

共催公開シンポジウム「21世紀の北海道畜産・草地の展望」

これからの牛乳・乳製品と私達の健康

島崎 敬一 (北海道大学農学研究科)

北海道の主要産業の一つである酪農業の今後の発展のためには、牛乳・乳製品の健康への関わりが重要なキーワードになる。その道筋を探る上で何らかの参考となることを願い、牛乳成分の概略、利用分野、栄養的価値、栄養以外の機能成分、乳製品の最近の傾向、今後の見通しについて概述する。

○牛乳の成分

牛乳成分は無脂固形分と脂質に大別される。無脂固形分には窒素化合物(タンパク質と非タンパク態窒素化合物)、糖質(ほとんどが乳糖)、無機質(ミネラルあるいは灰分)、有機酸(クエン酸、乳酸など)、水溶性ビタミン類が含まれている。その他に白血球や乳房内の表皮細胞などが含まれ、気体(炭酸ガス、窒素、酸素など)も溶解している。脂質は脂肪(トリグリセリド)、リン脂質、糖脂質、ステロール、カロチノイド、脂溶性ビタミンなどである。タンパク質としてはカゼイン、乳清タンパク質、および微量の酵素類が含まれる。また、非タンパク態窒素化合物(NPN)として尿素、各種アミノ酸、アンモニア、ヌクレオチドなども含まれている。さらに分析技術の発達により極微量で見過ごされていた成分も検出されている。これら牛乳に含まれる成分の全てが仔牛にとって必要な何らかの役割を持っていると考えるのが自然であるが、現在それらが全て解明されている訳ではない。ましてや人間が摂取した場合の効果には未解明な点も多い。

表1は牛乳の一般的な組成を示したものであり、食品としての牛乳成分組成である五訂日本食品標準成分表に記載されている数値とは若干異なる。一方、(社)北海道酪農検定検査協会による平成12年度道内平均では、脂肪率3.987%、タンパク質率3.221%、無脂固形分率8.737%、全固形分率12.724%、乳糖・灰分率5.517%となっている。また原料乳の品質向上も切に望まれるが、同報告での道内の生乳における細菌数は1.4万/ml以下が90.8%(~3.4万/mlでは97.2%)、体細胞数は30万/ml以下が82.9%である。しかし近年、生乳の化学物質汚染、加工・流通プロセスでの細菌汚染による事故が絶えず、安全な食品供給のためにより一層の努力が求められている。

○牛乳の利用

牛乳の利用分野を表2に示した。従来は栄養的な面に重点が置かれたものが多く、かつその主要成分しか利用の対象となっていなかった。しかし栄養的な面だけでは無く、それらの物理的な性質(物性)を様々な食品に利用する機能特性と言われる面での応用が伸びて来ている。さらに分別された各成分の食品関係への利用、および量的には微量にしか含まれないが有用な生物活性を持つ物質、あるいは乳成分由来の活性物質を食品だけでは無く医薬品関係や他の分野へ実用化されてきている。このような場合は、目的物質の分離法の確立および高付加価値化だけではなく、目的外物質の有効利用をも両立させる事が重要である。

表1.牛乳と母乳(人乳)に含まれる成分の比較(100ml当たりg)

		牛乳		母乳		牛乳		母乳	
タンパク質	カゼイン	2.6	0.32	無機質	灰分	0.7	0.2		
	非タンパク質	0.7	0.68		カルシウム	0.12	0.03		
	カゼイン/非タンパク	3.7	0.47		リン	0.09	0.014		
脂質		3.7	4.4	糖質	乳糖	4.7	6.9		
				水分		87.8	87.5		

表2.牛乳成分の主な利用分野

利用成分	そのまま (含殺菌)	発酵	濃縮乾燥・凍結など	その他
全成分	飲用乳		濃縮乳・粉乳	
クリーム	コーヒークリーム ホイップクリーム	サワークリーム	アイスクリーム	バター
脱脂乳	飲用	発酵乳 (ヨーグルト)	脱脂粉乳, MPC	加工乳・発酵乳等の 素材, CPP 他食品の素材
タンパク質 (カゼイン)		チーズ、CTC	カゼイン粉末	
タンパク質 (非タンパク質)			非タンパク質粉末 (育粉・ベーカー)	WPC, WPI, HMP (他食品の素材)
乳糖		アルコール、有機酸	乳児用食品素材	錠剤成形剤 誘導体の合成
無機質			乳清ミネラル	

○牛乳の栄養

一般に食品の栄養素と言われているものはタンパク質、脂質、糖質、ビタミン・^{ミネラル}無機質であり、体内に取り込まれてエネルギー、体構成成分および機能調節成分として働く。乳児にとってはその母乳は唯一の栄養源であり、また牛乳が成人にとっても優れた栄養供給源であることは否定できない。

・タンパク質 牛乳タンパク質のアミノ酸バランスは良好で必須アミノ酸も含んでおり、乳児のアミノ酸所要量をほぼ満たしている。乳清タンパク質はカゼインに比べ含硫^{ホスホ}アミノ酸が多いのが特徴で、かつゲル形成能などの機能性も食品に利用されている。さらに消化されたタンパク質が消化管内あるいは血中に取り込まれて様々な生理的作用を示すことも知られてきた。一方、牛乳アレルギーが問題になるが、カゼインやβラクトグロブリンがアレルゲンである場合が多い。

・糖質(乳糖) 適度の牛乳(乳糖)を摂取すると、成人では消化されずに回腸下部や大腸に達し、その微生物によって乳酸などへ変換されて腸内のpHを低下させる(酸性になる)。その結果、有害微生物の増殖抑制、カルシウム・リン・マグネシウムなどの吸収促進効果などが認められている。新生児が母乳を飲んでも乳糖分解酵素を持つために消化吸収され、さらに腸の活発化、便通の促進、腸内細菌叢の好転、各種無機イオンの吸収促進などの効果も合わせ示す。なお、牛乳には少ないが人乳に多い^{オリゴ糖}糖はビフィズス菌の生育促進因子として知られている。

牛乳を飲んで腹の調子が悪くなる(下痢、ガ^{ラクトース}ラクトース不耐症)という現象は、成人の小腸粘膜上皮に乳糖分解酵素が欠損しているため、ガラクトースとグルコースから構成される乳糖を分解できず、従って吸収もできないために起こる。この欠損は遺伝的なものであり、USA白人8%、USA黒人70%、アフリカ黒人95%、アジア人

90%がこの欠損症であると言われている。日本人での発現頻度については10%から90%までと報告者によって幅がある。これは調査方法の差による

と考えられ、成人の小腸内乳糖分解酵素活性を測定した結果ではやはり活性は低い。様々な人種が住むUSAにおいてはかなりの問題と認識されているようであり、乳糖を摂取させた後に呼気中の水素を測定することにより簡便に乳糖不耐症を診断する方法も開発されている。

・脂質 トリグリセリドの構成脂肪酸はパルミチン酸とオレイン酸で全体の50%以上を占めるが、人乳と比べると酪酸、カプロン酸、カプリル酸などの短鎖飽和脂肪酸が多い。この差の栄養的意味はまだ定かではない。コレステロールも常に関心の的となるが、正常な範囲の摂取は必要である。またある種の脂肪酸には生体防御作用や免疫賦活作用があることが認められている。なお、乳脂肪の消化吸収は良好で加熱調理で顕著となり、好ましい食材として知られている。

・無機質 カルシウム、リン、マグネシウム、カリウム、亜鉛などがバランス良く含まれるが、鉄、マンガンは微量しか含まれていない。人に対する生物学的利用性(bioavailability)や吸収率の評価はなかなか困難であるが、他成分との共役により吸収性が非常に良好であるために、特に骨粗鬆症予防のためのカルシウム源として牛乳やチーズ、ヨーグルトの摂取が推奨されている。

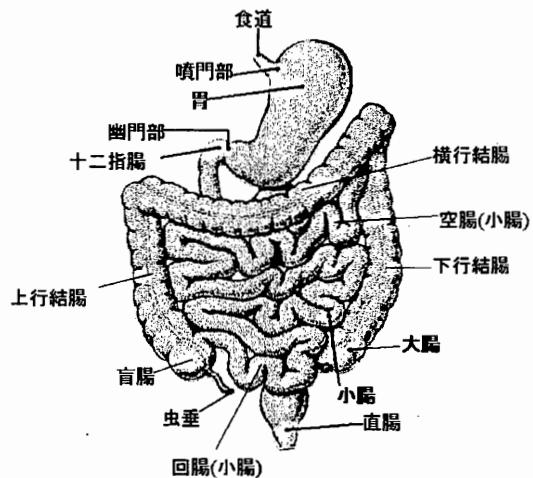


表3.生理機能を示すタンパク質および乳タンパク質由来ペプチド

	機能	用途
免疫グロブリン	抗原抗体反応、抗菌作用	免疫ミルク
ラクトフェリン	腸内細菌叢改善、抗菌、抗ウイルス、抗がん、抗炎症、抗酸化、免疫機能増強、細胞増殖促進など	錠剤(C型肝炎治療、整腸剤など)
ラクトペルオキシダーゼ	酸化還元反応、殺菌作用	食品への添加、薬用練菌磨など
乳タンパク質由来活性ペプチド	抗菌、血圧降下、免疫賦活、カルシウム吸収促進	保健機能食品

○栄養素以外の成分

乳児は母乳に対して栄養だけではなく、他の機能も期待していることは明らかである。この要求はまず初乳によって叶えられる。例えば消化管免疫にとって重要な免疫グロブリン(sIgA)はその主たるものである。初乳にはその他にも各種の抗菌性タンパク質(表3)、ビタミン類、ホルモン様物質などが常乳よりも高濃度で含まれている。これらは乳児を細菌感染から守るなどの生体防御機能、および健やかな成長の促進に直接あるいは間接的に寄与している。そこで牛の初乳を「免疫ミルク」として利用した製品もある。しかし、我国では分娩後5日以内の牛乳(初乳)は食品としては使えないこととなっている。

最近、^{ホエー}乳清タンパク質であるβラクトグロブリンやαラクトアルブミンの生理的機能も徐々に解明されてきた。さらにカゼインおよび^{ホエー}乳清タンパク質から消化酵素によって生成したペプチドが様々な機能を示し、生理活性ペプチドはスポーツ飲料や機能性食品として利用されている(表3、4参照)。さらに牛乳・乳製品の形で摂取した場合、あるいは有効成分だけの摂取の場合について、それらの経口摂取による有効性が腸管吸収メカ

ニズムが明らかになるとともに一部は実証されている。

○乳製品の最近の動向

牛乳の利用形態を表4にまとめた。消費者の嗜好、味覚の追求とともに、健康指向のための食品の供給が注目されている。これまでは肥満や生活習慣病予防のために低脂肪、無コレステロール、減塩・無塩、低カロリーなど、元来含まれている成分を『避ける』食品が注目されていた。しかし今後はむしろ健康に有用な成分が『含まれている』ものを摂取する方向へ変化していると言える。

^{サプリメント}栄養補助食品の人気も高いが、長い目で見ると本来の食物から栄養をとることが望まれている。これ^{ニュートラシューティカル}はneutraceuticalsあるいは機能性食品(functional foods)と呼ばれるものである。それらの開発や評価には栄養学、医学、食品科学の各分野の協力が不可欠となっている。なお、平成13年4月より保健機能食品制度が開始された。今まで医薬品と健康食品なども含む一般食品との間に位置していた**特定保健用食品**(いわゆる機能性食品)に新たに**栄養機能食品**が加わり、これら二つが**保健機能食品**と定義されている。

表4. 牛乳の利用形態

従来からの製品	牛乳、加工乳、乳飲料、発酵乳、乳酸菌飲料、酸乳飲料、バター、チーズ、アイスクリーム、粉乳、ホエー粉、育児用粉乳など
従来品や製法の改良 製造法の改良	バッチ法から連続製造法へ(バター、チーズ)、膜分離技術(UF, MF, ED, RO)の適用(チーズ製造、ホエー処理など)
製品・品質の改良、用途による適合理化・細分化 従来製品の発展・拡張	加 ^{ホエー} イン誘導体、共沈 ^{ホエー} 加 ^{ホエー} イン(コフ ^{ホエー} レカ ^{ホエー} イン)、ト ^{ホエー} カルミル ^{ホエー} タンパク質、脱塩 ^{ホエー} ホエー粉、未変性 ^{ホエー} ホエー ^{ホエー} タンパク質濃縮物、分別 ^{ホエー} バターオイルなど 乳糖分解乳・液状ヨーグルト、ソフトタイプ ^{ホエー} バター、チーズスプレッド ^{ホエー} 、フロアアップ ^{ホエー} ミルク、チーズ風味濃縮物(CTC)、粉末 ^{ホエー} バターなど
加工食品用素材 機能特性(物性) 栄養・生理機能	製パン、製菓、畜肉加工品、水産物製品など 食品添加物、医薬品・医療食・高齢者食(経口流動食など)、機能性食品・機能性飲料(特定保健用食品・栄養機能食品)、スポーツ ^{ホエー} など
機能性 ^{ホエー} ペプチド	栄養 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} 、起泡性 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} 、低 ^{ホエー} アル ^{ホエー} ゲン ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} 、抗菌 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} 、細胞増殖 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} 、抗酸化 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} 、カルシウム可溶性 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} (CPP)、血圧降下 ^{ホエー} ペプチド ^{ホエー} など
他の新技術の応用 遺伝子工学 バイオテクノロジー 食品以外への利用	乳酸菌のスクリーニング ^{ホエー} ・改良、凝乳酵素 ^{ホエー} キモシンの生産、微生物 ^{ホエー} ネットの改良、 ^{ホエー} チーズの熟成迅速化への応用など 乳糖分解、オリゴ糖 ^{ホエー} ・アルコール ^{ホエー} ・有機酸 ^{ホエー} ・酸味料の生産など 繊維、医薬品、糊、その他

表5. プロバイオティクスとプレバイオティクスの定義

プロバイオティクス	腸内微生物のバランスを改善することによって宿主動物に有益に働く生菌添加物
Probiotics	
プレバイオティクス	結腸内に住み着いている有用菌だけの増殖を促進、あるいはその活性を高めることによって宿主の健康に有利に作用する難消化性食品成分
Prebiotics	

○菌体含有の乳製品

プロバイオティクス・ヨーグルトなどの発酵乳が健康関連で注目されている。^{プロバイオティクス}Probioticsとは腸管内で効果を発揮する生きた微生物を含む食品のことであり、乳酸菌・ビフィズス菌を含む発酵乳・乳酸菌飲料や補助食品が該当する。これに対して結腸内有用細菌の増殖を選択的に促進し、腸内環境を改善することによって好ましい効果をおよぼす難消化性の食物成分が^{プレバイオティクス}Prebioticsと^{オリゴ糖}呼ばれ、少糖が良く知られている。また両者^{シンバイオティクス}を共に含むものをSynbioticsと呼ぶ。さらに^{バイオジェニクス}Biogenicsも機能性食品の範疇に含めるべきものとして提唱されている。これは直接あるいは腸^{フローラ}内細菌叢を介して様々な健康保持機能、例えば免疫賦活作用、コレステロール低下作用、血圧降下作用、整腸作用、抗腫瘍効果、抗血栓、造血作用

などの生体調節・生体防御・疾病予防・回復・老化制御の機能を示す食品成分を言う。なお、一般に生きた菌を摂取しても一時的にしか腸内に定着しないと考えられるため、継続的な摂取が薦められている。一方、免疫賦活作用などは生菌でなくとも有効である点に特徴がある。

○最後に

牛乳は各種食品の素材としてだけでなく、多くの健康指向製品の素材として非常に有利な位置にあり、より有効に用いることが出来る。また今後は国際的なコスト面での競合により一層さらされるため、新鮮な飲用乳としての魅力を生かすことも大切である。

○参考文献

- 「乳製品と健康」IDF Bulletin No. 336 (1998)
- 「菌体含有乳製品」IDF Bulletin No. 352 (2000)