たんぱく質は源となる素材の質で選ぶ時代：
米国産乳由来たんぱく原料が商品開発者に選ばれている理由

食料は生命の維持に必要不可欠なものであると同時に、健康的で充実したライフスタイルを過ごすためにも重要な存在です。欧米諸国では、健康的でアクティブな生活を送る為に必要な栄養素としてたんぱく質の重要性が一般消費者に認知され、たんぱく質が強化された食品の市場は成長を続けています。一方、厚生労働省が行っている国民健康・栄養調査によると、日本ではここ20年間でダイエットや偏食傾向の影響で、たんぱく質の摂取量は減少傾向にあります。しかしながら、ここ数年では様々なメディアにおいてたんぱく質の重要性を説く内容の放送が増加傾向にあり、消費者の関心も徐々に高まっています。

食品・飲料に使用するために、多くの種類の動物性、植物性、単細胞たんぱく質が市場に出回っています。あまりにも多くの選択肢が存在することから、食品・飲料ソリューションを処方する場合、食品の商品設計を行う食品開発者にはそれらに精通していることが求められています。消費者が望む一貫した外観や味、機能性、栄養特性を提供するには、適切なたんぱく質原料を選ぶことが必須です。全てのたんぱく質が同様なわけではありません。この報告書では、ホエイたんぱく質成分およびミルクたんぱく質成分がいかにして、持続可能な生産による、栄養価が高く、機能性があり、味が良く、汎用的で、消費者にとって魅力的で、安全な供給源から得られた原料を食品・飲料製品に使用するという、食品開発者のニーズにユニークな方法で取り組んでいるかについて考察します。

ご存じでしたか？

乳牛による世界のフードシステムへのユニークな貢献は、必要不可欠な栄養を人にもたらしているだけではありません。一方で、人が食べることのできない食物を効率的に利用し、肥料という形で土壌に還元しています。以下に挙げたのは、本報告書の各項目の重要ポイントです。

持続可能な生産－卓越した乳牛のケアと管理によって、米国は生乳の生産効率性において世界をリードしています。その結果、カーボンフットプリントが削減される一方で、持続可能性へのイニシアティブが進展しています。

加工－乳由来たんぱく質は本来、水溶性であることから、他の植物／ナッツ由来のたんぱく質に比べ、加工工程数が少なくて済みます。

栄養－乳由来たんぱく質には、体が必要とする必須アミノ酸と非必須アミノ酸の両方を含み、完全なたんぱく質源とみなされています。子供から高齢者までメリットをもたらします。

- 脆弱人口の発育阻害を軽減
- 母子の健康に不可欠な栄養を提供
- 体重管理をサポート
- 運動後の回復を促進
- 健康的な加齢のための筋肉の維持に貢献

機能性／官能特性－他のたんぱく質にはない、広範な機能性を示す一方で、消費者の期待通りに、成分表をシンプルにして、ニュートラルな風味プロファイルを実現します。

用法の多様性－ほぼすべての用途に適した乳由来原料があります。

安定供給－年間を通じた生産と厳格な品質管理が、米国産乳由来原料の安定供給をサポートします。

持続可能な生産：米国酪農家のコミットメント

長年にわたって、米国の酪農家は、技術と高度な管理方法を駆使して、効率の向上と環境への影響の低減に努めてきました。米国環境保護庁（EPA）では、2030年までに、米国の家畜生産全体（すべての動物および、食肉と乳製品の両方を含む）で、温室効果ガス（GHG）排出量の14%を占めることになると試算しています。これに対し、エネルギー生産の占める割合は31%、輸送27%、耕作地13%となっています[5]。

米国の酪農業の環境的、社会的、経済的持続可能性を、農場から食卓に至るまで、評価、管理し、継続的に改善するために、2008年、米国乳製品イノベーションセンターが米国の乳製品生産者によって設立されました。その結果、乳製品の生産、加工、輸送が環境に及ぼす影響を理解することを目的としたライフサイクルアセスメント（LCA）が完成しました。現在、米国の酪農産業がGHGに占める割合はわずか２%、水利用については５%、土地利用については９%となっています[6]。例えば、1950年から2017年までを見ると、酪農方法や管理方法が進歩したことにより、酪農家は、搾乳する乳牛の頭数を1,600万頭減らす一方で、乳生産量を60%増やすことができるようになり、結果的に、カーボンフットプリントが66%削減されました[7]。新たな技術や方法を特定するために進行中の研究は、今後も継続し、そうした影響のさらなる低減を目指します。

米国の酪農家は、気象条件や地域資源に合わせて乳牛を飼育しています[8]。米国の酪農家の97%以上が家族経営で、数世代にわたって継承されているケースがよくあります。米国の酪農家は、健康的なバランスの取れた餌を与え、シェルター、換気・送風機器、水噴霧器、砂／水を使用した寝床等を設置することにより、年間を通して乳牛が最適な環境下で快適に過ごせるよう取り組んでいます。というのも、世話の行き届いた乳牛の方が高効率で乳生産量が上がるためです。

乳牛は栄養素のリサイクルを担っています。乳牛の飼料の約80%は人が食べることのできないものです。理由はたんに、人はそれを消化できないからです。例えば、綿実の外皮や柑橘類の搾りかす、アーモンドの殻等がそれに該当します。そこでは、双方が得をする関係が成立しています。すなわち、乳牛がトウモロコシの茎をすべて食べ、人は穂軸についたトウモロコシの実を食べます。乳牛がアーモンドの殻を食べ、人はアーモンドの実を食べます。また、乳牛が綿実の外皮を食べ、人はTシャツを着ています。このようにして、埋め立て地に運ばれる廃棄物の量を潜在的に削減しているのです。さらに、乳牛が４つの部屋に分かれたユニークな胃袋を経由して栄養豊富なミルクに変換し、そのミルクが持つ高い栄養価から、人は恩恵を受けています。乳牛の餌の約20%は人が食べられるもの（人が消化できる成分）でできていますが、（食品産業の需要や摂取することが望ましいとされていたか否かを基準に見た場合）人が習慣的に食べていたとされるものは２パーセント程度しかありません[9]。

持続可能性サイクルを完成させるために、乳牛は栄養豊富な糞尿を排泄します。この糞尿を土壌に戻せば、土壌を肥沃にし、将来の利用に備えることができます。米国では、乳牛１頭が１日に64リットルの糞尿を排泄しています。イリノイ州の平均的な土壌含有量と泌乳牛を基準にした場合、この量の糞尿を肥料として使えば、20キログラムのトウモロコシを育てることが可能です[10]。

図１：持続可能性に貢献する酪農業

出典：U.S. Dairy Sustainability Commitment. USdairy.com: 2014

加工：乳からのたんぱく質抽出方法における利点

ミルクには腐敗しやすい性質があることから、ミルクを乳製品や原料に転換する作業は、搾乳後速やかに近隣の施設で行われます。多くの代替たんぱく質源とは異なり、乳由来たんぱく質は可溶性液体から分離されているため、溶解した状態を維持するために、追加の製粉や化学物質の添加を必要としません。加工工程数が少なく、輸送による負担も軽減されることから、米国の乳製品業界は、食品・飲料に使用するための安全で高品質な、また、利用しやすく栄養価の高い乳由来原料を、一貫して供給することが可能となっています。

ミルクたんぱく質は、カゼイン80%とホエイたんぱく質20%を組み合わせて構成されています。たんぱく質や脂肪、炭水化物といった成分を、それぞれの物理的サイズに合わせて優しく膜でろ過するために、水を使用します。分離後、たんぱく質成分が濃縮、乾燥され、カゼインやホエイたんぱく質の割合が異なる、たんぱく質を豊富に含む原料になります。例えば、それぞれユニークな機能的特性を持つ濃縮ミセラカゼイン（MCC）や分離ミルクたんぱく質（MPI）、濃縮ミルクたんぱく質（MPC）、ミルクホエイたんぱく質（未変性ホエ

イ）等です[11,12]。チーズ製造過程で抽出されるホエイたんぱく質についても、ろ過、濃縮することにより、分離ホエイたんぱく質（WPI）または濃縮ホエイたんぱく質（WPC）を生産することが可能です[13]。

図２：乳から抽出されるたんぱく質

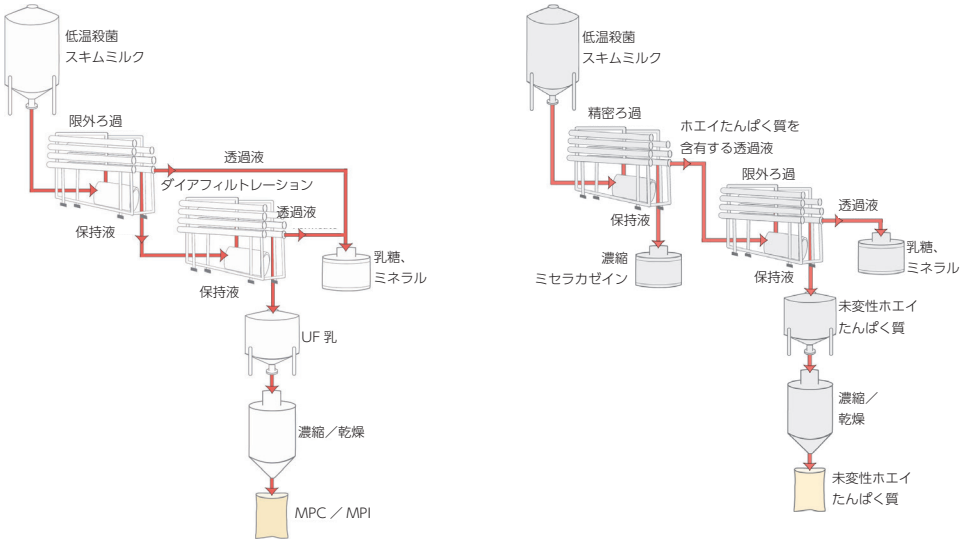
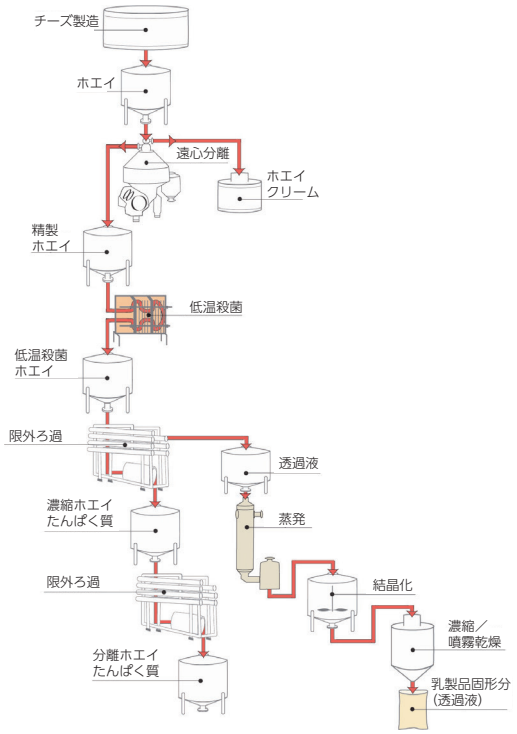


図３：チーズから抽出されるたんぱく質



出典：Smith K. 2017. Dried Dairy Ingredients, 2nd Edition. Wisconsin Center for Dairy Research.

このタイプのろ過には水と膜を使用するため、乳から分離した水分の大部分をろ過して洗浄用に再利用する、もしくは、さらに浄化して飲料水として環境中に再放出することが可能です。

栄養：たんぱく質の品質が重要

牛乳は、長きにわたって人の生命に栄養を与えてきました。1600年代に入り、米国に渡った最初の移民たちは、ヨーロッパから乳牛を一緒に連れて行き、そのミルクと肉で家族を養いました[14]。2016年までに、牛乳と乳製品が、たんぱく質の供給源として第３位に、また、カロリーの供給源として第5位となり、世界中で60億人以上に栄養を補給しています[15]。

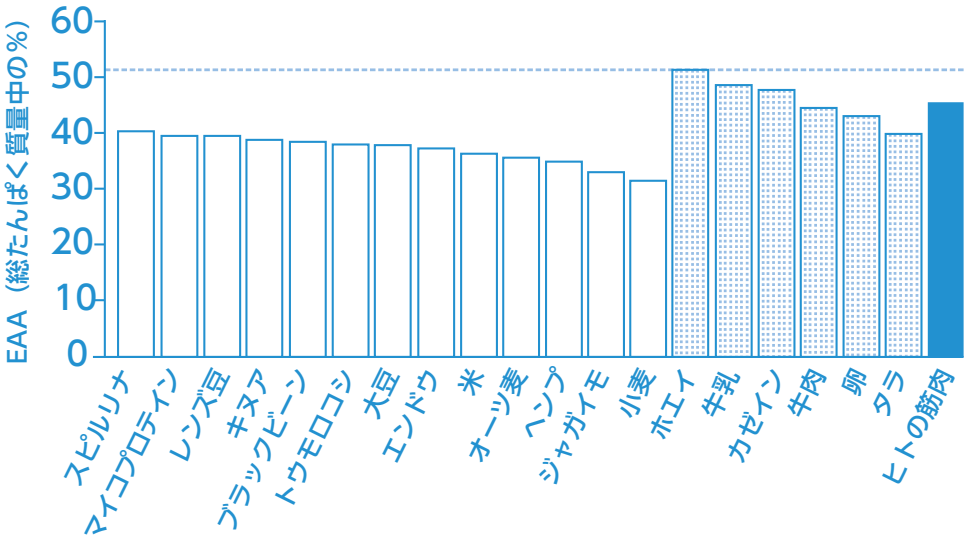
たんぱく質の品質は、高たんぱく質含有原料を選択する際の重要な検討事項です。たんぱく質は、身体構造や機能、また、組織や臓器の正常な働きにおいて、欠くことのできない役割を果たしています。摂取した食物に含まれる必須アミノ酸をすべて利用できた場合に限り、身体は必要なたんぱく質を作り出すことができます。すべての動物性食品および、ほとんどの植物性食品にある程度のたんぱく質が含まれていますが、たんぱく質に含まれる必須アミノ酸の量やたんぱく質の消化性、バイオアベイラビリティに差があるため、すべてのたんぱく質源に同じ効果を期待できる訳ではありません。筋肉たんぱく質合成を最大化するために必要な量は、個人によって、また、摂取したたんぱく質の種類（品質）によって異なると考えられます。身体が必要とする割合ですべての必須（不可欠）アミノ酸を含有する一方で、バイオアベイラビリティと迅速な消化性を維持するたんぱく質が、高品質たんぱく質と定義されます[16]。乳由来たんぱく質はこれらの要件を満たしています。

表１：必須アミノ酸と非必須アミノ酸

必須	条件付き必須	非必須
ヒスチジン	アルギニン	アラニン
イソロイシン	システイン	アスパラギン酸
ロイシン	グルタミン	アスパラギン
リシン	グリシン	グルタミン酸
メチオニン	プロリン	セリン
フェニルアラニン	チロシン	
トレオニン		
トリプトファン		
バリン		

出典：Institute of Medicine. 2006. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements.

表２：総たんぱく質量に占める必須アミノ酸（EAA）の割合（パーセント）



出典：van Vilet, S., Burd, N.A. and van Loon, L.JC. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. J Nutr.

たんぱく質源はそれぞれ、必須アミノ酸含有量が異なります。総たんぱく質量に占める割合で見た場合、植物由来のたんぱく質よりも、動物由来のたんぱく質源の方が、必須アミノ酸の含有量が多い傾向がありますが、最も多いのは乳由来たんぱく質です[17]。摂取したたんぱく質が高品質な完全たんぱく質であれば、高たんぱく食であればあるほど健康上の恩恵が大きくなると考えられることが、科学的に証明されています[18,28]。たんぱく質の品質の評価基準として、現在米国では、たんぱく質消化吸収率補正アミノ酸スコア（PDCAAS）が用いられています[19]。

たんぱく質は、アミノ酸（AA）含有量、消化性、バイオアベイラビリティによって、品質に差があります。動物性たんぱく質は、すべての必須アミノ酸を含有しているため、高品質な完全たんぱく質です。大豆たんぱく質を除いて、植物性たんぱく質は、身体に必要とされる十分な量の必須アミノ酸が含有されていないため、一般に動物性よりも品質が低く、不完全です。牛乳（ホエイ、カゼイン）由来のたんぱく質はたんぱく質品質スコアが最も高く、1.0となっています。

PDCAASは、現在、国連食糧農業機関（FAO）をはじめとする国際機関が認める標準的な評価基準として利用されていますが、限界がないわけではありません。第一に、PDCAAS値は、粗たんぱく質の全消化管の消化率（糞便消化率）から計算されます。しかし、アミノ酸の消化率が最も正確に測定できるのは、小腸（回腸）の末端です。というのも、アミノ酸は小腸からのみ吸収され、後腸発酵は糞便中アミノ酸排泄量に影響する可能性があるためです。第二に、各アミノ酸ごとに消化吸収の効率が異なるため、粗たんぱく質の消化率が、すべてのアミノ酸の消化率を表しているわけではありません。

表３：一般的なたんぱく質食品のPDCAAS

たんぱく質源	PDCAAS
ミルク	1.00
ホエイ	1.00
卵	1.00
分離大豆たんぱく質	1.00
カゼイン	1.00
牛肉	0.92
大豆	0.91
エンドウ	0.67
オーツ麦	0.57
全粒小麦	0.45

出典：van Vilet, S., Burd, N.A. and van Loon, L.JC. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. J Nutr.

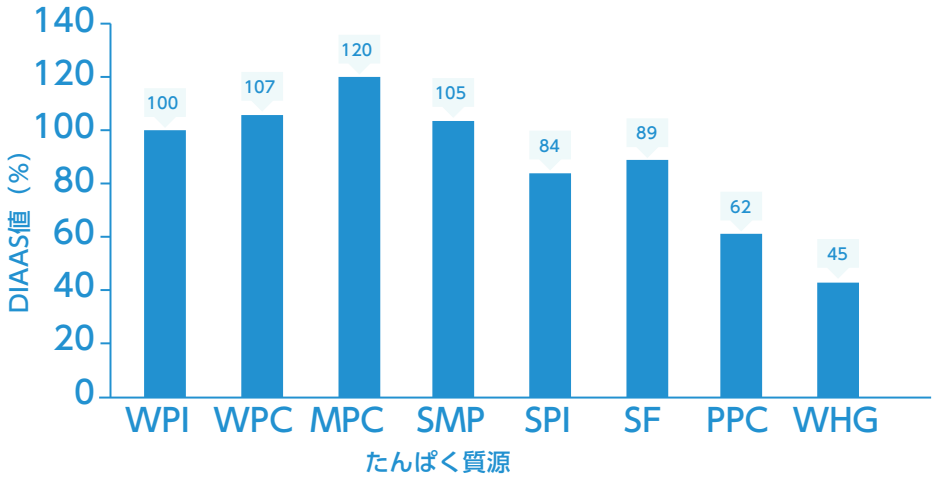
第三に、スコアは1.0で切り捨て処理が行われます。一部のたんぱく質、特に、乳由来たんぱく質は、１を超える切り捨てされていないスコアを有しているため、高品質たんぱく質の比較的高い数値を識別することができなくなってしまいます。第四に、アミノ酸のバイオアベイラビリティを低下させる場合がある食品加工について考慮されていません。総合的に見ると、これらの限界があることにより、PDCAASは一般的に、高品質たんぱく質の価値を過小評価し、低品質たんぱく質の価値を過大評価していることになります[19,20,21]。

PDCAASにはこうした限界があることを前提に、FAOはこの問題に取り組むための専門家パネルを招集しました。パネルでは、PDCAASに替えて、たんぱく質の品質を評価する新たな方法として、DIAASと呼ばれる消化性必須アミノ酸スコアを採用することが提言されました[22]。この方法では、指摘されているPDCAAS法に見られる上記の限界のいくつかが考慮されることになります。例えば、（腸管全体で粗たんぱく質のスコアを計算するのではなく）アミノ酸の真の回腸（小腸）消化率からたんぱく質の品質を計算したり、食品加工に伴うたんぱく質の品質の変動を是正したり、スコア1.0での切り捨て設定を解除するといったことが行われます。より新しい代替たんぱく質源の品質を理解するには、さらなる研究が必要です。

	たんぱく質消化吸収率補正アミノ酸スコア（PDCAAS）	消化性必須アミノ酸スコア（DIAAS）
栄養スコアの計算方法であるPDCAASとDIAASの違い	糞便消化率に基づく	アミノ酸は小腸からのみ吸収され、後腸発酵は微生物相により、糞便中アミノ酸排泄量に影響する可能性があることから、糞便消化率よりも好ましいとされる回腸アミノ酸消化率に基づく
	各アミノ酸ごとに消化吸収の効率が異なるという側面を考慮に入れない、粗たんぱく質の消化率に基づく	各アミノ酸ごとの消化率の違いを考慮に入れた、個々のアミノ酸の消化率に基づく
	1でスコアを切り捨てる	スコアの切り捨て処理を行わない
	高品質たんぱく質の相対値（切り捨てされていない＞1.0のスコア）を識別することができない	高品質たんぱく質の相対値（1.0を超えるスコア）を識別することが可能なことから、混合食における他のたんぱく質源とともに、アミノ酸の補給源としての価値に基づいて、たんぱく質への信用が高まる
	特定のアミノ酸のバイオアベイラビリティを変化させる可能性のある食品加工の影響について考慮しない	食品加工に対する、スコア計算の修正あり
	1～2歳児のアミノ酸必要量を使用して、すべてのヒトのPDCAAS値を推定する	複数の年齢層のアミノ酸評点パターン（必要量）を使用する

出典：Mathai, JK, et al., Br J Nutr 2017 and Rutherfurd, SM, et al., J Nutr 2015.

表４：消化性必須アミノ酸スコア（DIAAS）をパーセントで表した、
一般的なたんぱく質源の品質



略語について：WPI＝分離ホエイたんぱく質；WPC＝濃縮ホエイたんぱく質；MPC＝濃縮ミルクたんぱく質；SMP＝スキムミルクパウダー；SPI＝分離大豆たんぱく質；SF＝大豆たんぱくパウダー；PPC=濃縮エンドウたんぱく質；WHG：全粒小麦。

出典：Mathai JK, Liu Y, Stein HH. Brit J Nutr. 2017.

人体はどのようにたんぱく質を利用しているか

食物を摂取すると、人体はたんぱく質を消化してアミノ酸に分解し、吸収・利用しやすくします。必須アミノ酸（EAA）は、生体組織の構築、成長、修復を行う筋たんぱく質合成（MPS）をサポートする上で欠くことのできないものであり、一方、分岐鎖アミノ酸（BCAA）、ロイシン、イソロイシン、バリンは、筋肉の代謝において、とりわけ重要な役割を担っています。ロイシンは、MPS開始を刺激する鍵となるアミノ酸であることがわかっています。動物由来のたんぱく質源には一般に、植物由来のたんぱく質よりも多くのロイシンが含有されています。植物由来のたんぱく質のほとんどで、ロイシンの含有量が６～８％であるのに対し、動物由来のたんぱく質源では、ロイシン含有量は一般に8.5～９％の間で、乳由来たんぱく質の場合は10％超となっています[17]。従って、MPSを最適化（最大化）して強度と性能を維持するには、EAA、BCAA、ロイシンの濃度が高いたんぱく質源の方が好まれます[23,28]。

筋活プロジェクト：たんぱく質不足をふせぐカギは“質・量・タイミング”

たんぱく質は質だけでなく、摂取する量とタイミングも重要です。日本では、たんぱく質不足を防ぐポイント、“質・量・タイミング”をおさえた食習慣作りを助ける「筋活プロジェクト」（監修：本多京子氏（管理栄養士・医学博士）、町田修一氏（順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科教授））が2016年にスタートしました。オリジナルの「筋活ダイアリー」を使って、健康維持・増進に必要な筋肉作りのための適切なたんぱく質摂取と運動習慣醸成に取り組むものです。同プロジェクトは現在も継続中ですが、2017年までの２年間に東京都と神奈川県の有志約50が参加し、概ね85％の参加者において３ヶ月間で意識的なたんぱく質摂取や日常の運動習慣が定着し、６ヶ月後もその意識が継続していることが確認されました。また、参加者の主観的観測では、階段の昇り降りが楽になるなどの成果が確認されています。

栄養不良の二重負荷

世界的に、低栄養と過剰栄養が、ライフステージを通して人にどのように影響するかについての関心が高まっています。2017年には、８億1,500万人以上が空腹の状態で就寝していました[24]。UNICEFによれば、５歳未満児１億5,600万人が発育阻害（年齢相応に背丈が伸びていない）で、5,200万人が消耗症（身長に不相応な低体重）です[25]。さらに、成人では、４億6,200万人以上が低体重である一方、19億人以上が過体重または肥満です[26]。乳由来たんぱく質は高品質たんぱく質であることから、発表されたさまざまな研究結果が示唆しているように、上記のような人口層のために考案された製品に乳由来たんぱく質を使用すれば、有益な効果を得られる可能性があります。例えば、たんぱく質の品質と線形成長、発育阻害の防止の関係を調べるために、研究者が、生後６ヶ月以上の子どもを対象にした６件の臨床研究結果を評価しました。その結果、特に、栄養不良の子どもでは、乳由来たんぱく質がより高い成長と関連していると結論付けられました[27]。

成人の場合、骨格筋量は、MPSと筋たんぱく質分解（MPB）の連続的同時プロセスの産物となります。これら２つのプロセスの正味バランスによって、筋量が増加している（正のたんぱく質バランス）か、減少しているか（負のたんぱく質バランス）、あるいは一定に保たれているかが決まります。MPSとMPBの比率は、エネルギー欠損、筋力トレーニング、加齢等、いくつかの要因による影響を受けると考えられています。たんぱく質を含む食事の摂取後、短時間の高アミノ酸輸液血症によりMPSが刺激され、また、高インスリン血症によりMPBが抑制されることから、結果的に、正の正味たんぱく質バランスとなります。たんぱく質の供給に対するMPS反応の差は、摂取したたんぱく質の品質の機能の一つです。

筋力トレーニングと組み合わせた場合、乳由来たんぱく質、具体的にはホエイたんぱく質が、MPSを刺激して、その割合を最も大きくすることにより、肉以外の他のたんぱく質源に比べて、身体組成を最適化する可能性のあることが、科学的証拠によって示されています[23,28]。身体の加齢に伴い、全体的な健康を最大限に維持するには、生涯を通じて筋量を最適化することが極めて重要です。14件の臨床試験に対して、追加的なメタ分析を行った結果、筋力トレーニングと組み合わせて、もしくは、体重減少または体重維持を目的とした食事療法の一環として、ホエイたんぱく質を補充することにより、身体組成の改善が可能であることが、十分な証拠によって裏付けられたことが示されました[29]。

表５：食後（食事後）の筋たんぱく質合成を理論上最大化するために必要な食品たんぱく質量

たんぱく質源	ロイシン（総たんぱく質量中の％）	ロイシン（～3g）に対して、1回の食事で摂取されるたんぱく質の代表的な量（単位：g）	1回の食事で摂取される食物源の代表的な量（単位：g）
トウモロコシ	12.3	25	264
スピルリナ	8.5	36	63
ブラックビーン	8.4	36	167
米	8.2	37	500
大豆	8.0	38	104
レンズ豆	7.9	39	150
エンドウ	7.8	39	180
オーツ麦	7.7	35	236
キヌア	7.2	43	302
ヘンプ	6.9	45	121
小麦	6.8	45	299
マイコプロテイン	6.2	49	447
ジャガイモ	5.2	58	2891
動物性			
ホエイ	13.6	23	27
ミルク	10.9	28	876
カゼイン	10.2	30	35
牛肉	8.8	35	164
卵	8.5	36	5
タラ	8.1	38	211

若年者の摂食において運動後のMPS率を最大化するために摂取が必要なたんぱく質源の量。データはロイシンの含有量によって、高から低までランク付けされています。ロイシンの含有量が高いほど、食後のMPS率を最大化するために必要な特定のたんぱく質源から摂取する食品たんぱく質の量は少なくなることが示唆されます。3列目(1回の食事で摂取されるたんぱく質の量)は、参照標準としてホエイたんぱく質を用いた場合の理論値を表しています。計算されたたんぱく質の量は、23gのホエイたんぱく質に含まれるロイシン含有量(～3g)に合わせるために必要な量を表しています。ホエイおよびカゼインの代表的な量は分離されたたんぱく質源を前提としていますが、一方、他のたんぱく質源はすべて、手を加えていない食物源の代表的な量として表されています。MPS, 筋たんぱく質合成。卵の個数

出典：van Vilet, S., Burd, N.A. and van Loon, L.JC. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. J Nutr.

世界全体で、60歳以上の成人人口が2017年の９億6,200万人から2050年には21億人に増加することが見込まれている中、サルコペニアとして知られる加齢に伴う筋量の低下が、個人の日常の活動性にマイナスの影響を及ぼすことが予想されています[30]。厚生労働省が行った平成29年国民健康・栄養調査結果によると、80歳以上では男女ともに約２割が低栄養傾向にあります。骨格筋指数の平均値は男女ともにたんぱく質摂取量が多い物ほどに有意に高く、低栄養傾向の者（BMI≦20kg/㎡）における骨格筋指数の平均値は男性が6.7kg/で、男性の75歳以上では65-74歳よりも優位に低くなっていることが示されました[31]。たんぱく質を含む食事を摂取すれば、MPSを刺激できますが、高齢者の場合、たんぱく質がMPSにもたらす刺激作用に対する感度が高くありません[32]。高品質たんぱく質の摂取量を増やすことで、高齢者の筋量が維持されることが分かっています[28]。動物性たんぱく質食品に限定して摂取量を増やす、また、特に、身体的に活発なライフスタイルを組み合わせることも、高齢者の筋量や身体機能のパフォーマンスの維持と関連付けられています[33]。

一部の植物由来の食品（例：大豆、エンドウ、米）には、抗栄養因子が含まれているため、追加の加工によって除去することが必要です。この加工は、ホエイたんぱく質と比較して、ロイシンの消化性および有用性に影響する可能性があります[17]。そのため、同じ臨床結果を得るには、より多くの植物性たんぱく質を摂取することが必要になると考えられます[17,34]。

機能性：パフォーマンスの最適化特性

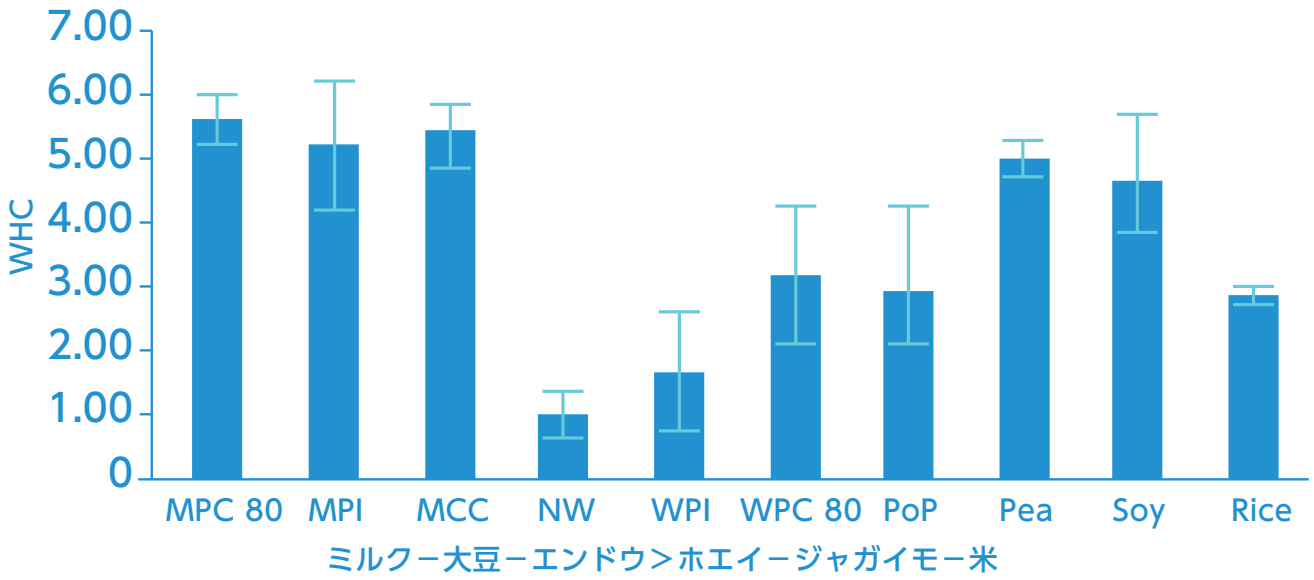
原料の選択は、食品を楽しむことに大きく貢献する官能特性や機能特性に影響を与えます。2017年には、市販の各種乳由来たんぱく質源と植物性たんぱく質源を対象に、機能特性および官能特性の特徴を明らかにし、それぞれについて比較、対比することを目的とした研究が行われました[35]。以下に挙げた、計30種類の市販されているたんぱく質成分のサンプルが評価されました。MPI、MPC80%、MCC、ミルクホエイたんぱく質（未変性ホエイ）、WPI、WPC80%、77～89%のジャガイモたんぱく質、70～76%のエンドウたんぱく質、80～90%の大豆たんぱく質、83%の米たんぱく質。

たんぱく質の物理的外観、pH（5～7）、粘性、乳化安定性、ゲル化、起泡性は、ミルク、ホエイ、植物由来のそれぞれで異なっていました。しかしながら、最も興味深いのは、保水性と熱安定性の違いでした。

保水性

保水性（WHC）とは、成分が水または湿気を吸収し保持する能力のことです。WHCは、飲料、ベーカリー製品、形成肉、ソース、スープ、グレイビーソース、フローズンデザートといった、フォーミュレーターが完成品の水分分離を望まない用途で、重要な検討項目となっています。

表６：保水性



方法論：Neumann et al., 1984.

略語について:分離ミルクたんぱく質=MPI、濃縮ミルクたんぱく質=MPC 80、濃縮ミセラカゼイン=MCC、ミルクホエイたんぱく質／未変性ホエイ=NW、分離ホエイたんぱく質=WPI、濃縮ホエイたんぱく質=WPC 80、ジャガイモたんぱく質=PoP、エンドウたんぱく質=Pea、大豆たんぱく質=Soy、米たんぱく質=Rice

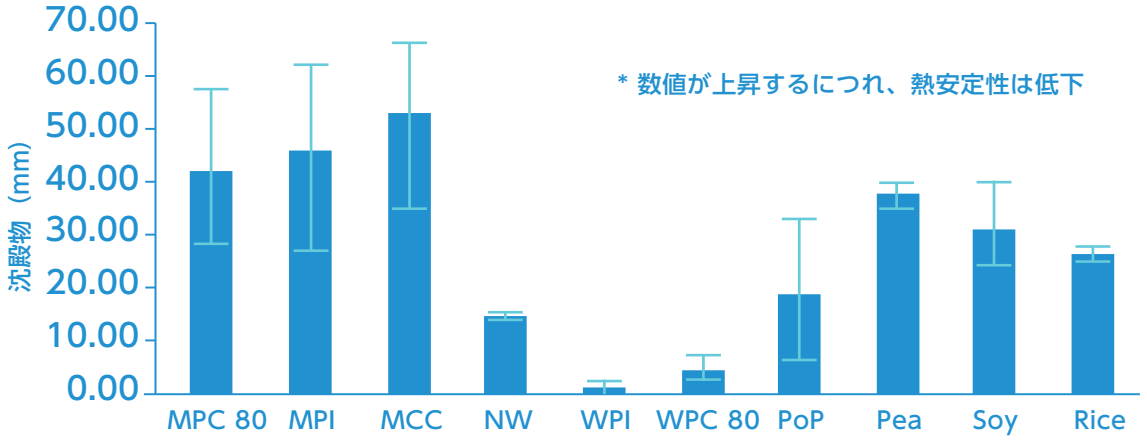
出典：Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. 2017 International Whey Conference, Chicago.

ミルク、大豆、エンドウたんぱく質は、ホエイ、ジャガイモ、米たんぱく質よりも有意に高いWHC（p<0.05）を発現しました。しかしながら、パッケージング前のpHおよび熱処理は完成品におけるたんぱく質の性能に影響を及ぼす可能性があります。こうした特徴は、レディ・トゥ・ドリンク飲料（購入後そのまま飲める缶やペットボトル飲料）を加工する際に、とりわけ重要となります。

熱安定性

基本的に、以下に示す4種類の熱殺菌方法があります。無菌、レトルト、トンネル低温殺菌、熱間充填。無菌とレトルトは高温熱処理で、通常、中性のpH（4.6～7.5）で製品を処理します。トンネル低温殺菌と熱間充填は低温で行うため、2.8～4.5という酸性のpH条件下で製品を保持することにより、病原菌の増殖を抑制しなければなりません[36]。どの成分を使用するかを決定するには、以上のような異なる条件下でたんぱく質がどのように機能するかを理解することが重要です。

表７：PH3での熱安定性



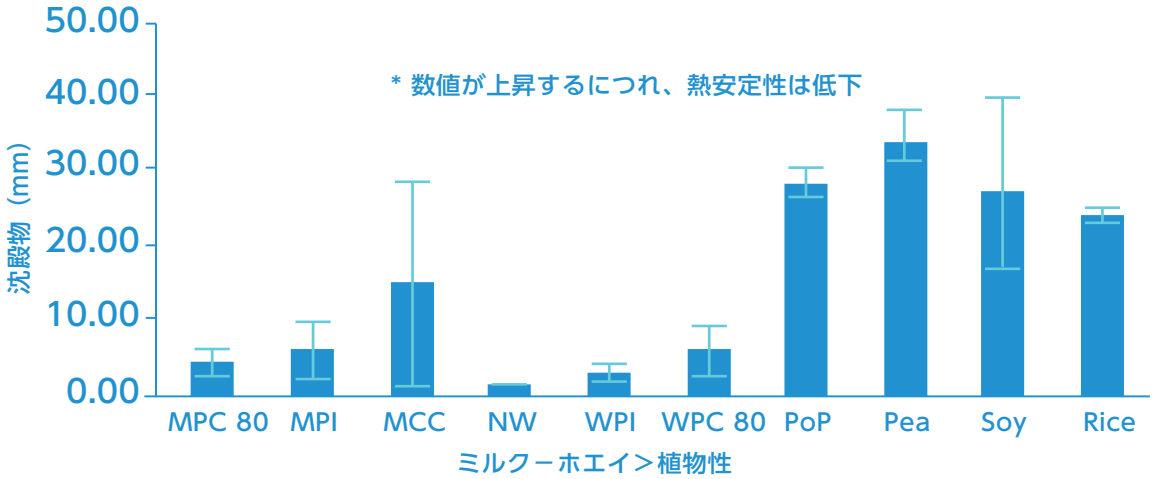
方法論:Harper and Lee, 1988.

略語について:濃縮ミルクたんぱく質=MPC 80、分離ミルクたんぱく質=MPI、濃縮ミセラカゼイン=MCC、ミルクホエイたんぱく質／未変性ホエイ=NW、分離ホエイたんぱく質=WPI、濃縮ホエイたんぱく質=WPC 80、ジャガイモたんぱく質=PoP、エンドウたんぱく質=Pea、大豆たんぱく質=Soy、米たんぱく質=Rice

出典：Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. 2017 International Whey Conference, Chicago.

pH3では（表７参照）、ホエイたんぱく質の性能が、植物性たんぱく質やミルクたんぱく質よりも有意に優れていることから（p<0.05）、ホエイたんぱく質は高酸性（低pH）の加工条件によく適していることがわかります[35]。さらに、WPI溶液がpH3で透明なままであることは、WPIが、透明なレディ・トゥ・ドリンクの用途で理想的な成分になり得ることを意味しています。

表８：PH7での熱安定性



方法論:Harper and Lee, 1988.

略語について:分離ミルクたんぱく質=MPI、濃縮ミルクたんぱく質=MPC 80、濃縮ミセラカゼイン=MCC、ミルクホエイたんぱく質／未変性ホエイ=NW、分離ホエイたんぱく質=WPI、濃縮ホエイたんぱく質=WPC 80、ジャガイモたんぱく質=PoP、エンドウたんぱく質=Pea、大豆たんぱく質=Soy、米たんぱく質=Rice

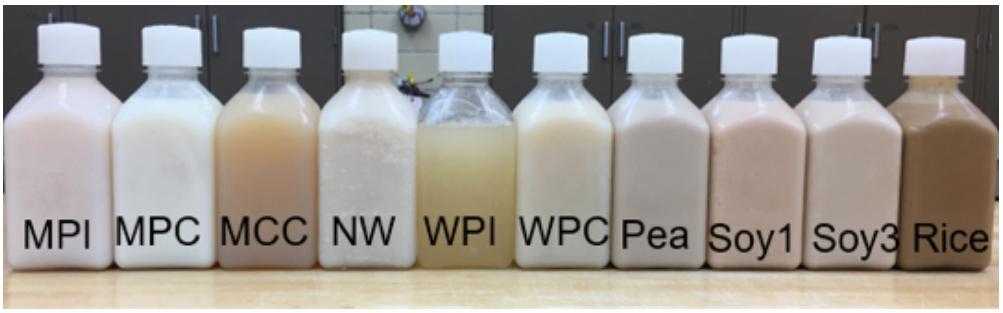
出典：Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. 2017 International Whey Conference, Chicago.

pH7では（表８参照）、ミルクたんぱく質成分とホエイたんぱく質成分の両方が、植物性たんぱく質成分よりも熱安定性が高いという結果が得られました（$p<0.05$）[35]。従って、ミルクたんぱく質、ホエイたんぱく質、または、これら２つを組み合わせて使用することにより、無菌食品では上手く機能すると考えられます。レトルト処理はパッケージそのものの中で行われるため、より高い温度／より長い保持時間が必要となり、結果的に熱への曝露時間が長くなります。レトルト製品では熱安定性が極めて重要であることから、含有するカゼインの濃度が高いミルクたんぱく質の方が性能に優れる可能性があります[36]。

飲料評価

飲料の加工条件下でのたんぱく質の性能を理解するために、机上での熱安定性評価で性能が最も優れていたたんぱく質を用いて、pH3とpH7の両方でたんぱく質含有量５％のレディ・トゥ・ドリンク飲料を処方しました[37]。中性pHの飲料には、砂糖、天然バニラ風味、リン酸二カリウム、ジェランガムを使用して、風味付けし安定化させた市販の飲料に近づけました。次に、このようにして処方した飲料を熱処理し、無菌状態に近づけました（140Cで６秒間）。高酸性の飲料には、風味付けとpHを３の酸性にするために、砂糖、天然のグリーンマンゴー風味、85％のリン酸を使用しています。このようにして高酸性に処方した飲料を熱処理し、熱間充填の状態に近づけました（82Cで２分間）。45Cで１ヶ月間保持した後、これらの熱処理された飲料の物理的外観と貯蔵安定性を評価しました。

図５：中性PH（PH7）のレディ・トゥ・ドリンク飲料比較



略語について:分離ミルクたんぱく質=MPI、濃縮ミルクたんぱく質=MPC、濃縮ミセラカゼイン=MCC、ミルクホエイたんぱく質／未変性ホエイ=NW、分離ホエイたんぱく質=WPI、濃縮ホエイたんぱく質=WPC、エンドウたんぱく質=Pea、大豆たんぱく質=Soy1およびSoy3、米たんぱく質=Rice

出典 ： Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients. 2017年11月14日、ウィスコンシン乳製品研究センターで開催された研究フォーラムにて発表。

熱処理の前に、ジャガイモたんぱく質1サンプルとエンドウたんぱく質１サンプルは早急に分離したことにより、これら２個のサンプルは貯蔵性評価から除外されました。もう一つのジャガイモたんぱく質のサンプルについては、熱処理を行いましたが、処理装置を詰まらせたことから、こちらも評価から除外されました。米たんぱく質は、他のたんぱく質源よりも格段に粘性が高くなりました。中性のpHで、色はたんぱく質源によって異っており、苦味がある場合、熱処理後に苦味が際立ちました[37]。これらは処方における重要な検討事項です。というのも、選択するたんぱく質によっては、色および／または風味のマスキングが必要となる可能性があるためです。

図６：高酸性PH（PH3）のレディ・トゥ・ドリンク飲料比較

略語について:ミルクホエイたんぱく質／未変性ホエイ=NW、分離ホエイたんぱく質=WPI4、濃縮ホエイたんぱく質=WPC2、ジャガイモたんぱく質=PoP1、大豆たんぱく質=Soy1、エンドウたんぱく質=Pea3、米たんぱく質=Rice1

出典：Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients. 2017年11月14日、ウィスコンシン乳製品研究センターで開催された研究フォーラムにて発表。

熱処理して高酸性、低pHの飲料を処方した際に、米たんぱく質は早急に分離し、また、エンドウたんぱく質については、実験開始時から一晩かけて分離しました。その他のたんぱく質は溶液中に置かれたままでした。ミルクホエイたんぱく質（未変性ホエイ）、WPI、ジャガイモたんぱく質は、他のたんぱく質源よりも高い透明性を発現しました[37]。

栄養バーの評価

市販のたんぱく質成分サンプルについては、カロリーベースで炭水化物40%、たんぱく質30%、脂肪30%をターゲットとする標準的な栄養バーの用途で評価を実施しました[37]。それぞれのたんぱく質成分の組成がユニークなため、個別に処方を開発して、たんぱく質やカロリー含有量の違いに対応できるようにしました。液体果糖（炭水化物成分）は52%で一定に保ちました。キャノーラ油（脂肪成分）の量については、たんぱく質成分間の差を説明できるよう、処方ごとに調整しました。すべての原料を計量し、速度を３に設定したキッチンエイド・プロフェッショナル・ミキサーで30秒間撹拌しました。撹拌された混合物を計量し、25gずつに４等分し、28gのプラスチック製カップに詰めました。飲料を処方したときと同様、たんぱく質の成分サンプル間に色の違いが認められました。

次に、カップを金属化パッケージに熱融着によって密封し、保存状態に置きました。各たんぱく質成分につき１個の対照サンプルを室温で24時間保存してから、米国カリフォルニア州ラモナにあるテクスチャー・テクノロジーズ社のTA.XTプラス・テクスチャー・アナライザを使って、バーの硬度分析を行いました。追加で、各成分ごとに３個ずつサンプルを用意し、45Cで30日間保持してから同様の方法で、テクスチャーを解析しました。

栄養バーのテクスチャー解析

貯蔵寿命の加速試験の後、たんぱく質源間に有意な差（$p<0.001$）があることがわかりました[37]。ソフトな状態のままであったホエイたんぱく質に比べ、ミルクたんぱく質と植物性たんぱく質では硬度の程度が増しました。大豆たんぱく質源とジャガイモたんぱく質源の間に差異があることから、たんぱく質の調達は慎重に行うことが必要です。

官能特性評価

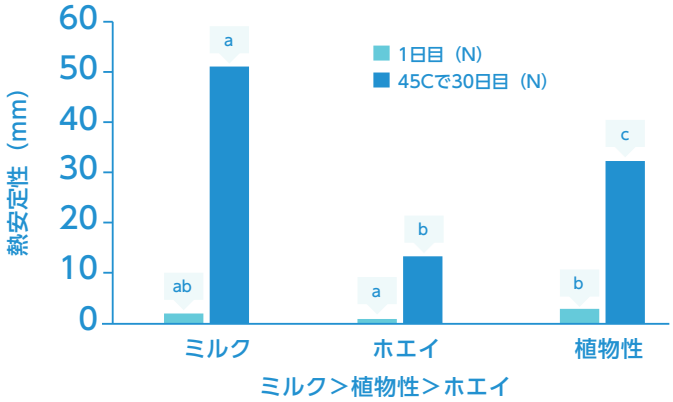
消費者が楽しめることは、食品や飲料の新製品を成功させるための必須条件です。最初に、評価したたんぱく質を再水和して10%の固形分を生成し、熟練の官能パネルが21Cで評価を２回行い、風味特性を記録しました。

図7：色のバリエーション

略語について:分離ミルクたんぱく質=MPI1-3、濃縮ミルクたんぱく質=MPC1-3、濃縮ミセラカゼイン=MCC1-4、分離ホエイたんぱく質=WPI1-4、濃縮ホエイたんぱく質=WPC1-3、ミルクホエイたんぱく質／未変性ホエイ=NW1、大豆たんぱく質=Soy1-4、エンドウたんぱく質=Pea1-4、ジャガイモたんぱく質=PoP1-3、米たんぱく質=Rice1

出典：Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients.　2017年11月14日、ウィスコンシン乳製品研究センターで開催された研究フォーラムにて発表。

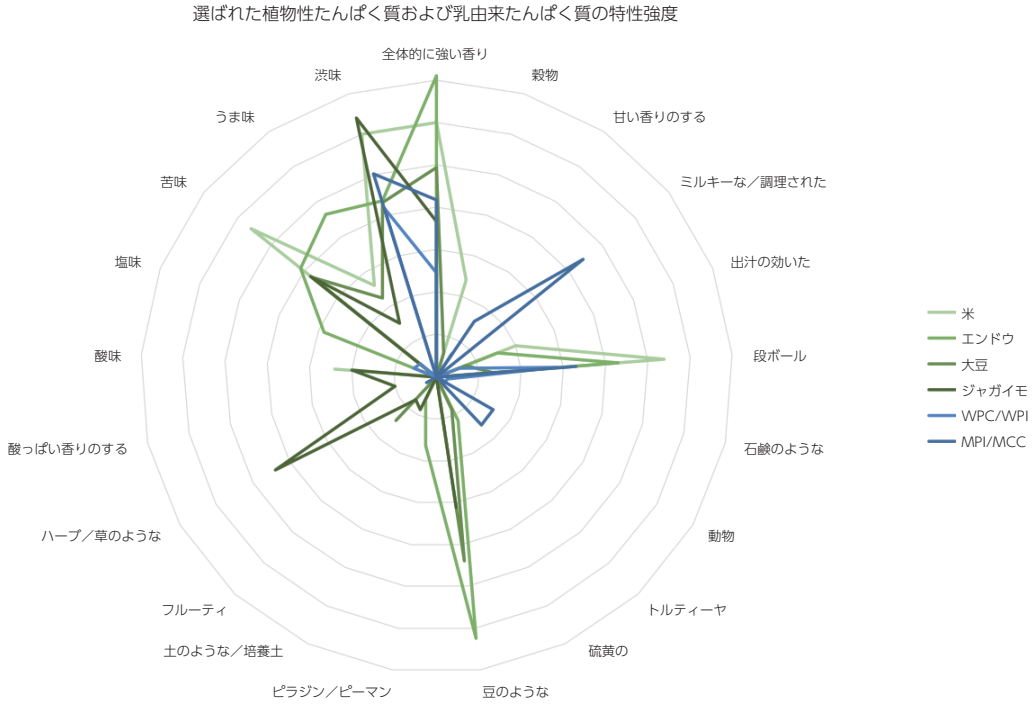
表９：バーの硬度



異なる文字を付した中央値は有意（$p<0.001$）

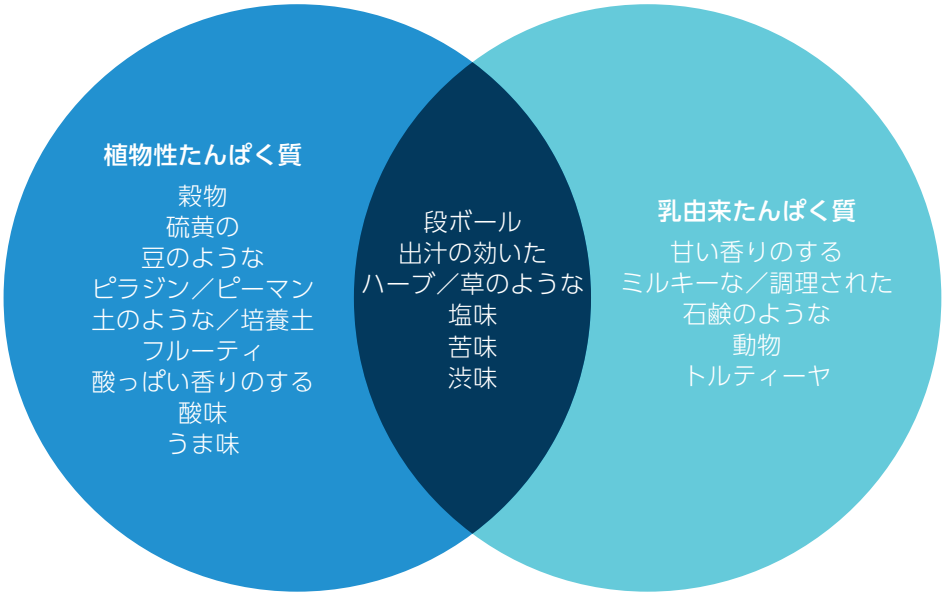
出典：Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients. 2017年11月14日、ウィスコンシン乳製品研究センターで開催された研究フォーラムにて発表。

図８：植物性たんぱく質および乳由来たんぱく質の風味強度



出典：Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients.

図９：植物性たんぱく質と乳由来たんぱく質の風味の違い



出典：Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients.

乳由来たんぱく質は、「甘い香りのする」や、「調理された／ミルキーな」といった特性を発現するのに対し、植物性たんぱく質源は、「豆のような」や、「土のような」、「硫黄の」、「酸味」といった特性を発現しました。ジャガイモたんぱく質は、他のどのたんぱく質源よりも強い渋味を発現しました。さらに、乳由来たんぱく質は、植物性たんぱく質源に比べて、「段ボール」、「出汁の効いた」、「ハーブ／草のような」、「苦味」、「渋味」といった特性の強度が有意に弱い（$p<0.05$）という結果になりました[35]。このような感覚認知の違いから、乳由来たんぱく質が、優れた感覚的経験を提供できることがわかります。

さらに、市販のバニラ風味のレディ・トゥ・ミックスのプロテインドリンク4種類を使って、消費者の官能評価を実施したところ（n＝消費者105人）、ここでも、全体的な特性や外観、風味、テクスチャー／食感といった特性において、植物性たんぱく質含有飲料よりも、乳由来たんぱく質を含有するレディ・トゥ・ミックスのプロテインドリンクの方が好まれていることが示されました（$p<0.05$）[35]。

用途やターゲットとする風味プロファイルによっては、植物由来のたんぱく質源では、消費者に受け入れられるよう、風味や安定剤、マスキング剤の添加が必要になる場合があります。ただし、これにより、コストが高くなる、および／または、成分表示にマイナスの影響を与える可能性があります。同じ種類のたんぱく質であっても、たんぱく質成分のばらつきは存在し続けるため、性能を最大限に引き出すには、個々のサプライヤーと協力することが依然として重要です。

用法の多様性：消費者にアピールする幅広い用途の可能性

世界全体で、2013年～2017年にかけて、「たんぱく質強化食品」または、たんぱく質を「豊富に含む」といった文言を謳う食品・飲料製品の発売数が2倍以上に増えており、たんぱく質の幅広い新たな用途を試す機会が生まれています。人用の食品・飲料製品では、植物性たんぱく質が、肉製品や飲料、ベーカリー製品で最も一般的に用いられるたんぱく質として位置付けられてきました。一方、乳由来たんぱく質は、飲料、フローズンデザート、栄養バーといった用途で、植物性たんぱく質よりも幅広く用いられてきました。しかしながら、あらゆる種類のたんぱく質を見渡してみると、新製品を発売するにあたって、最も強く打ち出されている特性は、今も味です[38]。牛乳には、たんぱく質、脂肪、炭水化物、ミネラルの組成がユニークであることから、乳由来原料は本質的に、さまざまな用途に栄養や機能、風味を与えることができます。乳由来たんぱく質成分は、濃縮、分離、加水分解によって、さまざまな条件下で、ホイップや乳化、ゲル化、水結合、溶解状態の維持といった能力を強化することができます[39]。これらの乳由来たんぱく質の特性は、洋食だけでなく、和食や日本の食文化に根差したお菓子や飲みものでも効果を発揮します。ここでは、日本の消費者の皆さんにより満足していただくための乳由来たんぱく質の活用法についてもご紹介します。

カフェモカ

食品・飲料のドライミックス

乳由来たんぱく質成分はドライミックスの処方で利用することにより、たんぱく質濃度を高め、経済的なミネラル源を処方にもたらすことが可能です。粘性が高く濃い食感を好むのであれば、ミルクたんぱく質を選ぶとよいでしょう。なぜなら、ホエイたんぱく質よりも多くの水を結合するからです。再水和に伴う薄い粘稠度が好まれる場合や、完成品のミックスに酸味料が添加されている場合には、ホエイたんぱく質を選ぶ方がよいでしょう。というのも、ホエイたんぱく質はpH4.6未満で溶解性を保つことができるからです。

ミルクとハチミツを使った就寝前の飲料

レディ・トゥ・ドリンクの低酸性飲料

レディ・トゥ・ドリンク飲料は、安全性を確保するための処理として、低温殺菌、熱間充填、超高温瞬間（UHT）殺菌、および／または、レトルト処理が可能です。ミルクたんぱく質には高濃度のカゼインが含有されており、飲料のpHが６超であれば、熱安定性を保つことができます。その結果、UHT殺菌またはレトルト処理される低酸性飲料には、MPCやMPI、MCCといったミルクたんぱく質が一般的に使用されています。ホエイたんぱく質も、ミルクたんぱく質と組み合わせて（最低でも50%）、これらの飲料で処方することにより、熱安定性を確保することが可能です。たんぱく質含有量の多いレディ・トゥ・ドリンク飲料にミルクたんぱく質パウダーを使用する場合は、加工前に十分な撹拌と水和時間を設けることにより（50Cで約60分）、確実に、熱処理前にたんぱく質を完全に溶解した状態にすることが重要です[40]。

透明なマンゴー風味の緑茶

高酸性飲料

高酸性飲料（pH<4.6）の場合、WPCやWPI、ミルクホエイたんぱく質（未変性ホエイ）といったホエイたんぱく質は、低pH範囲で溶解性を保つことができるため、最適な選択肢になります。この場合も、貯蔵安定性を目的とした熱間充填工程の前に、たんぱく質の適切な水和を行うこと（約30分）が重要です[40]。飲料がpH3.5未満であれば、最適な選択肢はWPIです。というのも、WPIは含有する脂肪の濃度が最も低く、また、たんぱく質の分子がより高い正電荷を帯びることで、静電相互作用が抑制され、飲料が透明な状態を維持できるからです。

ソフトプレッツェル

ベーカリー製品の用途

ベーカリー製品の用途では、乳由来たんぱく質が、水結合や卵／脂肪の代替品、栄養強化、シェルフライフの延長等、多様な機能性を提供します。WPCのようなたんぱく質含有量の多い成分は、パンや冷凍生地製品のグルテン構造と水結合特性を改善することが示された一方で、同時に、たんぱく質によって栄養表示を充実させています[41]。

ヨーグルトに浸した
ピーチ・スナックバー

栄養バー

プロテインバーの用途では、テクスチャーや風味、強化された栄養をバー／スナック食品の処方に与えるために、バーミックスやコンパウンドコーティング、押出クリスプにWPCとWPIが使用されてきました。加水分解されたホエイたんぱく質もバーの経時硬化を低減させることがわかっています[42]。

フローズン抹茶バー

フローズンデザートの用途

アイスクリームやフローズンデザートには、伝統的にミルクとクリームが用いられてきました。たんぱく質含有量の多い菓子への消費者の関心が高まるに伴って、たんぱく質を含むアイスクリームやフローズンデザート商品も増えています。官能安定性または貯蔵安定性にマイナスの影響を及ぼすことなく、アイスクリームのたんぱく質含有量を4.9%から7.2%に増やすために、MPCとWPCの両方が用いられてきました。WPCはアイスクリームの処方において、脂肪の代替品としても使用されています[43]。

ホエイ入り味噌汁

スープや味噌汁、ソース、たれ、ドレッシングの用途

スープやソース、ドレッシングに風味を加えるために、長年、ミルク、チーズ、クリームが用いられてきました。味噌汁やたれにミルクを加えてまろやかさやコクを出す方法も広まっています。乳由来たんぱく質は、水結合と食感を改善することから、高たんぱく質な食事において、最適で理想的なたんぱく質となっています。風味が増すことで減塩にもつながります。ミルクたんぱく質とホエイたんぱく質はどちらも、スープや味噌汁、ソース、たれ、ドレッシングの処方に使用することができ、ニュートラルな風味と滑らかなテクスチャーを持たせながら、栄養強化を図ります。しかしながら、貯蔵安定性のために、スープや味噌汁、ソース、たれ、ドレッシングに対してレトルト処理またはUHT殺菌を行うのであれば、MPC、MPI、MCCといったミルクたんぱく質の方が選択肢として優れていると考えられます。というのも、カゼインの熱安定性はより高く、また、より多くの水を結合して、一定の粘性と一貫した外観を維持できるからです[44]。

ミックス粉

乳由来たんぱく質の水結合性や卵／脂肪の代替性、栄養強化などの機能は、お好み焼き粉や天ぷら粉、ホットケーキミックスなどのミックス粉に加えても効果を発揮します。乳由来たんぱく質を加えることで高たんぱく質の製品の実現が可能です。

乳由来たんぱく質は、機能性があって栄養価が高いだけではなく、洋の東西を問わずあらゆる消費者が求めるクリエイティブで洗練されたフードソリューションを実現するのに十分な汎用性を備えています。日本の食文化に根差した食品への汎用性も高く、きっと日本の消費者の皆さんにも喜んでいただける製品の開発にも寄与することでしょう。上記の用途に関する詳細、および、乳由来たんぱく質の生成と機能のメカニズムに関して詳しく解説したテクニカルレポートについては、ThinkUSAdairy.orgをご覧ください。

安定供給：将来のイノベーションニーズに応える、高品質たんぱく質生産能力

たんぱく質は多くの食物源に由来しています。従来の食物源にはミルク、食肉／コラーゲン、卵、大豆、小麦等がありました。一方、市場では、エンドウ豆やレンズ豆、その他の豆類、米、ジャガイモ、オーツ麦等、食品に利用可能な数々のたんぱく質源が市販されており、その種類は拡大を続けています。さらに、新たに参入したたんぱく質源として、キャノーラ油や昆虫、ヘンプ、微細藻類、単細胞

たんぱく質等が採取され、特性化されて、商品化に至っています。米国では、たんぱく質を食品・飲料に使用する場合、厳しい検査を経て、GRAS（Generally Recognized as Safe：一般に安全と認められる）の承認を受けなければなりません。さらに、アレルギー誘発性試験や栄養分析、機能的特性解析、消費者受容性調査の実施が必要とされており、これらを通じて、処方において、必ず成分の状態を確認してからたんぱく質源を選択することが義務付けられています。

原料を選択し調達する際に、仕入れ業者やメーカーが第一に検討すべきは、一貫して安定供給を図れるか否かです。世界最大の牛乳の生産国であり、ホエイたんぱく質原料およびミルクたんぱく質原料の調達国である米国の乳製品業界には、安全で高品質かつ栄養価の高い乳由来原料を世界中の食品処方に確実に供給する体制が整っています。これとは対照的に、植物性たんぱく質の生産規模は、大豆を除いて今も限定的です。生産量を比較すれば、こうした供給量の大きな差がさらに際立ちます。2017年の段階で、米国だけで、乳由来たんぱく質（ホエイたんぱく質およびミルクたんぱく質の濃縮物と分離物）の総生産量は336,000MTでした[45]。この数字は、新たなたんぱく質源であるエンドウ、米、小麦、ジャガイモの世界全体の生産量を合わせた数字（330,000MT（2016年））に匹敵します[46]。チーズ業界の発展や、広大な土地、継続的な研究開発投資、輸出重視の取り組みの拡大といった好条件に恵まれて、米国の乳由来たんぱく質の生産は今後さらに拡大することが予想され、消費者や消費者のニーズに合わせて、幅広く多種多様な乳由来たんぱく質原料を確実に供給し、そうした原料の豊富な選択肢を提供することが期待されています。

おわりに

たんぱく質の特性は、その素材となるたんぱく源ごとに異なります。たんぱく質は、低栄養な脆弱人口を対象とした製品に、または、スポーツ栄養食品や、体重管理、健康的な加齢を目的とした製品に処方されていますが、いずれにせよ、高品質な完全たんぱく質を選択することが重要です。乳由来たんぱく質は一貫して、こうした高いレベルの栄養を供給することができます。

製品を楽しめるようにするために、風味、外観、性能、栄養のすべてが役割を担っているのですが、コストやライフスタイルを考慮して、これらの特性のバランスを取ることが重要です。たんぱく質への注目が高まるこの新たな時代に、栄養強化食品の選択肢はこれまでになく増加しています。さまざまな特性を一貫して実現できるたんぱく質を見出すことが鍵となります。

米国産ミルクに含まれるたんぱく質に、さまざまな有益な特性を提供して、あらゆるライフステージの人々の健康をサポートするという、他に類を見ない能力が備わっていることは言うまでもありません。米国の乳由来原料を使った製品の処方について、また、各地のサプライヤーについての詳細は *ThinkUSAdairy.org* をご覧ください。

アメリカ乳製品輸出協会（USDEC）は、専門知識のご提供をいただきました、全米酪農協会、ウィスコンシン乳製品研究センター、サウスイースト乳製品研究センターのスタッフの皆さまに、謝意を表します。

索引

項目	ページ
はじめに	1
持続可能な生産：米国酪農家のコミットメント	2
加　工：乳からのたんぱく質抽出方法における利点	2
乳から抽出されるたんぱく質	3
チーズから抽出されるたんぱく質	3
栄　養：たんぱく質の品質が重要	4
人体はどのようにたんぱく質を利用しているか	6
栄養不良の二重負荷	7
機能性：パフォーマンスの最適化特性	8
保水性	8
熱安定性	9
飲料評価	10
栄養バーの評価	11
官能特性の評価	11
用法の多様性：消費者にアピールする幅広い用途の可能性	13
安定供給	14
おわりに	15
参考文献	16

参照文献

[1] IRI. 2017. Top Trends in Fresh: Holistic Health.
[2] NPD Group. 2014. U.S. consumers want more protein in their diets and look to a range of sources for it. https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/news/press-releases/us-consumers-want-more-protein-in-their-diets-and-look-to-a-range-of-sources-for-it. Accessed online: December 5, 2017.
[3] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision, Methodology of the United Nations Population Estimates and Projections, Working Paper No. ESA/P/WP.250. New York: United Nations. https://esa.un.org/unpd/wpp. Accessed online: December 5, 2017.
[4] Dolcera. 2017. Dairy versus Alternative Proteins: Patents, Scientific Articles & GRAS Study. Unpublished.
[5] Climate Change Indicators: U.S. Greenhouse Gas Emissions. 2016. https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-us-greenhouse-gas-emissions. Accessed online: December 5, 2017.
[6] Henderson, A., Asselin, A., and Heller, M., et al., U.S. Fluid Milk Comprehensive LCA. University of Michigan & University of Arkansas 2012.
[7] Mitloehner, F. 2017. Livestock and Climate Change: Facts and Fiction. University of California.
[8] Industry facts and figures. 2016. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/industry-facts-and-figures/our-farms Accessed online: December 5, 2017.
[9] U.S. Dairy's Sustainability Report. 2016. https://www.usdairy.com/sustainability/commitment. Accessed on June 19, 2018.
[10] Wang, Y. 2018. Calculation from Manure Production and Characteristics, ASAE D384.2. March 2005 and How Much Nitrogen Does Corn Need? Below, F. and Brandau, P. 2001.
[11] Patel, H. and Patel, S. Technical Report: Understanding the role of dairy proteins in ingredient and product performance. 2015. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/technical-report-understanding-the-role-of-dairy-proteins-in-product-performance. Accessed online: December 5, 2017.
[12] Emerging Milk Protein Opportunities Technical Report. 2010. Dairy Management Inc. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/marketing-trends-and-nutrition-materials/milk-protein-opportunities-brochure. Accessed online: December 5, 2017.
[13] Smith, K. 2017. Dried Dairy Ingredients, 2nd Edition. Wisconsin Center for Dairy Research.
[14] USDA. https://specialcollections.nal.usda.gov/dairy-exhibit#EarlyHistory. Accessed online: December 5, 2017.
[15] Global Dairy Platform. 2016 Annual Review, p 7.
[16] Institute of Medicine. 2006. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/11537. Accessed online: December 5, 2017.
[17] van Vilet, S., Burd, N.A. and van Loon, L.JC. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. J Nutr doi: 10.3945/jn.114.204305.
[18] Paddon-Jones, D., Campbell, W.W., Jacques, P.F., Kritchevsky, S.B., Moore, L.L., Rodriguez, N.R., van Loon, L.JC. Protein and healthy aging. 2015. Am J of Clin Nutrition 101:6, p 1339S–1345S. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.084061. Accessed online; December 5, 2017.
[19] Mathi, J.K., L. Yanhong, and H.H. Stein. 2017. Values for digestible amino acid scores (DIASS) for some dairy and plant protein may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). British Journal of Nutrition 117:490-499.
[20] Rutherford, SM. 2015. Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. J Nutr 145(2):372-9. Doi:10.3945/jn.114.195438. Accessed online; June 19, 2018.
[21] Boye, J. 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. Br J Nutr 108 (2): S183-211. doi: 10.1017/S0007114512002309; Accessed online June 19, 2018.
[22] FAO. 2013. Report of an FAO Expert Consultation. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. Rome. http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf; Accessed online June 19, 2018.
[23] Phillips, SM. 2016. The impact of protein quality on the promotion of resistance-exercise-induced changes in muscle mass. Nutrition & Metabolism 13:64 Doi: 10.1111/nbu.12063.
[24] Global Nutrition Report: Nourishing the SDGs. 2017. https://www.globalnutritionreport.org/files/2017/11/Report_2017.pdf. Accessed online: December 5, 2017.
[25] UNICEF, WHO & World Bank Group. 2017. Levels and trends in child malnutrition. In Joint Child Malnutrition Estimates.https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2017/05/JME-2017-brochure-1.pdf Accessed online June 5, 2017.
[26] World Health Organization. 2017. Malnutrition fact sheet. http://www.who.int/mediacentre/factsheets/malnutrition/en/. Accessed December 5, 2017.
[27] Stobaugh, H.C., Ryan, K.M., Kennedy, J.A., Grise, J.B., Crocker, A.H., Thakwalakwa, C., Litkowaski, P.E., Maleta, K.M., Manary, M.J. & Trehan, I. 2016. Including whey protein and whey permeate in ready-to-use supplementary food improves recovery rates in children with moderate acute malnutrition: a randomized, double-blind clinical trial. American J of Clin Nutr, 103:926-933.
[28] Devries, M.C., and Phillips, S.M. 2015. Supplemental protein in support of muscle mass and health: advantage whey. J of Food Science 80:S1.
[29] Miller, P.E., Alexander, D.D. and Perez, V. 2014. Effects of whey protein and resistance exercise on body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. J of the Am College of Nutr, 33:163-175.
[30] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World Population Ageing 2017 (ST/ESA/SER.A/408). http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050. Accessed online: December 5, 2017.
[31] 「平成29年国民健康・栄養調査結果」 https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000351576.pdf
[32] Pennings B, Groen B, de Lange A, Gijsen A, Zorenc A, Senden J, van Loon L. 2012. Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men. Am J Physiol Endocrinol Metab 302(8): E992–E9.
[33] Bradlee, M.L. Mustafa, J., Singer, M.R. and Moore, L.L. 2017. High-protein foods and physical activity protect against age-related muscle loss and functional decline. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 73(1):88-94.
[34] Joy JM, Lowery RP, Wilson JM, Purpura M, De Souza EO, Wilson SM, et al. 2013. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. Nutr J. 12:86.
[35] Kapoor R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. International Whey Conference, Chicago. http://www.international whey conference.org. Accessed online: November 29, 2017.
[36] Rittmanic, S. 2016. U.S. whey proteins in ready-to-drink beverages. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-protein-in-ready-to-drink-beverages. Accessed online: December 5, 2017.
[37] Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients. Presented at the WI Center for Dairy Research, Research Forum, November 14, 2017.
[38] Innova Market Insights. 2017. Unpublished.
[39] Technical Report: Dairy Solutions for Clean-Label Applications. 2016. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/technical-report-dairy-solutions-for-clean-label-applications. Accessed online: December 5, 2017.
[40] Application Monograph: U.S. dairy proteins and permeates in ready-to-drink beverages. 2017. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/ready-to-drink-beverage-monograph. Accessed online: January 10, 2018.
[41] Stoliar, M. and Burrington, K.J. 2008. U.S. whey ingredients in bakery products. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/food-and-beverage-manufacturing/bakery. Accessed online: January 10, 2018.
[42] Burrington, K.J. and R. Boutin. 2007. U.S. whey ingredients in nutrition bars and gels. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-ingredients-in-nutrition-bars-and-gels. Accessed online: January 10, 2018.
[43] Young S. 2007. Whey products in ice cream and frozen dairy desserts. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-products-in-ice-cream-and-frozen-desserts. Accessed online December 5, 2017.
[44] Patel, H., Patel, S., and Agarwal, S. 2014. Milk Protein Concentrates Technical Report. U.S. Dairy Export Council. http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/milk-protein-concentrates-manufacturing-and-applications. Accessed online: December 5, 2017.
[45] USDA National Agricultural Statistics Service. 2018. Dairy Products 2017 Summary. http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/DairProdSu/DairProdSu-04-26-2018.pdf. Accessed online June 19, 2018.
[46] Giract. 2017. The Changing World of Protein Ingredients 2016-2021.

U.S. Dairy Export Council
Ingredients | Products | Global Markets

© 2018 U.S.Dairy Export Council WW059J