00	0.87	0.76	0.70	0.66	0.60	5.02
固形分濃度 (%)	5.62	7.93	9.69	13.43	20.0	26.15	37.86	49.16	65.62	100.0	5.32
タンパク質量 (g)	0.73	0.62	0.59	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.55	0.55	
タンパク質/固形 (%)	13.0	23.3	30.5	42.5	56.0	63.9	73.1	78.6	84.0	91.7	3.59
脂肪量 (g)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	—
脂肪/固形 (%)	0.7	1.5	2.1	3.0	4.0	4.6	5.3	5.7	6.1	6.7	0.0
乳糖量 (g)	4.06	1.65	1.08	0.60	0.32	0.22	0.13	0.08	0.05	0.00	4.06
乳糖/固形 (%)	72.2	62.5	55.8	44.7	32.4	25.2	16.8	11.8	6.9	0.0	80.9
灰分量 (g)	0.45	0.17	0.11	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.44
灰分/固形 (%)	8.0	6.6	5.8	4.8	3.7	3.2	2.6	2.3	2.0	1.7	8.76
Na量 (mg)	43	16.0	10.0	5.3	2.7	1.7	1.0	0.6	0.3	0.0	43.6
Na/固形 (%)	0.77	0.61	0.52	0.39	0.27	0.20	0.13	0.08	0.05	0.0	0.8
K量 (mg)	158	58.8	37.2	20.2	11.1	7.9	5.2	4.0	3.0	2.0	156
K/固形 (%)	2.81	2.22	1.92	1.50	1.10	0.90	0.68	0.56	0.46	0.33	3.11
Cl量 (mg)	100	31.1	17.9	8.3	3.7	2.3	1.1	0.6	0.3	0.0	100
Cl/固形 (%)	1.78	1.18	0.93	0.62	0.37	0.26	0.15	0.09	0.04	0.0	1.99
Ca量 (mg)	37	17.3	12.5	8.4	6.0	5.0	4.2	3.8	3.5	3.0	34
Ca/固形 (%)	0.66	0.65	0.65	0.63	0.60	0.58	0.56	0.54	0.53	0.50	0.68
Mg量 (mg)	7.5	3.5	2.5	1.7	1.2	1.1	0.9	0.8	0.8	0.7	6.8
Mg/固形 (%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.14
P量 (mg)	37	16.2	11.3	7.2	4.8	3.9	3.1	2.7	2.4	2.0	35
P/固形 (%)	0.66	0.61	0.58	0.53	0.48	0.45	0.41	0.39	0.36	0.33	0.70
クエン酸量 (mg)	137	59.0	39.6	22.8	12.8	8.9	5.3	3.6	2.0	0.0	
クエン酸/固形 (%)	2.44	2.23	2.05	1.70	1.28	1.02	0.70	0.51	0.31	0.0	2.73

*UF膜透過画分全量

注) ホエー固形分5.62gのうち乳酸やガラクトースと考えられる0.2g分の未分析部分が存在する。

に増加する成分はナトリウム、カリウム、クエン酸。更に③減少する成分は乳糖、塩素となる。

このようにホエーを限外濾過すると、高分子成分であるたん白質およびこれに結合した成分を選択的に濃縮することができ、新規な組成と機能をもつものへと変身させる。

固形分当りのたん白質含有量が80%以上のWPCは、輸入自由化品目として扱われ、わが国への輸入量は年々増加する傾向にある。また平成10年の「乳等省令」の一部改正（平成10年4月1日施行）で、乾燥重量におけるたん白質含有量が15～80%の「たん白質濃縮ホエーパウダー」は乳製品と定義されることになったので、一般市場に出回っているたん白質含有量36%、50%、65%のWPCは、食品に添加した場合、いずれも乳固形分として計算し表示することが可能となったので、今後の利用は更に伸びて活発化することが考えられる。

WPCを更にセルロースを基材として、カルボキシメチル基やスルフォプロピル基を導入した樹脂にpH3.2の酸性下でたん白質を吸着させ、非吸着の乳糖、灰分を素通りさせた後、樹脂を水洗し、樹脂に吸着したたん白質を希アルカリで容出させ、UF膜で更に濃縮してから噴霧乾燥するとWPIとなる。

WPCは、①アミノ酸組成が優れている。②ホエーたん白質の純度が高く、たん白質の加熱変性度が少ない。更に酸性域での溶解性に優れている。③加熱によって大きなゲル化力を示す。などの特徴を有するが、一方製造時の熱履歴が少ないために、製品中の細菌数が一般的に多いという欠点がある。ホエーたん白質を形成する重要なたん白質は β -ラクトグロブリンと α -ラクトアルブミンであるが、これらたん白質分子の立体構造は、部分的には疎水性アミノ酸の疎水結合によって保たれ、分子内のジスルファイド結合によって安定した球状構造となっている。60℃以上に加熱されると、球状の分子は展開する傾向にあり、これによって疎水性アミノ酸残基が環境にさらされ、他の分子との間に不可逆的な凝集を起こすことになる。この他凝集には、遊離の2価イオンの影響もあるが、このような熱に対する弱さのために、ホエーの殺菌のための加熱処理は、どうしても制約を受けることになるので、ホエーたん白質に加熱変性を与えない加熱以外の方法、例えば遠心除菌、MF濾過除菌などによって菌数の低減につとめるか、十分な衛生管理と、菌数の少ないホエーを原料として選ぶことが、細菌数の少ないWPCをつくるうえで重要な課題となってくる。

WPCの利用例と使用目的を列記すると表5のようになる。表で見られるようにWPCは、栄養学的な特性や物生改良機能に注目が集まり多くの用途に使用されている。ヨーグルト、酸性乳飲料、栄養食品などでの利用の伸びが特に高く、ハム、ソーセージの食感改善あるいはドリップ抑制を目的として卵白に替って使用されるケースも増えている。卵白の相場変動が激しいこともWPCに優利な条件となっている。スポーツ用の食品や、腎疾

牛乳成分の高度利用

表5 食品へのWPCの利用例

利用分野	使用例	使用目的
飲料	低脂肪乳、チョコレート、ドリンク、フルーツ飲料、酸性飲料	溶解性、乳化性、安定性、栄養性
乳製品	チーズ用食品、スプレッド、クリーム類、アイスクリーム、氷菓	乳化力、ホイップ性、展延性、組織改良、フェザリング防止、保水性、粘性、ゲル化性
肉・水産練製品	ソーセージ、ハム、ミートペースト、水産練製品	栄養性、風味向上、乳化性、結着力、ゲル化性、保水性
油脂食品	粉末油脂、ショートニングスプレッド、ドレッシング	乳化性 ホイップ性
ベーカリー（パスタ）	パン、ビスケット、クッキー、ケーキ	栄養性、乳化性、風味向上、焼色改善、組織改良、結着力、発酵時間短縮、ゲル化性
菓子、デザート類	フラッペ、メレンゲ、ホイップトッピング、ムース	栄養性、組織改良、ホイップ性、乳化性、起泡安定性
乳幼児食品	育児用粉乳、低ナトリウム乳、低アレルギー乳	栄養性、低アレルギー性、低ナトリウム性
医薬品化粧品		乳化性、保水性、ゲル化性、栄養性

患の患者用のたん白質補給用としても需要は伸びる傾向にある。

WPIはたん白質含量95%以上でたん白質の純度が高く、すべての加工特性の点でWPCより優れており、価格が割高であるにもかかわらず生産量は増加している。

以上のように膜技術の進歩により、たん白質含量の高いホエーたん白質素材の開発が進み、ホエーたん白質のもつ機能を有効に利用できるようになった。

ホエーたん白質は、pHや塩類の影響を受け易く、加熱によって硬くて脆いゲル生成する。しかし、たん白質濃度を6～10%に調整し、低い塩類のもとで70℃以上に加熱を行ってもゲルは生じず溶液の状態のままであるが粘度は上昇し高分子化の現象がみられる¹²⁾。このものに更に塩や酸を添加すると、加熱によって得られるゲルとは異った弾力性に富むゲルとなる。ホエーたん白質の加熱によって得られるゲルは、たん白質の構造が球状のままであるが、このものは、太く短い線状の凝集体を形成し、酸や塩の添加で更に凝集体が会合し粘度変化を伴って網目構造のゲルとなる¹³⁾。このことは、ハム、ソーセージなどの畜肉製品に用いると、原料肉や調味料中の塩類によって増粘し弾力性のあるゲルとなるために加熱時のドリップ防止や製品の収縮を抑える作用は、従来のホエーたん白質の使い方に比べ増大する。畜肉製品以外では、脱脂粉乳に混ぜて使用すると、粉乳中のミネラルによってゲルを形成するので、他のゲル化剤を使わずに、乳原料のみでプリンやゼリーをつくること出来る。また酸性の果汁でもゲル化するのでフルーツゼリーをつくることも可能となる¹⁴⁾。

牛乳成分の高度利用

ホエーたん白質は今まで育児用粉乳の栄養強化や母乳に近い組成につくり変える目的や畜肉製品の増量剤、ゲル化剤、乳化剤等の目的で使用されるケースが多かったが、これからはホエーたん白質素材が種々製品化され、使用し易い状況になっているので、製品の特性を十分に認識し、新製品の開発に利用することが望まれる。

(3)分画ホエーたん白質

前項でWPI（ホエーたん白質単離物）について簡単に紹介し、膜濾過以外にイオン交換樹脂という新規の分離剤が登場することによってたん白質の純度を95%以上にあげWPIが登場したことを述べた。最近ではWPIより更に精密度を高め、ホエーたん白質を構成する各成分を個別に分離した分画ホエーたん白質がつくられ、実用化の段階に入っ

表6 ホエーたん白質の組成と性質

ホエーたん白質	ホエーたん白質中の含量(%)	含有量(g/ℓ)	等電点	分子量
β -ラクトグロブリン	50	3.0	5.35	18,362
α -ラクトアルブミン	12	0.7	4.2~4.5	14,146
免疫グロブリン	10	0.6		
Ig G1			5.5~6.8	161,000~163,000
Ig G2			7.5~8.3	150,000~154,000
Ig A				385,000~417,000
Ig M				1,000,000
血清アルブミン	5	0.3	5.13	69,000
プロテオースペプトン	0.23	1.4		

いる。

分離対象となる主要なホエーたん白質は、 β -ラクトグロブリン、 α -ラクトアルブミンであるが、ホエー中に含まれるたん白質の組成と性質を表6に示した。

ホエーたん白質より分画ホエーたん白質を製造するには、食塩による透析法で、溶解度の差を利用して β -ラクトグロブリンをホエー中から取り出す方法¹⁵⁾、ヘキサメタリン酸ナトリウムで β -ラクトグロブリンを沈澱させる方法¹⁶⁾、等電点付近で加熱して溶解度の差を利用して α -ラクトアルブミンと β -ラクトグロブリンを分離回収する方法¹⁷⁾、ゲル濾過法¹⁸⁾、膜分離法¹⁹⁾などがあるが分解度を高めるのに容易ではないものもあり、最近ではイオン交換樹脂法が採用されている。

イオン交換樹脂法は、一例としてカルボキシメチルセルロース系陽イオン交換体に、等電点以下のpHにしたホエーのたん白質を吸着させ、pHと食塩濃度を変えて吸着たん白質の分別溶出を行なう方法である。

分画ホエータン白質は、前述のWPCやWPIとは異なった栄養生理学的特性や食品タン白質としての加工特性をもっている。

栄養生理学的特性の例として育児粉乳のタン白質組成の母乳化に利用されており、母乳には β -ラクトグロブリンが含まれていないので、牛乳ホエータン白質から β -ラクトグロブリンを選択的に除去することで母乳に近似した育児粉乳の製造に役立っている。また、 β -ラクトグロブリンは、胃の酸性pH域でもペプシンによる分解性が悪く、高分子のまま小腸に届く率が高いと考えられており、これがアレルギー性の強さに関連するので、ホエータン白質中の β -ラクトグロブリンを除去することで低アレルギー化を進めることになる。その他、 α -ラクトアルブミンを添加することで、食品中のシステインとトリプトファンを強化し、アミノ酸組成の改良に役立てることができる。

加工特性の立場からは、 β -ラクトグロブリンの添加が強いゲルの形成に役立ち、ヨーグルトのゲルを強化し組織の改善がみられる。

ヨーグルトの製造に使用されている乳酸菌の増殖促進効果を、*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*について、WPCや β -ラクトグロブリン、 α -ラクトアルブミンを添加して比較したところ、WPCほどではないが β -ラクトグロブリンや α -ラクトアルブミンにも、乳酸菌の菌数を増大し、酸度上昇も促進させる効果があることが明らかにされている²⁰⁾。発酵食品への新しい利用の拡がり期待される。

(4)ラクトフェリン (LF)

ラクトフェリンは、牛乳やホエーからイオン交換クロマト法や、ヘパリンカラム、抗ラクトフェリンモノクローナル抗体固定化カラム等の樹脂に吸着させる方法で分離、精製される1本のポリペプチド鎖とガラクトース、マンノース、フコース、N-アセチルグルコサミンおよびシアル酸を含むヘテロな糖鎖をもつ分子量約78,000の糖タン白質である。牛乳1kg中に僅かに0.1g程度しか含まれていないので、牛乳やホエーからの回収は容易でなくその分価格が高くなることはやむを得ないが、最近ヨーロッパでは、余剰の初乳から効率よく回収する方法でつくられるようになり²¹⁾大量入手が可能となった。初乳には常乳の10～20倍量が含まれている²²⁾。

牛乳、脱脂乳、ホエーなどからラクトフェリンを分離する方法については表7に示すように多くの特許があり、製造コストを下げるために、樹脂の選定、工程の簡略化などが出願の目的となっている。

モノクローナル抗体やヘパリンを固定化した樹脂にラクトフェリンを吸着させる方法は、高純度のものが得られる利点はあるが、抗体やヘパリンの価格が高くつく欠点がある。イオン交換クロマト法で樹脂に直接ラクトフェリンを吸着させる方法では、塩基性タン白質であるラクトパーオキシダーゼも同時に吸着する場合もあり、両者を一回のクロマ

牛乳成分の高度利用

表7 特許に開示されたラクトフェリンの製造法

特許番号	製 造 法	出 願 人
特開 昭61-145200	LFに対するモノクローナル抗体を樹脂に固定化しカラムに充填する。脱脂乳やホエーを通液し、吸着したLFをpH3~4の酢酸緩衝液で溶出後、脱塩・凍結乾燥する。回収量1.2g/樹脂1L。純度98%以上。流速1.25BV/min。	雪印乳業(株)
特開 昭61-246198	アルギネートゲルと乳を混合・攪拌後、カルシウム溶液で洗浄する。次いで、CaCl ₂ 10g/L, NaCl 40g/Lを含む液で吸着たんぱく質を溶出する。回収量30g/ゲル1kg。これはLF10g、ラクトパーオキシダーゼ1.25gを含む混合物。	オレオフィナ・ソシエテ・アノニム (ベルギー)
特開 昭62- 19523	ホエーの濃縮液をカチオン交換体(CM-Sepharose)に通液し、りん酸緩衝液で洗浄後、0.3M食塩を含む同緩衝液でLFを溶出させる。脱塩後凍結乾燥する。回収量0.03g/樹脂1L。純度不明。流速0.1BV/min	ルセルーユクラフ (仏)
特開 昭63-152400	脱脂乳をカチオン交換体 (CM-Sephadex など) と混合、攪拌後、樹脂をカラムに充填し、水で洗浄する。次いで、5%食塩水でLFを溶出する。回収量8.8g/樹脂1L。純度84%以上。	森永乳業(株)
特開 昭63-255299	ヘパリンをセルロースやキトサンに固定化し、乳を通す。食塩水で洗浄後、吸着したLFを0.5M食塩水で溶出する。回収量1.75g/樹脂1L。純度98%。流速0.5BV/min。	雪印乳業(株)
特開 昭63-255300	多糖類 (キトサンなど) にスルホン基を導入した樹脂をカラムに充填し、脱脂乳を通す。食塩水で洗浄後、1M食塩水でLFを溶出させ、脱塩・凍結乾燥する。回収量6g/樹脂1L。純度95%。流速0.3BV/min。	雪印乳業(株)
特開 昭64- 86839	CM-SpheredexをDEAEデキストランで覆った樹脂およびSP-Trisacryl樹脂の2本のカラム、あるいはDEAEデキストランで覆われたCM-SpheredexおよびSP-Spheredexの2本のカラムを用い、ホエーを通液後、食塩水でLFおよびラクトパーオキシダーゼ (LPO) を別々に分離する。回収量LF4.8g/樹脂1kg、LPO3.7g/樹脂1g。純度不明。流速樹脂4kg当たり100L/hr。	エンタumont・ソシエテ・アノニム (仏) ソシエテ・ナショナル・エル・アクウインティン (仏) 供願
WO89/04608	S-Sepharoseを充填したカラムにホエーを通液し、りん酸緩衝液で洗浄する。LPOは0.3M食塩を含む同緩衝液で、LFは0.9M食塩を含む同緩衝液で溶出される。溶出液はゲル濾過で脱塩し、凍結乾燥する。回収量LPO24g/樹脂1L、LF36g/樹脂1L。純度各々87%。流速1.25BV/min。	Svenska Mejeriernas Riksförenings Ekonomi-Aktiebolag (スウェーデン)

BV: Bed volume

トで別々に溶出するのは困難で、再度のクロマトの実施が必要となる。溶出されたラクトフェリンとラクトパーオキシダーゼはそれぞれ、限外濾過あるいはゲル濾過で脱塩されたのち、凍結乾燥され製品化される。

ラクトフェリンは熱に不安定であり、一般的には65℃以上の加熱で変性すると考えられ、凍結乾燥するしか方法がないとされてきたが、ラクトフェリンは脱塩さえ充分に行なえば、加熱にも耐え、例えばチャンバーの入口温度150~155℃、出口温度80~90℃の条件

で噴霧乾燥も可能となることも明らかにされている。ラクトフェリンを超純水に溶解して90℃で加熱しても鉄結合能からみた変性度は未加熱品の85%も維持されておりイオン強度が0.001程度、即ち電気伝導度が6mS/cm程あり、イオン強度に直せば0.1程度となるから、牛乳中でのラクトフェリンは熱に不安定となる。牛乳からラクトフェリンを回収する場合も生乳からが条件となる。

種々の食品の中にラクトフェリンを混入する場合は、イオン強度を十分に下げたラクトフェリン濃縮液を別に殺菌しておき、殺菌済みの他の原料と混合することで、ラクトフェリンの変性を防止し、しかも長期間の保存が可能となる。

ラクトフェリンは、抗菌作用、免疫調節作用、鉄吸収調節作用、細胞増殖作用など多彩な生理学的諸機能をもつたん白質として知られているが、ラクトフェリンの発見の時から知られている機能の1つは抗菌作用である。

① 病原性細菌に対する抗菌・静菌作用

ラクトフェリンが大腸菌などの病原菌の増殖を抑制するのは、増殖に必要な鉄をラクトフェリンが吸着し、細菌の利用性を低下させることと、細胞膜に直接作用して細胞膜に障害を与え、リゾチームに対する感受性を増大するためと考えられている²²⁾。

② 免疫調節作用

免疫細胞であるマクロファージや単球、あるいはリンパ球などに存在して、これら細胞の活性を調節している²²⁾。

③ 鉄吸収調節作用

腸管細胞に在るラクトフェリンリセプターの関与によって、生体の必要度に合わせて鉄の吸収促進効果についてはまだ結論はだされていない。

④ 細胞増殖作用

ラクトフェリンは、細胞が増殖するのに必要な鉄を供給するのに重要な役目を果たしており、細胞の増殖効果から、創傷部位の組織修復を速めるのではないかと期待されている²²⁾。

⑤ その他

鉄イオンは脂質の過酸化を促進するが、ラクトフェリンが存在すると鉄イオンを結合するために酸化の進行が抑制される²³⁾。過酸化脂質はラジカルとして老化、動脈硬化、ガンなどの誘発原因となるので、その生成を抑制する効果も注目されるであろう。

ラクトフェリンは外観ピンク色で、たん白質98%、灰分2%以下の粉末状態で主に輸入されており、入手は安易になったので、これからの利用も促進することが考えられる。

(5)ラクトパーオキシダーゼ (LPO)

牛乳に含まれている酵素として量的に比較的多く含まれる（約30～100ppm）酵素で、鉄を1分子含む分子量77,500の糖たん白質である。

ラクトパーオキシダーゼは、前述のラクトフェリンや免疫グロブリン、リゾチーム等と同様に感染を防御する因子で、抗菌作用を持っている。この抗菌作用は、ラクトパーオキシダーゼが牛乳中で過酸化水素を水と活性酸素に分解し、ここで生じた活性酸素が乳中に存在するチオシアン酸イオン（SCN⁻）を酸化してヒポチオシアン酸イオン（OSCN⁻）に変える。このヒポチオシアン酸イオンは、大腸菌などのグラム陰性菌に対して、菌体内のSH酵素を失活させ、さらに菌体膜を破壊することによって行われる。しかし乳酸菌のようなグラム陽性菌は、ヒポチオシアン酸イオンを無害なチオシアン酸イオンに変換する酵素を持っているので、一時的には増殖が抑えられても再び増殖する特徴をもっている。

ラクトパーオキシダーゼが効率よく働くには、約8ppmの過酸化水素と約12ppmのチオシアン酸イオンが必要である²⁴⁾が、牛乳中には1～10ppm程度のチオシアン酸イオンしか存在せず²⁴⁾、過酸化水素とチオシアン酸イオンの添加が必要である。しかしわが国では、過酸化水素やチオシアン酸ナトリウムの添加は法律で認められていない。したがって牛乳の保存や大腸菌の汚染防止対策にラクトパーオキシダーゼを利用することはできない。

しかし、ヨーグルトでは乳酸菌が過酸化水素を産生しており²⁵⁾、牛乳中にはやや不足気味ではあるがチオシアン酸イオンが含まれているので、ラクトパーオキシダーゼのみ添加で、有効利用が考えられる。

ヨーグルト製造に使用する乳酸菌の菌種にもよるが、*Lactobacillus derbrueckii subsp. bulgaricus*（通称ブルガリア菌）を使用してつくられたヨーグルトは、発酵終了後、冷蔵庫に入れて冷却した低温下でも酸度の上昇が顕著にみられる。通常ブルガリア菌は活性が高いので、低温貯蔵しても保存中に酸度が上昇し、消費者よりのクレーム対象となり易い。このアフターアシディフィケーションを防止する目的で、ラクトパーオキシ

ダーゼを添加してヨーグルトを製造する方法が研究され実用化されている。

ラクトパーオキシダーゼが添加のヨーグルトの製造工程を図5に示した。

ラクトパーオキシダーゼの殺菌は、そのまま加熱では失活するので、ナトリウムイオンが共存する場合、イオン強度が増大する程熱安定性が増す²⁷⁾原理を利用し、少量の塩溶液中で65～70℃30分の殺

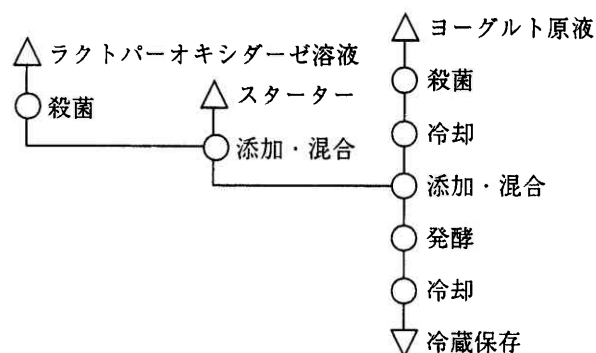


図5 ラクトパーオキシダーゼ：添加ヨーグルトの製造工程²⁶⁾

菌を行なって活性を維持した状態とすることが重要である。

製造したヨーグルトを10°Cで14日間保存した場合、ラクトパーオキシダーゼ 5 ppm添加したもので、殆んど酸度の上昇がみられなかった。またラクトパーオキシダーゼの添加によって発酵が遅滞することはなかった²⁸⁾。

ラクトパーオキシダーゼの効果は、ヨーグルトの製造時は、低温でのみ認められ、発酵温度では現われない。したがって発酵時間には関係なく、菌数にも殆んど影響を与えず、冷蔵中のアフターアシディフィケーションを抑える効果を示した。

ラクトパーオキシダーゼは、脱脂乳またはホエーをイオン交換樹脂に通液して得られており、ヨーロッパでは天然抗菌成分として化粧品や食品に利用されているが、わが国ではヨーグルトの冷蔵保存中の酸度上昇抑制に一部使われている位で、今後の用途開発が課題である。

(6)乳塩基性たん白質

乳塩基性たん白質は、脱脂乳あるいはホエーを陽イオン交換樹脂に通液したときに吸着される成分で、その主成分は先述のラクトフェリンとラクトパーオキシダーゼである。しかし、乳塩基性たん白質の効果は、ラクトフェリンやラクトパーオキシダーゼの静菌効果でなく、骨芽細胞の増殖とコラーゲンの合成を活性化するばかりでなく、破骨細胞の形成と分化を抑制する作用がある。したがって乳塩基性たん白質は、骨代謝の改善と骨粗鬆症の予防に有効な成分であり今後その方面での使用が期待される。

(7)シアリルラクトース

シアリルラクトースは、WPC製造工程の副産物で、ホエーを限外濾過したとき得られる透過液（パーミエイト）を使用する²⁹⁾。この透過液から更に透過液中に含まれている低分子のたん白質やミネラルなどを除き乾燥して得られるミルクオリゴ糖の一種で、乳糖のガラクトースにシアル酸が結合した構造となっている。糖鎖におけるシアル酸は、コレラトキシンの中和作用や、インフルエンザウイルスとの結合能があり、多くの細菌、毒素、ウイルスなどが腸管細胞に付着しようとしても、シアリルラクトースの糖鎖のシアル酸の方に結合して、腸管への付着を防げてしまう。乳糖や単離したシアル酸では殆んど付着阻止効果は認められないが、シアリルラクトースでは80%以上の付着阻止率を示した²⁹⁾ことから、病原菌からの感染防止や毒物の吸着除去に役立つことが考えられる。現在育児用調整粉乳などに添加利用されている。

(8) κ -カゼイングリコマクロペプチド

チーズの製造時、カゼインにレンネットが作用すると、カゼイン中の κ -カゼインが分

解して、疎水性の高いパラ κ -カゼインと親水性のカゼインマクロペプチドに分かれる。パラ κ -カゼインはチーズ側へ、そしてカゼインマクロペプチドはチーズホエー側に含まれることになる。したがってチーズホエーを原料として工業規模で生産することができる。チーズホエーのpHが7.0の時は κ -カゼイングリコマクロペプチドの分子量は20,000~50,000と大きく、pHが3.5では10,000~30,000と小さくなる。これはpHによって解離したり会合するため、このpHによる解離・会合を利用した限外濾過（UF）処理を行うことによって、チーズホエー中から容易に回収することができる。

κ -カゼイングリコマクロペプチドは、シアル酸を含む糖ペプチドで、糖鎖におけるシアル酸は、先のシアリルラクトースと同様にコレラトキシンの細胞への付着阻止効果や、インフルエンザウィルスとの結合能を持つ特別な機能があるので今注目を集めつつある素材といえる。

(9) ガングリオシドGM3

脂肪球皮膜に存在する糖脂質で、バターミルクが原料として適している。

バターミルクはたん白質とリン脂質に富むので、プロテアーゼ処理、限外濾過、ゲル濾過などでたん白質やリン脂質を取り除き調整する。

ところが牛乳中のガングリオシドは、乳糖にシアル酸が2分子結合したガングリオシドGD3で、人乳中のガングリオシドは、乳糖のガラクトースにシアル酸が1分子結合したガングリオシドGM3である。

ガングリオシドGM3は、細胞分化誘導作用、インフルエンザウィルスの受容体、ヒト腸管細胞への大腸菌付着阻止、免疫抑制作用など、多彩な生理機能をもっている。特に大腸菌の付着阻止効果は、牛乳中のGD3では弱い、GM3では効果が顕著になる²⁹⁾ので、バターミルクから先づGD3を調整し、これから2分子あるシアル酸を1分子除去する操作を行ってGM3とする²⁹⁾。

GM3を配合した育児用粉乳は1998年より市販されている。

4. 乳たん白質の酵素分解によって得られるペプチド

たん白質の殆んどは、そのままの形では腸管から吸収されないし、また従来は、たん白質はアミノ酸まで加水分解された後に腸管から吸収されるとされてきたが、最近ではアミノ酸が2~3ヶ結合したペプチドの形の方が腸管からの吸収がよく、たん白質はペプチドまで加水分解された状態で吸収されとするのが腸管吸収の主流と考えられるようになった³⁰⁾。

こうしてオリゴペプチドが、栄養学的に優れていることが判明してくると、ペプチドについての研究は飛躍的に進展し、人間の身体の調節機構に直接作用する「第3次機能因

牛乳成分の高度利用

子」として役割りが明らかにされ、注目されるようになってきた。

この「第3次機能因子」即ち健康を維持する機能を持ち、現在工業的な生産が行なわれ、実際に利用されている牛乳たん白質の酵素分解ペプチドについて、その特性と利用上の参考事項などを解説する。これらのペプチドは、カゼインが主な供給源であるが、ホエーたん白質も生理活性を有するフラグメントを含んでおり、動物あるいは微生物由来のたん白質分解酵素による消化によって得られる。

工業的に行われている一般的な製造工程図を図6に示した。先づ原料としては効率上たん白質含有量を70～90%と高めたカゼインまたはホエーたん白質が一般的に使用される。たん白質を溶解、殺菌した後、温度やpHを酵素の至適条件にして酵素を添加する。酵素としては、植物由来のパパイン、プロメライン、フィシンや、動物由来のペプシン、トリプシン、パンクレアチンなどが、また微生物由来のエンド型あるいはエキソ型のプロテアーゼが、目的に応じて単独あるいは組合せて使用される。目的とする分解率に達したところで酵素を加熱によって失活させ、未分解物、酵素などを除去する精製工程を経て濃縮、乾燥しペプチド製品とする。たん白質の酵素分解、酵素の失活までは、どこの乳業工場でも簡単にできるが、精製・濃縮工程となると、大量のアルコールを使用するケースも生じ、防爆管理上の問題や、アルコールの回収再利用によるコスト低減の問題もあって、全工程を一貫して製品化することに困難性がある。乳業工場で可能なところまで処理加工し、経済的にしかも安全に加工できる異業種を選んで製品化するのも一つの方法である。

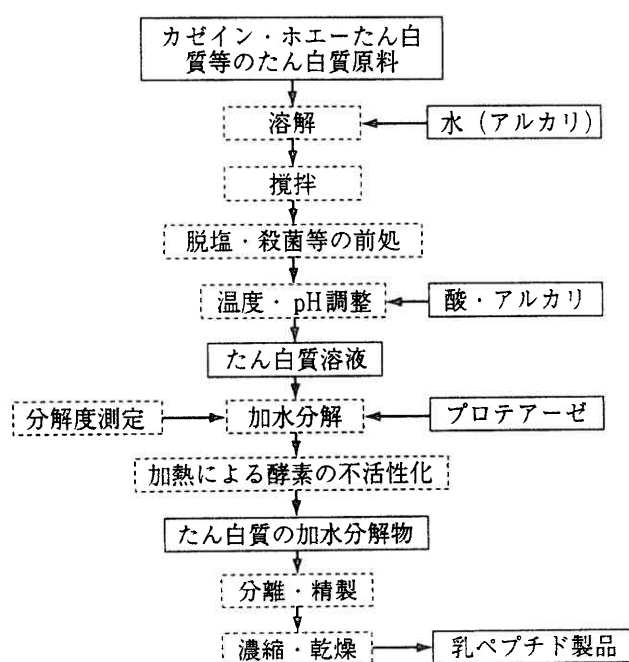


図6 乳ペプチドの一般的な製造工程

牛乳成分の高度利用

CPPは白色のマイルドな風味を持った粉末で、通常、 α と β の含有量の総計が12%と85%のものが市販されている。残りはその他のペプチという組成である。

CPPの安定性は、焼菓子のように高温で加熱される場合は若干作用は低下するが、高温加熱でない限り安定性は問題ない。またCPPの活性の中心がSer-Pにあるので、脱磷を起こすような酵素あるいは微生物との共存は避けるべきで、生味噌などへの添加は問題となる。通常の加熱殺菌や保存中の活性低下は無視できる程度で、安定な素材といえる。

CPPは

- ① 成長期の子供の骨格形成促進
- ② 骨粗鬆症の予防改善
- ③ 骨折患者の回復促進
- ④ カルシウムの栄養補給

などの目的で、飲料、菓子、パン、冷凍食品、デザート、健康食品などに利用されている。

CPPの製造は、カゼインを原料とするのが得策で、カゼインを溶解後、トリプシンで加水分解してCPPを遊離させたものから、さらに苦味となるペプチド部分を除去したもの、加水分解後不純物を酸で沈澱させ除去し、さらにエタノールとカルシウムでCPP画分を高純度にしたものなどがある。その製法を図9に示した。

(2)オピオイドペプチド

オピオイドペプチドは、鎮痛作用のある、または鎮痛作用関連のペプチドの総称で、鎮

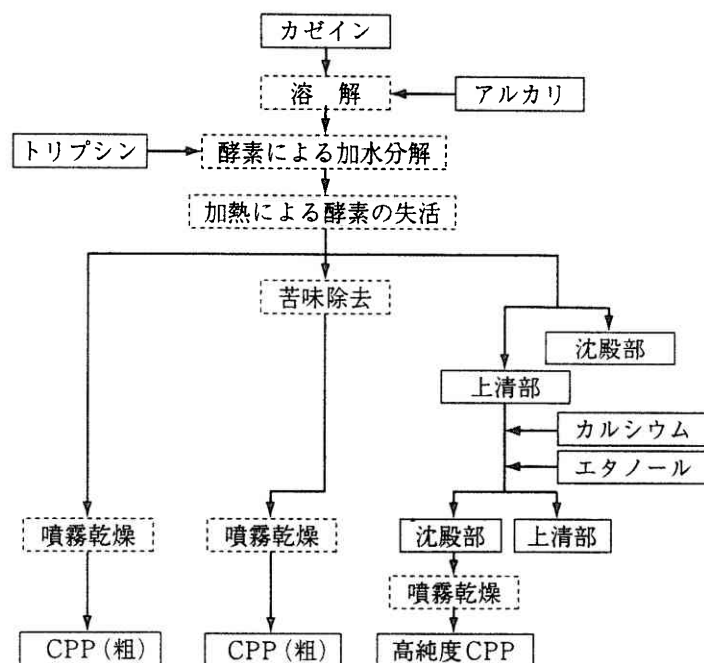


図9 CPPの製造工程

牛乳成分の高度利用

痛薬兼麻薬である「アヘン」(Opium) よりその鎮痛麻薬成分を分離精製したモルヒネと同様に鎮痛作用を行うところより命名されたペプチドである。鎮痛作用は、脳にモルヒネを結合する部分(受容体)が存在し、その結合部分にモルヒネを構成している成分のうち、エンケファリンというペプチドの部分が結合することにより鎮痛作用が発現されることが研究により明らかにされ、20種類以上に及ぶ関係するペプチドが発見された。これらのペプチドは、エンケファリン系、エンドルフィン系、ダイノルフィン系の3種類に分類されている。

牛乳たん白質からは、N末端側にチロシン—プロリン—フェニルアラニン—プロリン—グリシンという共通のアミノ酸残基の配列をもつオピオイドペプチドが分離され、これらが牛乳の β -カゼインに由来することから β -カゾモルフィンと命名された。

また α_{s1} -カゼインのペプシン分解物からは、アルギニン—チロシン—ロイシン—グリシン—チロシン—ロイシン—グルタミン酸からなるオピオイドペプチドが分離され α -カゼインエクソルフィンと命名された。一方、 κ -カゼインのトリプシン分解物からは、チロシン—イソロイシン—プロリン—イソロイシン—グルタミン—チロシン—バリン—ロイシン—セリン—アルギニンからなるオピオイドアンタゴニストペプチドが分離され、カゾキシシンと命名された。このカゾキシシンは、アンタゴニストの作用と同時にアンジオテンシン変換酵素阻害活性及び平滑筋収縮活性を併せ持つ多機能性のペプチドで、血圧の低下作用も認められている³¹⁾。

乳カゼイン由来のオピオイドペプチドは、カゼインからペプシンやトリプシン等のたん白質酵素で加水分解してつくられるが、まだ研究も日が浅く、利用の見透しはたっていないのが現状である。

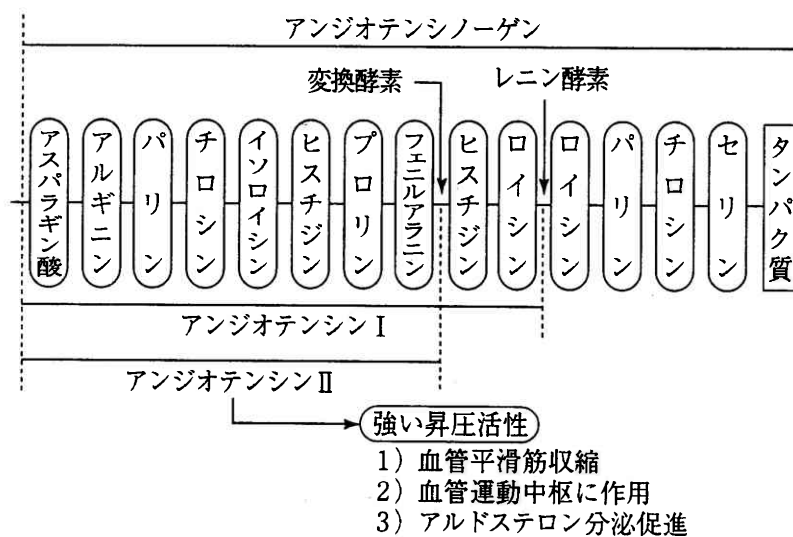


図10 レニン—アンジオテンシン系による昇圧

(3) 血圧低下ペプチド

高血圧症は、わが国の国民病といわれる程に罹患率が高く、健康に対する不安の中では高血圧が第1位を占めていると思われる。その高血圧の約90%は、本態性高血圧で遺伝要素の強い高血圧である。本態性高血圧では、レニン・アンジオテンシン系と呼ばれる昇圧系が中心的役割を演じていると考えられている。(図10参照) この昇圧系に重要な働きをしているのがアンジオテンシン変換酵素と呼ばれる酵素で、この酵素は血液中にアンジオテンシンIIという昇圧物質をつくり出す一方で、降圧物質を破壊する役目を持っている。また血管を収縮する作用もあるので血圧は上昇することになる。したがって、この酵素を阻害する物質があれば血圧を正常にすることができる。

1982年に丸山ら³²⁾によって、牛乳たん白質であるカゼインのトリプシン分解物中にアンジオテンシン変換酵素の阻害物質があることが見出された。

カゼインをトリプシンで分解すると、 α_s -カゼインからは2種、 β -カゼインからは1種類のアンジオテンシン変換酵素阻害ペプチドが生成されるが、他に多くのペプチドも同時に生成されるのでカラムクロマトで分画・精製して高純度品を得る。その製造工程を図11に示した。

工業的に生産する場合に使用される酵素は、余り高純度品でないので、他の酵素の混入による不純物の生成も考えられ、酵素の選定と酵素処理条件の設定が重要となる。

カゼインをトリプシンで分解した後、未反応のたん白質を除去して得られるペプチドは、表8に示す3種のペプチドを主成分とする混合物である。この中で最も血圧低下作用の強いのはC₁₂のペプチドで、C₆ペプチド、C₇ペプチドの活性の約10倍であるが、3種混

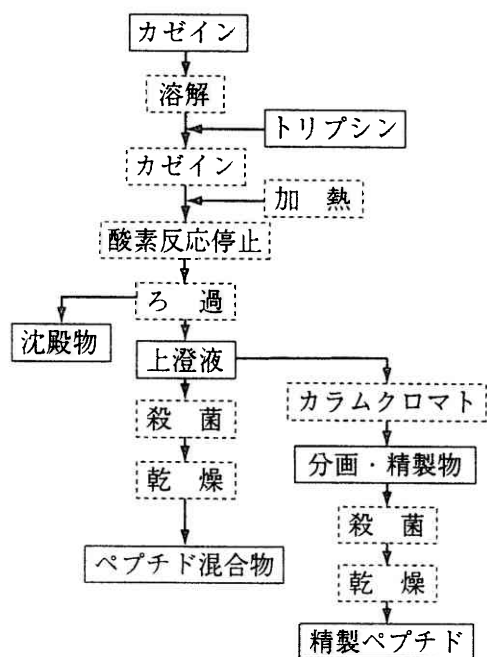


図11 アンジオテンシン変換酵素阻害ペプチドの製造工程

表8 カゼイン由来のアンジオテンシン変換酵素阻害ペプチド

たん白質	ペプチド	一 次 構 造
α_s -カゼイン	C12ペプチド	Phe-Phe-Val-Ala-Pro-Phe-Pro-Glu-Val-Phe-Gly-Lys
α_s -カゼイン	C6ペプチド	Thr-Thr-Met-Pro-Leu-Trp
β -カゼイン	C7ペプチド	Ala-Val-Pro-Tyr-Pro-Glu-Arg

牛乳成分の高度利用

合ペプチドの活性はC₁₂ペプチド単独の約1.7倍となるので、それぞれを更に分画する必要はなく、混合ペプチドとして利用できる。このペプチドの特徴は、健常者の血圧に影響を及ぼさず、血圧の高い人に対してのみ、おだやかな降圧効果で正常血圧に近づけることである。カゼイン以外のホエータン白質のアルカリプロテアーゼ分解物中のジペプチドや、 β -ラクトグロブリン及びWPCのトリプシン分解物の限外濾過した透過液中にもアンジオテンシン変換酵素の阻害活性が見い出されている。

(4)ラクトフェリン

牛乳やホエーに含まれるラクトフェリンをペプシンで加水分解すると、ラクトフェリンより抗菌活性の強いペプチドが得られ³³⁾、ラクトフェリンと命名された。ラクトフェリンはアミノ酸25残基から成り、塩基性アミノ酸を多く含むので、これが微生物の細胞膜に直接障害を与えて抗菌作用を示すと考えられている。

ラクトフェリンの抗菌活性は、未分解のラクトフェリンに対し、重量換算で約400倍、モル換算で約20倍もあるといわれ³³⁾、母乳中、特に初乳中に高濃度の状態で含まれるラクトフェリンが、乳児の胃内のペプシンで加水分解され、更に高い抗菌活性を有するラクトフェリンに変化することで、乳児を消化器系や免疫系の疾患から防御していることが考えられる。事実、ラクトフェリンは、大腸菌群やクロストリジウムなどの有害菌に対しては強い抗菌活性を示すのに、有用なビフィズス菌に対しては殆んど抗菌活性を示さない³⁴⁾という特徴のあることがこのことを示唆している。

今後、育児用粉乳以外の医薬品、健康食品、臨床栄養食品などへの利用が期待される。

(5)アレルギー予防のためのペプチド化

牛乳たん白質は、卵たん白質、大豆たん白質と並んで“三大食物アレルゲン”と称され、アレルギー発症のために、牛乳の摂取が制限される場合がある。

アレルギーを発症していない段階で予防するには、免疫反応を誘発するものや、抗原特異抗体の産生能（免疫原性）低減化することが重要であり、既にアレルギーを発症している場合には、免疫原性の除去に加え、特異的な抗体や感作リンパ球と反応する性質（反応原性）を弱める必要がある。

牛乳たん白質の免疫原性を低下するには、たん白質の加水分解の度合を高めることで、免疫原性の低下と共に反応原性も低下する。牛乳たん白質を加水分解して大部分を分子量3,500以下のペプチドにすると、反応原性はペプチド化前の1万分の1以下に低減する³⁵⁾。また免疫原性も免疫グロブリンE（IgE）の検出率低下あるいは検出されず³⁶⁾、ペプチド化することによって牛乳アレルギーを予防する効果が認められた。

食物アレルギー患者の治療を目的とするための牛乳では、カゼインの分子量1,000以下

牛乳成分の高度利用

の画分が95%以上を占めるように加水分解を行なうとよいという報告³⁷⁾がある。

牛乳アレルギーについては、いまだ解明されていないところが多く、今後の研究の進展に期待するところが多いが、牛乳たん白質のペプチド化は、アレルギーの予防と治療に役立つことは証明されており、年々アレルギーが増加して、深刻な社会問題となりつつある今こそ、ペプチドミルクのような手軽に飲用できる商品の開発が期待されるところである。

(6)その他の生理活性ペプチド

ホエーたん白質の約半分を占める β -ラクトグロブリンのトリプシン分解物から、平滑筋収縮作用のあるヒスチジン—イソロイシン—アルギニン—ロイシンからなるテトラペプチドが単離され平滑筋収縮ペプチド (β -lactotensin) と命名された³⁸⁾。またマクロファージの貪食能を活性化するペプチドが牛乳たん白質の分解物から得られており、 β -カゼインから得られたロイシン—ロイシン—チロシンからなるトリペプチドは、マクロファージ貪食能の活性化作用の他に抗体産性増強作用も併せ持つことが明らかにされている。その他K-カゼインから得られるペプチドにも血小板凝集を阻害する作用があることが報告されている³⁹⁾。**K**-カゼイングリコマクロペプチド (カゼイノグリコペプチド) については、**K**-カゼインにレンネットが作用してできるペプチドであるが、チーズホエーから限外濾過によって回収できる成分であるので、3-(8)の項で述べた。重複するが**K**-カゼイングリコマクロペプチドの生理活性をまとめると次のようになる。

- ① コレラトキシンに対する中和活性
- ② インフルエンザウィルスの赤血球凝集反応の阻害活性
- ③ ある種の細胞に対する増殖・抑制活性
- ④ ビフィズス菌の発育促進作用

5. 乳糖の高度利用

乳糖は牛乳中に約4.8%を占める含有量の多い成分であるが、そのままでは吸収性も悪く、甘味度も低いので、甘味料としてより、錠剤のベースや微生物の基質として使用されるケースが多く、どちらかといえば付加価値の低い成分としての取り扱いを受けてきた。最近になってチーズの生産量の増大にともないホエーと共に排出される乳糖の量も増大している。

乳糖の生理作用が明らかになるに従って、乳汁中に乳糖が存在する意義も理解されるようになり、原料としての用途も広がってきた。従来は β -乳糖につくり変えてチョコレート原料の原料としたり、育児用粉乳の中の乳糖の一部として使用する位であったが、大きく変わった最近の乳糖の加工技術、乳糖の新しい利用などについて以下に紹介することとする。

牛乳成分の高度利用

(1)異性化乳糖（ラクチュロース）⁴⁰⁾

乳糖にアルカリを作用させると、「異性化反応」（乳糖の還元末端のグルコースがフラクトースに変化する反応）が起こって、ラクチュロースという新しい2糖（ガラクトースとフラクトースを構成糖とする）ができる。しかし工業的に大量生産するには、乳糖をトリメチルアミンの存在下でほう酸と40℃で96時間または70℃で4時間加熱して製造するか、水酸化カルシウム溶液からロドリ－・ドブリュイン転移を応用してつくられている。ガラクトースとフラクトースの結合は β 1-4結合であるのでヒトの小腸内では殆んど消化されず、大腸内でビフィズス菌を増殖させると同時に、ビタミンB1、B2などの生産を増強する作用がある。

ラクチュロースは、蔗糖の48～62%の甘味をもち、肝性脳症や慢性便秘の予防と治療薬として使用されている。また飲料、菓子、調味食品、乳児用食品、ダイエット食品、健康食品、低カロリー食品などに食材として使用されている。

(2)還元乳糖（ラクチトール）⁴¹⁾⁴²⁾

乳糖を水に溶かし、オートクレーブ中で水素を通して触媒の存在下で接触還元を行う。濾過して触媒を除き、イオン交換樹脂等を用いて精製し、減圧濃縮後に結晶を析出させ、母液から分離後に乾燥して製品とする。乾燥の際に結晶水を調節して二水和物、一水和物、無水物とするが、一般には二水和物が使用されている。

ラクチトールは、乳糖の還元末端グルコースが還元されてソルビトールになり、ガラクトースとソルビトールが結合してできた2糖アルコールである。

ラクチトールの特徴は、小腸内の酵素で分解されないのが難消化で、エネルギー値は2キロカロリーと言われている。甘味度は蔗糖の30～40%で、蔗糖に似たくせない甘味を呈する。乳糖が水に溶解し難いのと比べて、ラクチトールは溶解し易く、40℃以上では蔗糖より溶解度は大きい。蔗糖と同様に結晶し易いので、結晶性を利用した菓子に適した素材で、吸湿性は少ない。耐酸性、耐熱性があり、アミノ酸と加熱してもメイラード反応による褐変は殆んどない。また水分活性は蔗糖と同様であるので、食品の微生物抑制に砂糖と同じ様に使用できる。

このように乳糖が原料であってもラクチトールは著しく性質を異にし、食品への使用に当たっても多くの特許が出願されている。その一例として魚肉すり身にラクチトールを配合することで、すり身たん白質の冷凍変性が防止できるという特許で、甘味が少ないので、多量配合できる特徴から変性防止効果が生まれるようである。

(3)ガクトオリゴ糖⁴⁰⁾

乳糖に β -ガラクトシダーゼ（乳糖分解酵素または別名ラクターゼ）を作用するとでき

る糖であるが、 β -ガラクトシダーゼは、基質である乳糖の濃度が低い場合は、主として加水分解が先行し、乳糖はガラクトースとグルコースの2つの構成糖に分解される。しかし乳糖濃度が高い状態で β -ガラクトシダーゼが作用すると、加水分解反応と同時に、遊離したガラクトースを、乳糖に結合する「ガラクトース転移反応」を触媒して、乳糖のガラクトース側にガラクトースが結合したガラクトオリゴ糖を作る。現在9種類の3糖以上のガラクトオリゴ糖の生成が確認されている。この中で乳糖にガラクトースが β 1-6結合した6-ガラクトシルラクトースという3糖からなるオリゴ糖は、人乳中にも多く含まれており、乳児の腸内菌叢を健康に保つ保健効果に優れていると考えられている。

ガラクトオリゴ糖を乳糖から工業的に生産するには、高濃度の乳糖液に対し、2種以上の起源の異なる β -ガラクトシダーゼを作用させて行なわれる。この方法では1種類を単独で作用させるより、ガラクトオリゴ糖の収率は高い。

β -ガラクトシダーゼには、*Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, や乳糖発酵性の酵母である*Kluyveromyces fragilis*, *Kluyveromyces lactis*, などから取り出したもの、それに乳酸菌*Streptococcus thermophilus*などに由来するものがある。至適pHなどを考慮したうえで利用されている。これらを使用しての製法の一例を示すと、50%濃度の乳糖液に、麴カビ由来の酵素100単位/mlを加え、pH6.5、50°Cで5時間反応させた後、加熱して酵素を失活させる。この液1ℓに1モルリン酸緩衝液(pH6.7) 10mlと乳酸菌(ストレプトコッカスサーモフィラスなど)由来の酵素1500単位を加え、40°Cで16時間反応させる。反応終了後のオリゴ糖の生成の割合は、ガラクトオリゴ糖が38%で、2糖類が26%、単糖類が36%含まれた混合物であるが、ヒトが摂取した場合、非吸収性で、優れたビフィズス菌の増殖効果を示す。ガラクトオリゴ糖は100°Cで3時間または、120°Cで30分加熱しても分解しないし、酸性下での加熱にも安定で、甘味度は蔗糖の約1/5で乳糖のときと変わらない。

(4)乳果オリゴ糖 (ラクトスクロース)⁴³⁾

今迄に述べた乳糖のみを原料として化学的修飾したものや、酵素的修飾したものと異なり、乳果オリゴ糖は乳糖と砂糖(蔗糖)を原料とし、 β -フラクトフラシダーゼという転移酵素を作用させてできる新しいオリゴ糖である。

この乳果オリゴ糖の構造を、乳糖と蔗糖からの反応を含めて示すと図12のようになる。

乳糖のグルコース側に、蔗糖の構成糖の1つであるフラクトースを転移させた構造を持っており、難消化性でビフィズス菌を増殖する能力を持ち、各種のオリゴ糖の中でも最も砂糖に近い甘味度と甘味の質を持っている。

乳果オリゴ糖は難消化性であるので、経口摂取しても血糖値やインスリンの値に殆んど変化を与えない。またビフィズス菌に対する効果も、5g/日の摂取で1週間後に腸内のビフィズス菌数が約3倍に増大し、2g/日でも効果が確認されており、各種オリゴ等の

牛乳成分の高度利用

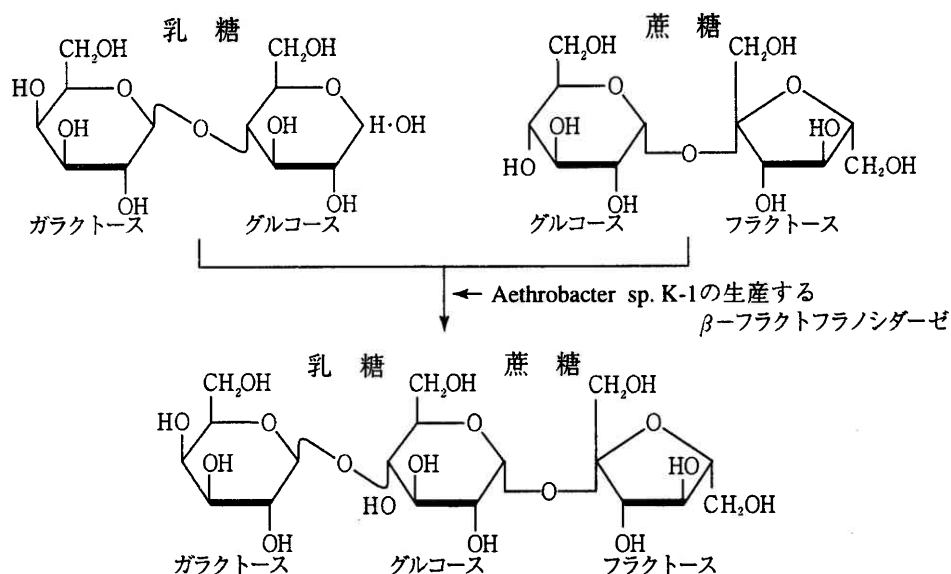


図12 乳果オリゴ糖の構造

中でも高いビフィズス増殖効果を示すことが判明している。

上記以外の乳果オリゴ等の特徴を列記すると以下のようになる。

- ① 水分活性は砂糖とほぼ同じで、砂糖と同じ防腐効果を持つ
- ② 浸透圧および氷点降下も砂糖と同程度である。
- ③ 熱安定性も砂糖と同等とみてよい。
- ④ 発酵性は、100%乳果オリゴ等でなく、蔗糖が約28%、乳糖が約13%、単糖類が約17%含まれているので、乳酸発酵、アルコール発酵等の発酵性を備えている。
- ⑤ 褐変反応は、砂糖よりやや大きいのが、異性化糖より低い。
- ⑥ 保湿性も砂糖と同様と見てよい。
- ⑦ カロリーは1g当り約2キロカロリーが標準となる。

以上のように、物性、加工特性、味質が砂糖に非常に似ており、使い易いオリゴ等と言うことが出来る。従って種々の食品に砂糖と同様な方法で使用するのことができるオリゴ等である。

乳果オリゴ等の製法は、砂糖：乳糖の比率を1：1.2としBx50°の仕込液を作る。仕込液のpHを6.5、温度55°Cで β -フラクトフラシダーゼを添加し、14～16時間反応すると、固形分当り30～32%の乳果オリゴ糖が生成する。これに活性炭を加えて95°Cで30分間加熱すると酵素の失活と脱色ができ、濾過して清澄液とする。このままでは固形分当り25～28%の乳糖が含まれているので、濃縮しながら乳糖の種結晶を投入して乳糖を結晶化して除去、更にイオン交換樹脂で脱塩した後殺菌して製品とする。こうして得られた乳果オリゴ糖の糖組成の一例を示すと、

牛乳成分の高度利用

乳果オリゴ糖	37%
蔗糖	28%
乳糖	13%
グルコース及び果糖	17%
その他オリゴ糖	5%となる。

6. 乳清ミネラル

乳清ミネラルは、チーズあるいはカゼイン製造時の副産物として得られるホエーから、ミネラル類を回収したものである。

ホエーの利用は、乳糖を製造する位であったが、1960年頃より実用化された膜分離技術によって新しい利用の道が開かれた。特に1970年代になって限外濾過によるホエーからホエータン白質の回収が行なわれるようになると同時に、ミネラルも工業的に回収されるようになった。

ホエーは、水分が約94%で、固形分の60～70%は乳糖が占めるという特異な成分組成であるので、乾燥した粉末の状態では含有ミネラルの平均的な組成を調べてみると表9⁴⁴⁾のようになる。

表9 ホエー粉末の平均成分組成

ホエーの種類		チーズホエー(粉末)	カゼインホエー(粉末)
成分			
乳 糖(%)		69.4	63.2
たん 白 質(%)		13.0	11.7
灰 分(%)		8.3	10.6
脂 肪(%)		1.03	0.48
カルシウム(mg%)		878	2,404
リ ン(//)		1.096	1,588
ナトリウム(//)		1,287	1,087
カリウム(//)		1,855	1,915
マグネシウム(//)		178	224
亜 鉛(//)		2.1	8.1
鉄 (//)		0.9	1.3
銅 (ppm)		2.8	5.3
ヨ ウ 素(//)		6.79	8.64
鉛 (//)		1.15	1.68
水 銀(//)		0.02	0.03
セ レ ン(//)		0.064	0.034
カドミウム(//)		0.11	0.14
ヒ 素(//)		0.77	0.59

このような組成のホエーから、ミネラルを回収し、乳清ミネラルを製造するには、先づホエーを濾過したり遠心分離によって固塊物を除去し、殺菌後に限外濾過する。ホエータン白質は濃縮液側に、乳糖、ミネラル、ビタミンなどは透過液側に移行する。ミネラルを

含む透過液（パーミエイト）を減圧濃縮し、乳糖が過飽和になったところで冷却すると、乳糖は結晶として析出するのでこれを除去する。更に濃縮した後噴霧乾燥して乳清ミネラルとする。

乳清ミネラルは、元の牛乳の主要なミネラルをバランスよく含み、しかもカルシウムの含有量が高く、カルシウム補給に役立つ。

乳カルシウムの吸収性、摂取したときの大腿骨のカルシウムの増加率を、他のカルシウム塩（第2リン酸カルシウムと、クエン酸カルシウム56%、塩化カルシウム30%、第3リン酸カルシウム14%の乳可溶性カルシウム類似組成塩）と比較したところ、乳カルシウムが他のカルシウム塩より高い結果が得られたとする報告⁴⁵⁾がある。この実験では、乳カルシウム濃縮物には乳糖やたん白質などのカルシウム吸収促進因子が含まれていないので、乳カルシウム自体が腸管から吸収され易い形態となっていることが考えられる。

乳清ミネラルは、各食品のミネラル強化の他、飲料に0.5%程度添加するだけでコクを付与する性能があり、また塩素臭を緩和してまろみのある“おいしい水”づくりに役立つとも言われている。また高血圧自然発症ラットに与えたとき血圧降下作用や、血漿過酸化脂質低下作用などの生理的機能性も認められており、今後の用途開発が期待される。

7. トランスグルタミナーゼによる乳たん白質の物性改質⁴⁶⁾

トランスグルタミナーゼは、ポリペプチド鎖中のグルタミンの γ -カルボキシアミド基と、各種の一級アミン間のアシル転移反応を触媒する酵素で、たん白質分子間を架橋し、たん白質をゲル化させる作用がある。

この酵素は、肝臓、水晶体、胎盤など、哺乳動物の生体内に主に存在するとされたが、植物や魚類にもその存在が認められている。従来はモルモットの肝臓から調整されたものが使用されていたが、最近になって微生物起源のものが大量生産されるようになって、ある程度経済的にも使用が可能となった。

微生物起源のトランスグルタミナーゼが、広範囲なpH領域で安定、熱に対しても安定、更にカルシウムイオン非依存性、たん白質の低濃度域でもゲル化が可能という、従来のトランスグルタミナーゼにない特徴を持っている。

乳たん白質の対しては、ゲル化能のないカゼインにゲル形成能を付与し、ホエーたん白質にはゲル形成能をさらに向上させる効果があり、ゲル強度の増加に伴って弾力性や、しなやかさも同時に増加し、粘弾性を高める方向でのゲル改良効果を発揮する。

カゼインの場合はアルカリに溶解した状態かカゼイネートで使用するが、カゼイネート濃度が約9%以上であればゲル化する。カゼインのゲル化は、カゼインの高分子化によると考えられている。

ホエーたん白質は β -ラクトグロブリン、 α -ラクトアルブミンを含むので、加熱によっ

てゲル化するが、アルブミン系たん白質に微生物起源のトランスグルタミナーゼを作用させて架橋高分子化させるには、今のところ原因不明であるが、還元剤を併用する必要がある、還元剤としてL-システイン塩酸塩を添加すると変形率、破断強度とも増加したゲルが得られる。還元剤の併用なしではゲルの改質がなされないのは、還元剤により、たん白質分子のコンホメーションが変化し、酵素が作用し易いように変化したためと考えられている。

たん白質分子間の架橋重合化は、ゲルの粘弾性の付与だけでなく、たん白質間の網目構造をより強固にするので、食品の物性改質に役立ち、加工食品分野での利用が拡大すると思われるので、乳たん白質への適用について検討しておく必要があろう。

8. おわりに

有史以前から優れた食品として人々が利用してきた牛乳も、生体調節に関する機能の解明が進められるにしたがって、これら生体調節機能因子を顕在的あるいは潜在的に数多く含んでいることが明らかにされ、益々魅力的な素材源として大きな注目を浴びるようになった。

最近の膜利用による分離・分画技術や、酵素利用による成分の分解と組替え技術、イオン交換樹脂利用による精製技術などの発展に伴って、牛乳からはTMP、WPC、ラクトフェリン、ラクトパーオキシダーゼ、ラクチュロース、ガラクトオリゴ糖やWPI、各種ペ

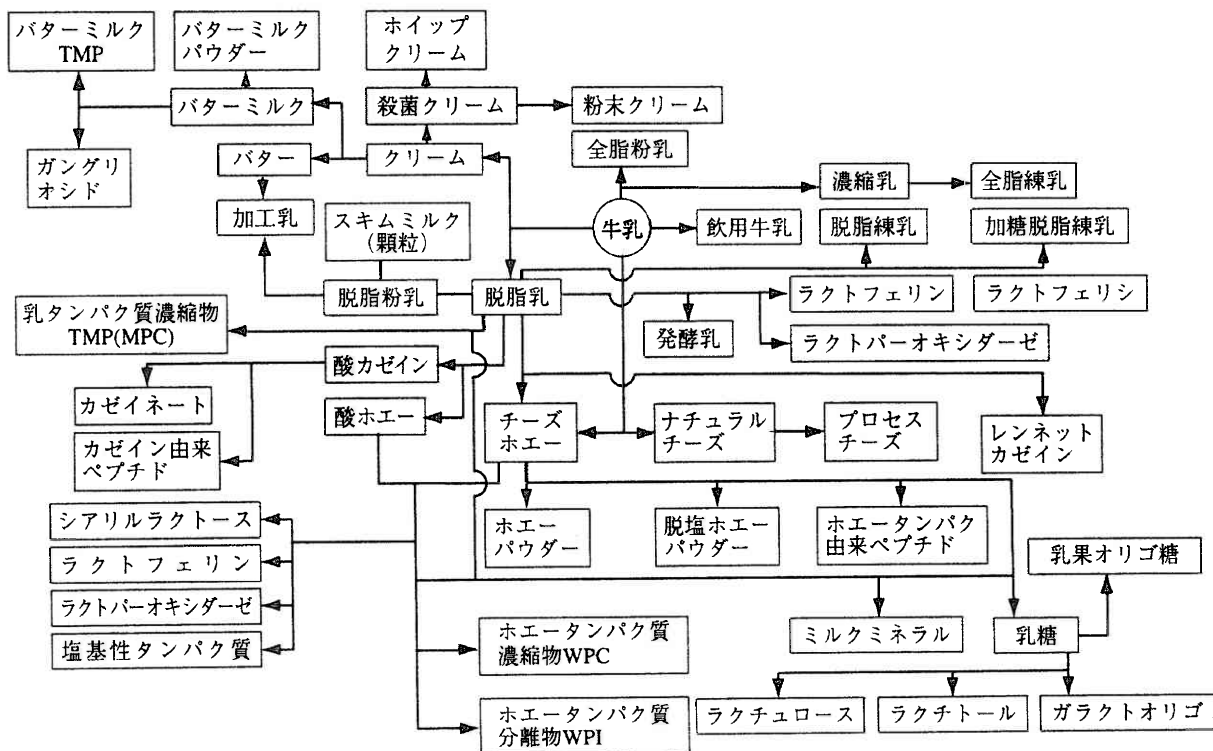


図12 牛乳の利用一覧図

プチドといった様々な新素材が出現することとなり、産業上の色々な分野で実用化が進んでいる。

本稿では、現在工業的に製造され、利用されている新しい乳製品や、牛乳からの新素材に焦点を当てて、それらの特性と製法、利用の仕方と用途などについて解説した。

これらの新しい乳製品や新素材の一部は、酪農・乳業規模、原料のコスト、原料の大量入手の問題などがあって、国内での生産には困難が供になっている。

しかしこれらの新しい乳製品や素材は、既存の乳製品より、技術の集積度は高く、付加価値も高いだけに、更なる研究の進め方次第では、国内での生産が可能となることも有り得る。また、これに関わる数々の技術を取り入れて、製品開発や改善に役立てることは、これからのわが国の乳業の発展に大きな貢献となるであろう。この分野の研究の益々の発展と、技術の進展が期待されるところである。

最後に、牛乳及びその構成々分の一般的な加工による利用と、最近の高度利用の様子を図12に示したので参考にされたい。

参考文献

- 1) 日本食品工業会編、「先端技術産業動向調査結果」MRC News No.9 (1985)
- 2) R.E.Lacey and S.Loeb: "Industrial Processing with Membranes", Wiley-Inter-science N.Y. (1972)
- 3) 戸塚 譲、上野川修一: 日本畜産学会報、63、867 (1992)
- 4) 佐藤幾郎、溝田輝彦、田村吉隆、福渡康夫、浅野祐三、加藤 良: 農協乳業技術情報 No.3 39-101 (1997)
- 5) 宮脇長人: 月刊フードケミカル 7、79、(1994)
- 6) J.Kelly & P.Kelly: Int. Dairy Journal, 5, 291-303 (1995)
- 7) A.Y.Tamime & R.K.Robinson: "YOGHURT: Science and Technology" 19-25, Pergamon Press Ltd. (1985)
- 8) P.Dejimek & B.Hallstroem: 食品膜技術懇談会 第5回春季研究会例会講演要旨集、36-45 (1993)
- 9) 佐藤幾郎、溝田輝彦、田村吉隆、福渡康夫、浅野祐三、加藤 良: 農協乳業技術情報 No.3 39-101 (1997)
- 10) DMV Technical bulletin
- 11) 酒井良一: ミルクのサイエンスII 37-45 全国農協乳業プラント協会 (1992)
- 12) 河村フジ子、黛 明美、中村道子、小泉詔、木村利昭、西谷紹明: 日食科工誌、40、776 (1993)
- 13) 中村道子、佐藤 薫、小泉詔一、河内公恵、西谷紹明、中島一郎: 日食科工誌、42、1、(1995)
- 14) 粟津原理恵、河村フジ子: 日本家政学会第45回大会研究発表要旨集、138 (1993)
- 15) P.Maillart & B.Ribadeau-Dumas: J.Food Sci., 53、743、(1988)
- 16) S.A.Al-Mashikhi & S.Nakai: J.Food Sci., 52、1237、(1987)
- 17) R.J.Pearce: Aust.J.Dairy Technol., 38, 144, (1983)
- 18) E.Forsum, L.Hambraeus & I.H.Siddiqi: J.Dairy Sci., 57, 659, (1974)

牛乳成分の高度利用

- 19) 島崎敬一、黒田清隆：Jap.J.Dairy Food Sci., 38, A95, (1989)
- 20) D.Bury：Int. Dairy J., 8, 149, (1998)
- 21) 八木直樹：ヨーロッパにおける酪農・乳業に関する最近の研究動向とプロバイオティック食品の現状、全国農協乳業プラント協会、29、(1998)
- 22) 高瀬光徳：ミルクのサイエンスⅢ P.65 全国農協乳業プラント協会、(1993)
- 23) J.M.Gutteridge：Biochem.J., 199, 259 (1981)
- 24) Reiter,B.&G.Harnulv：J.Food Prot., 47, 729 (1984)
- 25) IDF Bulletin, No191 (1985)
- 26) 中田まゆみ、堂迫俊一：月刊フードケミカル 7、38 (1994)
- 27) Sato,K.,S.Dosako &K.Ido：Biosci.Biotech.Biochem.,56,2054 (1992)
- 28) 中田まゆみ、堂迫俊一、平野了悟、大岡 実、中島一郎：第41回日本食品工業学会講演要旨 (1994)
- 29) Nakano,T.,：Proc.25th Internl.Dairy Congress, PP.426, Sep.21-24, Denmark (1998)
- 30) 原 博、桐山修八：臨床栄養77, 261 (1990)
- 31) 吉川正明、千葉英雄：食品工業 2, 28 (1990)
- 32) S.Maruyama &H.Suzuki：Agric.Biol.Chem.,46,1393 (1982)
- 33) Bellamy.W., Takase, M., Yamauchi, K., Wakabayashi.H., Kawase.K., Tomita.M.,：Biochemi. Biophys.Acta.1121,130 (1992)
- 34) Bellamy.W., Takase, M., Wakabayashi, H., Kawase.K., Tomita, M.,：J.Appl.Bacteriol., 73, 472 (1992)
- 35) Iwamoto, H., Takase, M., Shimamura, S.,：J.J.Dai.Food Sci., 42, A-195 (1993)
- 36) 早瀬宏紀、難波和美、清水隆司、川上智美：食品工業、38、55 (1995)
- 37) Kawase, K.,：J.J.Dai.Food Sci., 39, A-283 (1990)
- 38) 吉川正明、千葉英雄：日本農芸化学会大会講演要旨集 (1990)
- 39) 吉川正明、千葉英雄：食品工業33、20 (1990)
- 40) 斎藤忠夫：ミルクのサイエンスⅡ、89-97、農協乳業プラント協会 (1993)
- 41) 戸田義郎：月刊フードケミカル、2、46、(1991)
- 42) 裏地達哉、中島京子、下山田真、渡辺乾二：ミルクサイエンス、46、2 (1997)
- 43) 原 耕三：月刊フードケミカル 2、38-45 (1991)
- 44) L.Glass & T.I.Hedrick,：J.Dairy Sci., 60,2 (1977)
- 45) 中島一郎、青江誠一郎、高田幸宏、加藤 健：J.J.Dai.food Sci., 45,1, (1996)
- 46) 添田孝彦、渡井口清一郎、野中雅彦：New Food Industry, 37, 4, (1995)