



READY TO DRINK(レディ・トゥ・ドリンク) 飲料における米国の乳由来たんぱく質

RTD飲料は、現代の多忙な消費者に便利さと携帯しやすさという利点を提供します。また、革新的でエキサイティングな機能性成分と容器詰め技術を一体化させる機会を与えてくれます。このカテゴリーには、要冷蔵と常温保存可能な飲料の両方がありますが、需要が好調なのは流通や保管が容易な常温保存可能な製品の方です。しかしながら、常温保存可能製品よりも新鮮でナチュラルであると消費者に認識されていることから、要冷蔵飲料の売上が急増しています。乳由來たんぱく質はRTDプロテイン飲料の原料として好まれることが多く、その理由は、乳由來たんぱく質の優れた栄養価、マイルドな風味、消化の良さ、飲料システムにおけるユニークな機能性にあります。ホエイおよびミルクたんぱく質の、また、ホエイおよびミルク・パーミエート(透過物)の栄養、機能面での特徴に関するより詳細な説明については、アメリカ乳製品輸出協会(www.ThinkUSAAdairy.org)がオンラインで発信している資料をご覧ください。



本研究論文では、ホエイたんぱく質分離物 (WPI)、ホエイたんぱく質濃縮物 (WPC)、ミルクたんぱく質分離物 (MPI)、ミルクたんぱく質濃縮物 (MPC)、ミセラカゼイン濃縮物 (MCC) 等、乳由來たんぱく質をたんぱく質源として使用する、レディ・トゥ・ドリンク飲料 (RTD; 蓋を開けてすぐにそのまま飲めるボトルや缶等の容器入り飲料) の処方と製造の側面に焦点を当てます。また、RTD飲料の処方における米国のミルクおよびホエイパーミエート(透過物)成分の使用についても言及します。

ドライミックス飲料処方における乳由來たんぱく質の使用は一般的ですが、RTD飲料の作成には、それよりもはるかに高度な技術、加工の専門知識、慎重な成分の検討が必要です。

RTD飲料市場

飲料市場の成長は、栄養改善を図り、さまざまな消費者利益をもたらすことのできる飲料に向かってシフトしています。たんぱく質が豊富に含まれる食事には、満腹感を促し、空腹感を抑えるとともに、除脂肪体重を維持するはたらきがあります。国際食品情報会議財団の「食と健康の調査」によれば、たんぱく質は米国の消費者に最も求められる栄養素であり¹、また、研究の結果、消費者は従来通りの肉の供給源としての枠を超えてたんぱく質を追求しているだけでなく、乳由來たんぱく質が高品質な代替品に成り得るという認識を持ち始めていることがわかりました²。プロテイン飲料やプロテインシェイクは新しい顧客を引き付け続けており、また、従来のものとは異なるタイプの乳飲料は、消費者のたんぱく質摂取量の目標達成をサポートすることができます。

スポーツ栄養ドリンク、飲むヨーグルト、発酵飲料の人気が世界中で高まっています。飲むヨーグルトと発酵飲料の年平均成長率 (CAGR) は、5年間にわたって、12%を記録しました³。さらに、世界中の食品・飲料業界で、成分の一つとして透過物を使用する傾向が強まっています。透過物を含有する食品・飲料新製品の発売数はこの10年増加の一途をたどっており、2010年～2016年にかけてCAGRは顕著な伸びを示し、41%に達しました。パーキートが使用される代表的なカテゴリーは、ベーカリー、乳製品、ホットドリンクです⁴。

1日を通して多種多様なニーズを有するさまざまな消費者の役に立つ、各種のたんぱく質含有RTD飲料が幅広く存在しています。ホエイを主成分とする混合物を生成するために、ミルクベースの乳児用調製粉乳にホエイたんぱく質を添加することがよくありますが、こうすることで、ホエイとカゼインたんぱく質の比率を母乳に近づけることができます。スポーツ栄養市場向けに開発された飲料では特に、十分に立証された独自の栄養的利点をアスリートに提供するために、ホエイたんぱく質を配合する傾向が見られます。医療または治療用の栄養飲料にはミルクたんぱく質が含有されていることがよくありますが、これは、ミルクたんぱく質が必須アミノ酸を豊富に供給することから、たんぱく質合成や消化に役立ち、また、健康上のメリットをもたらすことができるためです。さらに、果汁にミルクまたはホエイたんぱく質を組み合わせたスマージータイプの飲料や、製品への興味をそそるよう風味と色を工夫したプロテインウォーターがあります。要冷蔵のRTDコーヒーおよび茶飲料では、栄養を高め、消費者へのアピール度を増すために、たんぱく質で栄養強化する傾向が強まっています。最後に、高齢者も、完全な栄養摂取のために必要なたんぱく質や栄養素で栄養強化した中性pHのシェイクタイプの飲料から乳由来たんぱく質を摂取することにより、恩恵を受けていることを付け加えておきます。

飲料イノベーションについての考察

完成品としてのRTD飲料の製品特性は、そのすべてに相関関係があります。特定の種類の飲料が要求されている場合であっても、製品や製法の開発を始める前に、以下の要因を確認し評価することが必要です。

1. 望ましい容器詰め方法、輸送手段、保管環境を定義することにより、熱処理を含め、適切な製造工程を決定する。
2. pH範囲の観点から製品について説明する。
3. 原価目標値／制限値の概算を算出する。
4. 製品の栄養成分表示に記載され、栄養強調表示に合致していることが要求される、全体的な栄養組成を決定する。



5. 必要または要求されるたんぱく質以外の成分を確認する。

6. 項目1、2、3、4、5の整合性を図る。

要求される飲料のたんぱく質濃度によって、適用可能な製法や容器詰め方法の選択肢が決定します。乳由来たんぱく質は、幅広いpH範囲で溶解性と安定性を維持することができますが、天然のゲル化能については、特にホエイたんぱく質の場合、温度と濃度に依存する挙動であるため、重要な検討項目となります。飲料溶液中の糖分濃度とミネラルイオン濃度もまた、加工中および保存可能期間全体にわたって、ホエイおよびミルクたんぱく質の挙動に影響を及ぼします。相互作用は処方固有の特性であることから、処方を最終決定する前に、卓上およびパイロットプラントでのシミュレーションを行うことが重要です。

環境の選択

一般に、製品のpH (酸性度) は、安全性と保存安定性の観点から加工要件を決定します。果汁100%の製品を除いて、アメリカ食品医薬品局 (FDA) では、酸性度の高い製品 ($pH < 4.6$) に対して加熱処理要件を課していません。このような製品を処方する際は、国ごとに定められた規制を確認し、各国の要件に確実に準拠するようしてください。

常温保存可能なRTD飲料には基本的に4つの製品カテゴリーがあります。

1. 無菌処理された商業的無菌飲料。
2. レトルト加工された商業的無菌飲料。
3. トンネル低温殺菌飲料。
4. 高温充填した、または低温殺菌後に低温充填した飲料。

レトルト加工と無菌処理の主な違いとは

- レトルト加工では、容器に飲料を充填して密閉し、容器全体と容器の内容物を加熱して無菌状態を作り出します。
- 無菌処理では、無菌室内で容器を殺菌して、殺菌された飲料を充填し、同じく無菌室内で容器を密閉します。

一般的に、無菌飲料やレトルト飲料の開発のためにR&Dで行う加工と容器詰めにかかるコストは、高温充填または低温充填した飲料のコストよりも高くなります。

一部の飲料については、加熱処理せずに低温充填が可能ですが、乳由来たんぱく質を含有する飲料の場合、保存安定性を確保するために、何らかの加熱処理を行うことが必要です。

中性pH飲料のホエイたんぱく質

無菌処理またはレトルト加工された低酸性の商業的無菌飲料（カテゴリー1および2）の代表的な典型例が、中性pHのシェイクタイプの製品です。このような飲料のpHは風味によって異なりますが、一般に大体4.6～7.5までとされています。例えば、イチゴは酸性寄り、チョコレートは中性寄りです。これらの製品には、無菌処理またはレトルト加工によって加熱殺菌（「商業的無菌」と呼ばれる）するか、または、低温殺菌して消費するまで冷蔵保存するかのいずれかの処理を行うことが必要です。こうした処方にホエイたんぱく質が含有される場合がありますが、通常、ホエイたんぱく質は主たるたんぱく質にはなりません。

一般的なたんぱく質とされるのは、ミルクたんぱく質濃縮物もしくはミセラカゼインといったカゼインたんぱく質を含有するたんぱく質です。シェイク製品のような中性pHの飲料に、レトルト加工または超高温殺菌処理であるUHT処理を行うことがよくあります。熱安定性を強化するための改質を行っていないホエイたんぱく質は、単一のたんぱく質成分として濃度が3%を超えると、安定性を失います。未改質ホエイたんぱく質は、安定化システムを使用しない限り、こうした条件下ではゲル化または沈殿します。ホエイたんぱく質にカゼインたんぱく質を組み合わせて併用することで、ホエイたんぱく質をある程度保護することが可能となり、また、熱安定性を持たせることができます。こうすることで、ホエイたんぱく質は、ホエイたんぱく質同士が相互作用して、ゲルを形成するまたは沈殿するリスクを生じさせるといった状況とは異なり、カゼイン中に分散して溶解性を維持できるようになります。

中性pH飲料のミルクたんぱく質

ミルクたんぱく質濃縮物やミルクたんぱく質分離物、ミセラカゼインといった、乳由来の一次たんぱく質としてのカゼインを含む成分は、カゼイン特有の熱安定性により、低酸性飲料に非常に適しています⁵。ミルクたんぱく質の成分組成については、本書内で図式化しています。

低酸性飲料において、成分性能の鍵を握るのは、ミルクたんぱく質成分の高い水和作用です。水和作用を測定するには、一般に認められた数種類の方法があります^{6,7,8,9}。

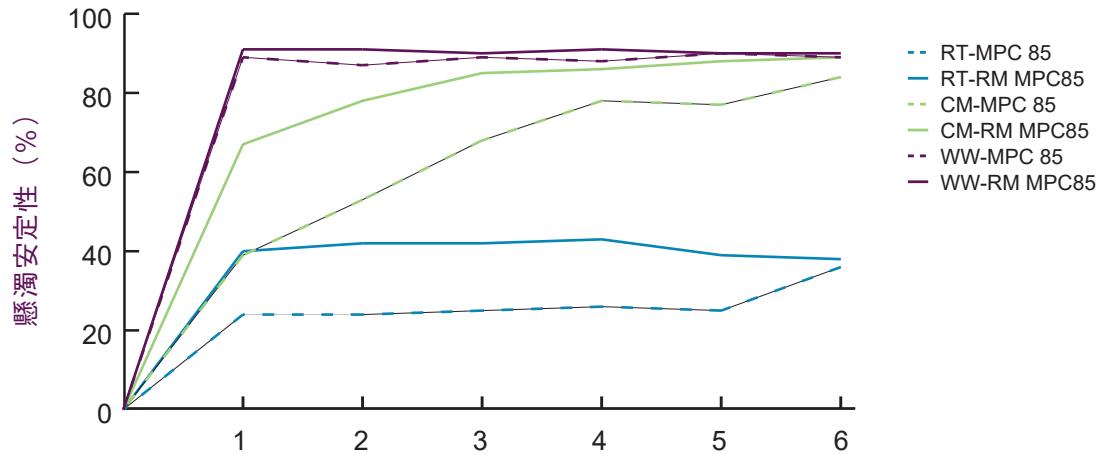
高速ミキサーを使って粉末を溶液中に溶解させるというのが、出発点としては優れていますが、飲料の保存可能期間を通して熱安定性と溶解性を最適化するには、粉末が水分を吸収する時間を考慮しておくことも重要です。要求される飲料の種類次第で、ミルクたんぱく質

FIGURE 1:
ホエイおよびミルクたんぱく質成分の典型的な組成

	たんぱく質 (%)	乳糖 (%)	脂肪 (%)	灰分 (%)	水分 (%)
WPC34	33	52	4	7	4
WPC55	53	31	6	6	4
WPC80	77	9	6	4	4
WPI	89	2	1	3	5
MPC56	54.4	31.7	1.2	7.6	5.0
MPC70	68.3	18.2	1.2	7.3	5.0
MPC80	78.1	8.4	1.5	7.0	5.0
MPI	87.1	0.5	1.5	5.9	5.0
MCC85	84.5	3.0	3.0	4.5	5.0

（出典: Smith K. Dried Dairy Ingredients. Wisconsin Center for Dairy Research. May 15, 2008）¹⁰

FIGURE 2:
MPC85の水和特性



(Testing done by the Wisconsin Center for Dairy Research by the method of Sikand et al, 2011)

添加の出発点として、ミルクが適している場合もあれば、水が適している場合もあります。ミルクまたは水の温度および水和作用に見込まれる時間がここでも、全体的な安定性に影響を与えます。

Figure 2 の表では、常温水 (RT, 25°C)、コールドミルク (CM, 5°C)、温水 (WW, 50°C) 中のMPC85の5% 溶液 (点線) の溶解性 (水和作用レベル) を比較しています。溶液は6時間連続攪拌したものです。水和速度が最も速かったのが温水、最も遅かったのがコールドミルクです。6時間の水和作用後でもコールドミルク中のMPC85溶液は完全に溶解していませんでした。公表された研究では、たんぱく質含有量が70%超の高たんぱくなMPC成分では、再水和特性が劣るという、この問題が確認されています。MPC成分の水和率を改善する方法の一つとして、ミネラル、特にカルシウムの含有量を減らすということがあります¹²。その他、3本の実線はミネラルを25%カットしたMPC85成分を示しています。コールドミルクと常温水で、ミネラルをカットしたMPC85の水和時間が格段に速くなっています。

熱安定性は、低酸性飲料におけるミルクたんぱく質成分の性能を理解するための一助として、測定することができるもう一つの機能特性です¹²。下記のグラフでは、5%溶液中の同じMPC85のサンプルの熱安定性を比較しています。85°Cで3分間加熱した後では、通常のMPC85に比べ、ミネラルをカットしたMPC85の方が、沈殿物が少なくなることから、熱安定性に優れているという結果が示されました。これらのサンプルは、常温の蒸留水で1時間攪拌して溶解・水和させたものです。水和が速いサンプルの方が、より多くのミルクたんぱく質

が溶解しているため、一般的に熱安定性に優れていることが示されています。

たんぱく質含有量の多いMPC成分を飲料用途に使用する場合は、それらの保存条件と経時変化についても検討しなければなりません。MPC85粉末の研究の結果、保存温度が30°C以上の場合、60日以内に溶解性の低下が起こることがわかりました⁶。飲料用途の場合、再水和特性が劣るミルクたんぱく質成分では溶解性と熱安定性が劣ると考えられます。

UHT処理された高たんぱく質の低酸性飲料において、たんぱく質の安定性を高めるための基本的な処理手順を以下に示します。

1. 高速ミキサーを使って、ミルクたんぱく質を水50°Cに混合する。
2. 甘味料、着色料、安定剤、香味料等他の原料を加え、低速で攪拌しながら1時間かけて混合物を水和させる。
3. 緩衝剤等のpH調整成分を加え、pHを7.0に調整する。
4. 140°Cに6秒間加熱する。
5. 2500 psi / 700 psiで均質化する。
6. 製品を24°Cに冷却する。

酸性飲料のホエイたんぱく質

高温充填した、または低温殺菌後に低温充填した飲料およびトンネル低温殺菌飲料（カテゴリー3および4）の代表的な典型例が、酸性のホエイたんぱく質飲料で、これらの飲料は一般にpHが2.8～4.0の範囲内に入るよう処方されています。通常、常温での保存が可能であると判断されれば、穏やかに加熱する低温殺菌処理を行うのが一般的です。

pHが2.8～3.5の範囲であれば、WPIで処方された飲料は、たんぱく質濃度が高くても高透明度／低濁度となります。たんぱく質で栄養強化した透明な飲料を作る能力は、ホエイたんぱく質のみが持つ特有の特性です。WPIでは脂肪とミネラルの濃度が低く、最高レベルの透明度と最低レベルの濁度を実現することができます。

加熱処理した酸性飲料は、熱い状態で高温に耐えられる容器に充填することが可能（高温充填）。酸性環境下では、高温の液体製品は必然的に、オゾン水または空気中の汚染物質を除去する他の方法によって既に予備洗浄された容器を殺菌することになります。高温充填された容器は、金属、ガラス、または特定のプラスチック製のボトルで、充填温度と充填後の製品冷却時に起こる真空状態に耐えられる構造となっています。

低温充填は、製品が加熱処理されるという点で、高温充填に類似しています。しかしながら、高温充填とは異なり、低温充填製品は、充填の前に38°Cより低い温度まで急速冷却されます。製品を急速に冷却することにより、高温充填処理によって生じる可能性のあるビタミンの劣化や風味の変化を低減することが可能となります。

密閉した金属缶またはガラス製ボトルのトンネル低温殺菌は、酸性のプロテイン飲料に適した方法であり、また、炭酸飲料の低温殺菌では唯一の実用的な方法とされています。トンネル低温殺菌は歴史的に、ビールの低温殺菌に一般的に用いられてきましたが、たんぱく質を含有する酸性飲料に対しても非常に有用です。しかしながら、ビールの醸造業者以外にこのノウハウを有する飲料メーカーは限られています。

乳由来たんぱく質成分についての考察

たんぱく質含有RTD飲料を構成する原料の中で最も重要なのが、たんぱく質成分です。

たんぱく質源としては、乳由來たんぱく質濃縮物（たんぱく質34～89%を含むと定義）、分離物（たんぱく質90～92%を含有）、もしくはペプチドが考えられますが、これらは、栄養、機能面での優位性に特に優れてい

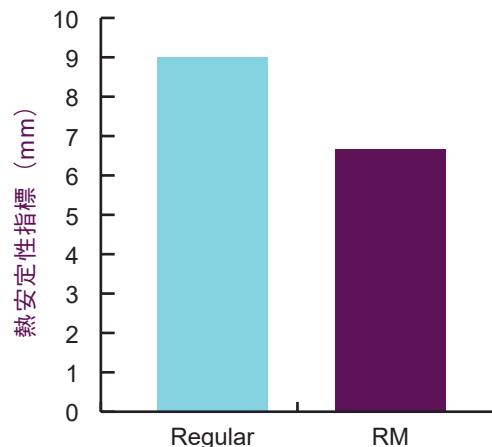
ます。場合によっては、乳由來たんぱく質を野菜ベースまたはカゼインベースの成分といった他のたんぱく質と組み合わせて、特別に完全なアミノ酸組成あるいはテクスチャー特性を作り出すことがあります。特に野菜由来のたんぱく質では、風味と食感に難点があり、配合者にとってはその改善が課題となります。このような混合物は、加熱処理前または処理後に複数の成分が相互作用を起こすため、安定させることができ非常に難しくなる可能性があります。乳由來たんぱく質そのものは、広範囲の等電点を示し、分子サイズも多種多様ですが、市販の乳由來たんぱく質成分は数種類の分子種で構成されています。

乳由來たんぱく質を選択する場合、以下の2つの鍵となる要因を検討しなければなりません。a) 残存する乳成分からたんぱく質を分離する方法。これはWPC、WPI、MPC、MPI、MCCの組成を決定します。b) 本成分を生成するための一貫した原料と製造プロセス。

80%ホエイたんぱく質濃縮物（WPC 80）、ミルクたんぱく質濃縮物および分離物は、物理的な分離プロセスである膜ろ過法を用いて製造されます。脂肪と灰分の含有量は、風味プロファイルからわかるように、原料サプライヤーによってばらつきがありますが、全体的な組成はかなり一貫しています。

WPIでは、イオン交換（化学操作）と膜ろ過という2つの主な製造プロセスがあります。イオン交換と膜ろ過した製品の間には、例えば、ミネラル組成や炭水化物レベル、グリコマクロペプチド含有量が異なる等、組成の差異が見られます。これらの違いはすべて、特定の用途に対する適性に影響を及ぼす可能性があります。

FIGURE 3:
MPC85の熱安定性指標





栄養的な見地から、食品メーカーは、総たんぱく質量やミネラル濃度から特定のたんぱく質分画やアミノ酸の存在にいたるまで、自社の要件に最も適した原料を選択したいと考えています。メーカーにとっての最良の戦略は、開発プロセスの非常に早い段階から乳由来たんぱく質のサプライヤーと緊密に連携することです。製品の開発にあたっては、米国のサプライヤーの多くが、指導や典型的な処方の提供、技術的な支援を行うことで、顧客をサポートします。

ロット間の成分の一貫性は重要であり、意図される使用法に関連する性能と相関するための簡単な試験方法を開発することが必要です。これは、標準仕様書や

分析証明書で提供される情報の範囲を超えるものとなります。特にこうしたことが必要となるのは、製品やプロセスの性質上、変化への対応が難しい場合や、飲料に含有されるたんぱく質の濃度が実質範囲の上限値に達している場合です。ここでもまた、早い段階から米国の乳由来たんぱく質のサプライヤーと緊密に協力することが、重要な成功要因となります。

乳成分を含まない原料についての考察

以下に、RTDプロテイン飲料で必要または要求されることが多いその他の成分カテゴリーをいくつか取り上げます。風味に優れ、消費者へのアピール力も十分な常温保存可能製品を開発する際は、これらの成分を慎重に選択し、実験室評価を行うことが重要です。すべてのケースで、このような製品を処方する際は、国ごとに定められた規制を確認し、各国の全要件に確実に準拠するようしてください。

酸味料

特に、ホエイたんぱく質には強力な緩衝作用があることから、処方において相当量の酸を使用することで、スタート時のpHを約6.5から3.5以下に下げなければなりません。低pHのホエイたんぱく質飲料を作るために使用される最も一般的な酸は以下のとおりです。

1. リン酸—風味への影響を最小限に抑えることできる強酸。
2. 塩酸—おいしさでは劣る強酸ですが、胃酸と同じ酸であることから、医療用栄養補助剤に使用することができます。

パッケージの種類

パッケージの種類（ガラス、プラスチック、多層、フレキシブルまたはリジッドメタル）は飲料の加工条件や製品安定性を決定する重要な要因であり、製造販売コストにも影響を与えます。要約すると、各パッケージには次のような可能性があります。

加工

ボトル	低温充填	高温充填	トンネル低温殺菌	レトルト殺菌	無菌処理
ガラス	●	●	●	●	
耐熱プラスチック	●	●			
耐冷プラスチック	●				
耐レトルトプラスチック				●	
多層					●
メタル		●	●	●	●

3. クエン酸—弱酸性酸味料ですが、フルーツ風味の飲料の全体的な風味プロファイルに貢献していることから、非常に好ましいとされています。たんぱく質含有量の高い飲料で、単一の酸味料としてクエン酸を使用することを推奨しません。その理由は、たんぱく質の濃度が高い状態で使用すると、極端な酸味を生じるためです。
4. リンゴ酸—クエン酸に似た弱酸性ですが、リンゴまたはベリー系の果物に天然のリンゴ酸が含まれていることから、それらの風味を有する処方の添加物として有用です。

二酸化炭素(炭酸化)

炭酸化は、プロセスであると同時に成分として機能することから、さらには、酸性度に影響を与えることから、本項で取り上げています。乳由来たんぱく質の添加による炭酸飲料の栄養プロファイルの改善に関心が高まっています。

風味

乳由来たんぱく質は、一部の植物性たんぱく質源と異なり、多くの人気のフレーバーと幅広く相性が良く、また、風味を引き立てることも可能です。プロテイン飲料は、飲料の保存可能期間を通じてたんぱく質が風味を吸収するため、強めのフレーバーを使用しなければなりません。しかしながら、植物性たんぱく質の場合は、乳由来たんぱく質よりもこうした影響をより受けやすいことから、使用的風味をさらに強くすることが必要であり、コストも高くなります。

甘味料

プロテイン飲料での使用に適した甘味料には、通常のカロリーのもの、ノンカロリーのもの、また天然甘味料や人工甘味料等、多くの選択肢があります。健康志向の消費者の多くが依然として砂糖の摂取量に敏感に反応していることから、新たな甘味料成分の開発が今も続いています。

例えば以下のようなものがあります。

1. スクロース、フルクトース、高果糖コーンシロップ等の従来の甘味料。
2. その他、ハチミツ、メープルシロップ、フルーツピューレ等の天然甘味料。
3. ラクチトール、エリスリトール等の糖アルコール。
4. スクラロース、アセスルファムカリウム (K) 等の高強度人工甘味料。
5. ステビア、羅漢果、チコリの根の抽出物等の高強度天然甘味料。

甘味料の選択は、食感に影響するとともに、処方の観点からたんぱく質の安定性にも影響を及ぼします。しかしながら、通常、甘味料の選択を左右するのは、カロリーと風味に関する要件です。ここで留意すべきは、RTDたんぱく質の処方がどのようなものであれ、1種類の甘味料で単一の甘味源として十分に機能しますが、2種類を組み合わせることにより、全体的に最高の甘味効果を打ち出し、ベースの風味とのベストな相性を実現できることがよくあるという点です。

着色料

着色料には人工のものと天然のものがありますが、透明または半透明のボトルを使用する場合は、光安定性を考慮することが重要です。保存可能期間中、飲料中のアスコルビン酸(ビタミンC)はゆっくりと分解し、過酸化物の分解生成物により、飲料をゆっくりと退色させます。着色料のサプライヤーは、開発プロセスを通じて、メーカーに対して指導を行うことができます。

果汁

果汁は、消費者へのアピール力に優れた風味豊かな乳由来たんぱく質飲料を作るための卓越した選択肢です。果汁を使用すれば、風味と甘味の両方を添加することができます。天然果汁の使用は低温殺菌要件に影響を与える可能性があります。乳由来たんぱく質は、果汁や酸味料、その他の飲料成分を添加する前に、水中で十分に水和されなければなりません。

ミネラル

酸性のホエイたんぱく質飲料の安定性と透明度は、組成中に存在するミネラルイオン濃度(ナトリウムまたはカルシウム)による影響を受けると考えられています。従って、ミネラルの選択と栄養強化の度合いが、最終製品としての飲料に与える影響によって制限される場合があります。一般に、塩分を添加すると、加熱処理したホエイ飲料の凝集性が高まり、結果として安定性が低下します。

ビタミン

いかなる食品または飲料でも、ビタミンの選択と処方は、組成全体との相性に基づいて行わなければなりません。最も水溶性が高いビタミンは、酸性環境でもかなり安定しています。

しかしながら、色や風味に及ぼす影響や加工ロスへの、また、透明または半透明ボトルのRTD飲料の場合には、光安定性への考慮が必要です。成分の相互作用についても考慮しなければなりません。

安定剤と乳化剤

安定剤と乳化剤は、中性のシェイクタイプの飲料で、特に、たんぱく質および／またはココアパウダーの混合物を使用する場合に、非常に重要となります。カラギーナン、セルロースゲル、セルロースガムは、たんぱく質を添加した中性飲料に使用される安定剤です。ベクチンはpHが3.5～4.6の範囲でホエイたんぱく質飲料に使用され、加熱処理中および保存可能期間を通じて、たんぱく質を保護し安定させます。安定剤は、酸性のホエイたんぱく質分離物のRTD飲料で、pHが3.5を下回れば、一般に必要ないとされています。

ホエイたんぱく質と一緒に他のミルクたんぱく質も使った中性pH飲料では、一般に、モノグリセリドやジグリセリドといった乳化剤、および、ピロリン酸四ナトリウム等の緩衝剤が使用されます。酸性および中性pHのカテゴリーでは、たんぱく質で栄養強化した飲料の長期安定性を確保するために、安定剤、緩衝剤、乳化剤の理想的な濃度を確立することがとりわけ重要です。

保存料

一部の酸性のプロテイン飲料の処方では、ソルビン酸や安息香酸エステル等の化学保存料を含有することで、製品腐敗の原因となるイーストやカビ、バクテリアの繁殖を抑制します。

機能性食品

RTDプロテイン飲料は、コレステロールを下げる植物ステロールや目の健康に良いとされるルテイン、活力増進成分といった、栄養成分の添加によって栄養強化することのできる高価値な栄養飲料です。たんぱく質を含有する培養された乳飲料には、生きた活性培養菌を添加することがよくあります。これらの飲料では通常、低温殺菌、培養、冷蔵保存が行われます。ただし、一部の製品は、熱処理されることによって、常温保存可能となります。栄養価を高めた飲料の選択肢は、消費者のトレンドや需要とともに広がり続けています。

たんぱく質レトルト飲料におけるホエイたんぱく質の使用

米国テキサス州のテキサスA&M大学動物科学部のRon Richter博士による以下の研究の目的は、商業的レトルト殺菌に耐えることのできるホエイたんぱく質含有量の多い飲料を開発することと、保存可能期間についての調査を行うことでした。

熱安定性

飲料の安定化に必要な熱処理は、ホエイたんぱく質において、濃度が1%を超えると、不安定化と凝集を引き起こしていました。一部の食品添加物を加えることにより、飲料の安定性は改善されました。

カゼイン：MPC、MPI、MCC等に含まれるカゼインは無秩序な分子配置を持ち、脂肪滴の界面から飛び出す距離が長くなることから、立体反発が増加し、熱安定性とエマルジョンの安定性の両方が改善されます。

リン脂質：脂肪含有飲料では、通常のレシチン、加水分解レシチン、アセチル化レシチンにより、ホエイたんぱく質含有量が5%以下のエマルジョンで熱安定性が改善しました。親水性親油性バランス(HLB)値を高めた改質レシチンは、通常のレシチンよりも熱変性に対する保護効果が優っていました。

ポリリン酸塩：ポリリン酸塩は、ホエイたんぱく質飲料の熱安定性を改善し、透明レトルト飲料で、脂肪を添加することなく、ホエイたんぱく質を最大5パーセントまで含有することを可能にしました。

親水コロイド：親水コロイドは、ホエイたんぱく質エマルジョンの熱安定性に有害な影響を与えましたが、その原因の大部分は、たんぱく質濃度を局所的に増大させ、熱凝集を促進する熱力学的不適合性によるものと思われます。

エマルジョンの安定性

均質化の圧力は、脂肪滴の粒径と表面積に最大の影響を及ぼし、このことが、エマルジョンの安定性にも影響を与えます。アセチル化レシチンを含有するエマルジョンは、クリーミングに対して最も安定していました。

保存安定性

28日を超える保存試験の結果、最も安定性に優っていたのは、0.3%のレシチンで処方し、90 MPaで均質化した、たんぱく質5%、脂肪3%を含有するエマルジョンでした。しかしながら、それでも、エマルジョンのクリーミングは明らかでした。

要約すれば、ホエイたんぱく質レトルト飲料のクリーミング安定性を改善するには、添加物によって、熱安定性に影響を及ぼすことなく粘度を高めることができなければなりません。熱安定性とエマルジョンの安定性を高める成分の選択は、飲料の組成によって決まりますが、多くの選択肢があります。米国の乳原料のサプライヤーに連絡して、飲料製品の開発を成功に導くためのサポートを仰いでください。

適正な水和時間によりWPIの透明度が向上

WPIを透明飲料に混合する上で課題となるのは、加熱によって飲料の混濁が生じるケースが多いことです。しかしながら、加熱処理前に溶液中のWPIの水和時間を適正に管理するという、透明度を高めるための簡単で安価な方法があります。濁度が約40 NTU⁺を下回れば、消費者によって透明とみなされます。

手順：

- 乾燥原料を混合する。
- 水と混ぜる。
- 混合物を20分間水和させる。
- 溶液を88°Cで2分間加熱する。

利点：

- 適正な水和時間を使うことによって、熱処理後の溶液の濁度が約50%低下します。

時間の経過によるWPI溶液の濁度の変化
(25g/lのタンパク質水溶液、pH3.2、88°Cで2分間の加熱処理)

水和時間 (分)	加熱前 (NTU) ⁺	加熱後 (NTU) ⁺
0	55	79
10	52	39
20	49	38
30	49	37
40	47	39
50	47	38
60	47	37
70	47	39
80	46	37
130	46	38

⁺NTU=比濁計濁度単位
データはウィスコンシン大学マディソン校、D. M. Etzelの厚意による

加工についての考察

飲料の各バッチの生産にあたっては、妥当性が確認され、定義することができ、かつ、繰り返しが可能な加工方法の開発に留意しなければなりません。これには、バッヂ生産の温度、混合手順、原料（特に酸味料）の添加順序、また、当然のことながら、低温殺菌や殺菌のための加熱処理等が含まれます。

例えば、各バッチの生産における乳由来たんぱく質成分の一貫した使用、pHの調整方法、温度暴露／処理といったことも非常に重要であり、確実に成功を収めるには慎重にモニタリングし、管理しなければなりません。

通常、第1段階は粉末たんぱく質の再水和です。この長い時間を要する段階では、最終的に発泡が起こります。メーカーは、加工のすべての段階で、空気の取り込みを最小限に抑えるよう注意を払わなければなりません。過剰な起泡の形成は、飲料を熱処理したときに凝集を引き起こし、また、安定した飲料の場合は、何らかの離漿や分離が起こる可能性があります。高速ミキサーを使って乳由来たんぱく質成分を混合し、低速で攪拌しながら、38°Cより低い温度で、処方水の約半分を使って水和できるようにする方法を推奨します。たんぱ

く質成分は、水和段階で糖類やその他の乾燥原料と混合することができます。乳由来たんぱく質成分の熱安定性と保存安定性を最大限に高めるために、水和時間は20分以上でなければなりません。

成分を添加する順序、方法、割合は、特定の処方に重要な要素です。これらが特に重要なのが酸性化の段階で、一般に、pH6.5前後でたんぱく質溶液を取り込み、pH4.5前後の主要たんぱく質の等電点領域を通過させます。ホエイたんぱく質には高い緩衝作用があるため、高濃度のたんぱく質を使用する処方では、pH調整に高濃度の酸が必要となります。

酸性のホエイたんぱく質飲料は、通常、熱処理後にpHが低下します。このようなpH低下の原因として以下が考えられます。1) メイラード褐変の初期段階、2) たんぱく質が一部の官能基の解離定数を変化させる現象の発生、3) 解離状態を変化させるたんぱく質の凝集。pHにどの程度の変化が起こるかは、使用するたんぱく質の濃度によって異なります。

例えば、要求される最終的なpHが3.2の場合、たんぱく質の含有量が5%の飲料であれば、熱処理前にpHが3.3～3.35になるよう飲料を調整することを推奨します。

完成品の取り扱い： 流通、保存時の環境条件

プロテイン飲料の販売業者は、さまざまな流通経路や場所、気候により、過酷な環境にさらされる可能性があることを熟知しておかなければなりません。極端な高温または低温環境が好ましくないのは言うまでもありませんが、それほど極端ではなくても高温と低温を何度も繰り返すことは、製品の安定性に予想外の悪影響を及ぼしかねません。市場に新規参入したメーカーは、開発プロセスの早い段階から流通や保管を担当するパートナーの代表者に助言を求め、典型的な条件に関する情報を入手しておくことが必要です。さまざまな温度での保存に関する研究が進めば、保存可能期間の基準を定めることができるようになるとともに、栄養含有量や風味、受容性、安定性、その他、物理的・化学的のパラメータの変化を予測することが可能になるでしょう。

サンプル飲料の処方

本項で示す処方は、製品開発という目的を達成するための出発点となるものです。市場ごとに、使用する原料の本質、加工や保存方法、現地の規制、ターゲットとする消費者の嗜好傾向が異なれば、処方の調整が必要になる場合があります。詳細については、米国の乳由来たんぱく質のサプライヤーに相談してください。また、添加物の使用や表示要件については、現地の規制を確認してください。

ミルク・ミネラル・サースト・クエンチャー



材料

	使用量 (%)
ミルクパーミエート	77.38
砂糖	18.05
リンゴ酸	2.58
天然レモン風味——WILDフレーバー	1.99
黄色5号	.001
合計	100.00

準備

- すべての成分を混ぜる。
- 20gを237mlの冷水に入れてかき混ぜる。

栄養の内容

米国のラベル

Nutrition Facts	
Serving Size (20g) (makes 8 fl oz)	
Servings Per Container	
Amount Per Serving	
Calories 70	Calories from Fat 0
% Daily Value*	
Total Fat 0g	0%
Saturated Fat 0g	0%
Trans Fat 0g	
Cholesterol 0mg	0%
Sodium 100mg	4%
Potassium 400mg	11%
Total Carbohydrate 18g	6%
Dietary Fiber 0g	0%
Sugars 17g	
Protein 1g	
Vitamin A 0% • Vitamin C 0%	
Calcium 8% • Iron 0%	
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.	
Calories: 2,000 2,500	
Total Fat	Less than 65g 80g
Saturated Fat	Less than 20g 25g
Cholesterol	Less than 300mg 300mg
Sodium	Less than 2,400mg 2,400mg
Potassium	3,500 mg 3,500 mg
Total Carbohydrate	300g 375g
Dietary Fiber	25g 30g
Calories per gram:	
Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4	

100g当たり

カロリー	28 kcal
総脂質	0 g
飽和脂肪	0 g
トランス脂肪	0 g
コレステロール	0 mg
総炭水化物	7 g
食物繊維	0 g
糖類	7 g
タンパク質	0 g
カルシウム	32 mg
カリウム	162 mg
ナトリウム	40 mg
鉄	0 mg
ビタミンA	0 IU
ビタミンC	0 mg

ラズベリー・フローズン・フィットネス・スムージー



材料

	使用量(%)
水	97.96
ラズベリーベース—Fruitcrown—60 Brix	0.49
WPI	0.49
エリトリトール粉末—Cargill16952	0.30
水溶性纖維—Tate and Lyle Promitor (水溶性コーン纖維 70)	0.30
82%リン酸	0.07
タンジェリン風味WONF—Biosun MZ6187815	0.06
合計	100.00

手順

1. 水、WPI、水溶性纖維をタンクの中で混ぜる。ライトニングミキサーで混ぜ、30分以上水和させる。
2. 再水和纖維とWPI、および残りの材料をミキサーで混ぜ、低速で攪拌する。リン酸でpHを3.4に調整する。
3. 85°Cで30秒加熱し、約15.5°Cで冷やす。
4. 低温殺菌し冷却した製品を滅菌した容器に入れ2.2°Cで保存する。
5. 製品の一部を「フローズンスラッサー」機に入れ、冷凍して分ける。

栄養の内容

米国のラベル

Nutrition Facts	
Serving Size 1 cup (227g)	
Servings Per Container	
Amount Per Serving	
Calories 150	Calories from Fat 0
% Daily Value*	
Total Fat 0g	0%
Saturated Fat 0g	0%
Trans Fat 0g	
Cholesterol 0mg	0%
Sodium 70mg	3%
Total Carbohydrate 53g	18%
Dietary Fiber 3g	12%
Sugars 25g	
Protein 10g	20%
Vitamin A 0% • Vitamin C 2%	
Calcium 2%	• Iron 4%
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.	
Calories 2,000	2,500
Total Fat Less Than 65g	80g
Saturated Fat Less Than 20g	25g
Cholesterol Less Than 300mg	300 mg
Sodium Less Than 2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate 300g	375g
Dietary Fiber 25g	30g
Protein 50g	60g
Calories per gram: Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4	

100g当たり

カロリー	66 kcal
総脂質	0 g
飽和脂肪	0 g
トランス脂肪	0 g
コレステロール	0 mg
総炭水化物	23 g
食物纖維	1 g
糖類	11 g
タンパク質	4 g
カルシウム	9 mg
ナトリウム	31 mg
鉄	0 mg
ビタミンA	0 IU
ビタミンC	1 mg

ベジタブル・バースト



材料

	使用量(%)
水	70.40
濃縮ニンジンジュース	10.00
濃縮スイートポテト	6.30
WPI	4.50
濃縮ホウレンソウジュース	4.20
濃縮セロリジュース	2.10
濃縮ロメインレタスジュース	0.80
濃縮ニホンカボチャジュース	0.80
ショウガピューレ	0.40
ミルクミネラル類	0.30
ピーツピューレ	0.20
合計	100.00

手順

- すべての材料の重量を計測する。
- WPIとミルクミネラルを処方水と室温で2時間水和させ、時々かき混ぜる。
- すべてのジュースをWPIとミルクミネラル水溶液に混ぜる。
- 混合物(手順3で準備したもの)を73°Cで15秒間低温殺菌し、均質化する(2,000/500 psi)。
- 充填し冷蔵する。
- 冷やして出す。

栄養の内容

米国のラベル

Nutrition Facts		
Serving Size 8 fl oz (240 mL)		
Amount Per Serving		
Calories 130	Calories from Fat 5	
	% Daily Value*	
Total Fat 0g	0%	
Saturated Fat 0g	0%	
Trans Fat 0g		
Cholesterol 0mg	0%	
Sodium 160mg	7%	
Total Carbohydrate 18g	6%	
Dietary Fiber 0g	0%	
Sugars 17g		
Protein 12g	24%	
Vitamin A 310% • Vitamin C 20%		
Calcium 30% • Iron 6%		
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:		
Calories: 2,000	2,500	
Total Fat	Less than 65g	80g
Saturated Fat	Less than 20g	25g
Cholesterol	Less than 300mg	300mg
Sodium	Less than 2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate	300g	375g
Dietary Fiber	25g	30g
Protein	50g	65g
Calories per gram:		
Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4		

100g当たり

カロリー	53 kcal
総脂質	0 g
飽和脂肪	0 g
トランス脂肪	0 g
コレステロール	0 mg
総炭水化物	8 g
食物繊維	0 g
糖類	7 g
タンパク質	5 g
カルシウム	128 mg
マグネシウム	4 mg
リン	9 mg
カリウム	433 mg
ナトリウム	65 mg
鉄	0 mg
ビタミンA	6,476 IU
ビタミンC	5 mg

カフェ・モカ



材料

	使用量 (%)
水	92.26
MPC 85	4.52
白色グラニュー糖	1.54
Autocrat コロンビア・フリーズドライ コーヒー	0.77
バニラ粉末	0.09
食卓塩	0.04
アルカリ処理したBarry Callebaut ココア	0.77
ステビア	0.01
合計	100.00

手順

- すべての乾燥材料 (MPC 85、砂糖、コーヒー、バニラ、塩、ココア、ステビア) を混ぜる。
- 乾燥混合物20gを237mlの湯に入れる。
- よく混ぜる。
- 飲む。

栄養の内容

米国のラベル

Nutrition Facts	
Serving Size 20 g (makes 8 fl oz)	
Servings Per Container	
Amount Per Serving	
Calories 70	Calories from Fat 5
% Daily Value*	
Total Fat 0g	0%
Saturated Fat 0g	0%
Trans Fat 0g	
Cholesterol 10mg	3%
Sodium 55mg	2%
Total Carbohydrate 6g	2%
Dietary Fiber 1g	4%
Sugars 4g	
Protein 10g	20%
Vitamin A 0% • Vitamin C 0%	
Calcium 25%	Iron 6%
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:	
Calories: 2,000 2,500	
Total Fat	Less than 65g 80g
Saturated Fat	Less than 20g 25g
Cholesterol	Less than 300mg 300mg
Sodium	Less than 2,400mg 2,400mg
Total Carbohydrate	300g 375g
Dietary Fiber	25g 30g
Protein	50g 65g
Calories per gram: Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4	

100g当たり

カロリー	28 kcal
総脂質	0 g
飽和脂肪	0 g
トランス脂肪	0 g
コレステロール	4 mg
総炭水化物	2 g
食物繊維	0 g
糖類	2 g
タンパク質	4 g
カルシウム	101 mg
ナトリウム	22 mg
鉄	0 mg
ビタミンA	0 IU
ビタミンC	0 mg

チャイ・ティー・ラテ



材料

	使用量 (%)
水	87.27
砂糖	6.14
MPC 85	4.34
ナチュラルブラックティー粉末#23863 バージニアデア TE48	2.05
シナモン粉末	0.07
カルダモン粉末	0.06
クローブ粉末	0.03
ジンジャー粉末	0.03
ナツメグ粉末	0.01
合計	100.00

手順

- すべての乾燥材料 (砂糖、MPC 85、ブラックティー粉末、スパイス類) を混ぜる。
- 乾燥混合物33gを237mlの湯または水に入れる。
- よく混ぜる。
- 飲む。氷の上から注いでもよい。

栄養の内容

米国のラベル

Nutrition Facts	
Serving Size 33 g (makes 8 fl oz)	
Servings Per Container	
Amount Per Serving	
Calories 120	Calories from Fat 0
	% Daily Value*
Total Fat 0g	0%
Saturated Fat 0g	0%
Trans Fat 0g	
Cholesterol 5mg	2%
Sodium 15mg	1%
Total Carbohydrate 18g	6%
Dietary Fiber 0g	0%
Sugars 16g	
Protein 10g	20%
Vitamin A 0%	• Vitamin C 0%
Calcium 25%	• Iron 0%
Phosphorus 15%	• Copper 2%
Manganese 6%	
*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.	
Calories: 2,000 2,500	
Total Fat	Less than 65g 80g
Saturated Fat	Less than 20g 25g
Cholesterol	Less than 300mg 300mg
Sodium	Less than 2,400mg 2,400mg
Total Carbohydrate	30g 35g
Dietary Fiber	25g 30g
Protein	50g 65g
Calories per gram: Fat 9 • Carbohydrate 4 • Protein 4	

100g当たり

カロリー	46 kcal
総脂質	0 g
飽和脂肪	0 g
トランス脂肪	0 g
コレステロール	2 mg
総炭水化物	7 g
食物繊維	0 g
糖類	6 g
タンパク質	4 g
カルシウム	96 mg
リン	58 mg
ナトリウム	6 mg
鉄	0 mg
ビタミンA	0 IU
ビタミンC	0 mg

参照文献：

1. "A Healthy Perspective: Understanding American Food Values," 2017 Food & Health Survey, The International Food Information Council (IFIC) Foundation.
<http://www.foodinsight.org/2017-food-and-health-survey>
2. Emerging Diets: Protein/Local Snapshot. Innovation Center for U.S. Dairy 2010.
3. Innova Database. Drinking Yogurt/Fermented Beverages. October 2013.
4. Innova Database. Permeate, Global Market Analysis. October 2017.
5. Patel, H. and Patel, S., Technical Report: Understanding the role of dairy proteins in ingredient and product performance. 2015. U.S. Dairy Export Council.
6. Anema, S. Pinder, D., Hunter, R., and Hemar, Y. 2006. Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). 2006. Food Hydrocolloids 20 386-393.
7. Gaiani, C., Schuck, P., Scher, J., Desobry, S., and Banon, S. 2007. Dairy powder rehydration influence of protein state, incorporation mode, and agglomeration. J Dairy Sci 90 (2) 570-581.
8. Mimouni, A., Deeth, H., Whittaker, A., Gidley, M., and Bhandari, B. 2010. Dairy Sci and Technol. 90(2) 335-344.
9. Sikand, V., Tong, P., Roy, S., Rodriguez-Saona, L., and Murray, B. 2011. Solubility of commercial milk protein concentrates and milk protein isolates. J Dairy Sci. 94(12) 6194-6202.
10. Smith K. Dried Dairy Ingredients. Wisconsin Center for Dairy Research. May 15, 2008.
11. Crowley, S., Desautel, B., Gazi, I., Kelly, A., Huppertz, J. and O'Mahoney, J. Rehydration characteristics of milk protein concentrate powder. 2015. J Food Eng. 149:105-113.
12. Marella C, Salunke P, Biswas AC, Kommineni A, Metzger LE. Manufacture of modified milk protein concentrate utilizing injection of carbon dioxide. 2015. J Dairy Sci 98 (6) 3577-3589.
13. Crowley, S., Megemont, M., Gazi, I., Kelly, A., Huppertz, T., O'Mahoney, J., Heat stability of reconstituted milk protein concentrate powders. 2014. Int. Dairy J 37:104-110.
14. Geilman, W., Schmidt, D., Herfurth-Kennedy, C., Path, J., and Cullor, J., 1992. Production of an electrolyte beverage from milk permeate. J Dairy Sci 75 (9) 2364-2369.
15. Beucler, J., Drake, M., and Foegeding, E. Design of a beverage from whey permeate. 2006. J Food Sci 70 (4) 277-285.

USDECは、専門的な助言をいただきましたSteve Rittmanic と Kimberlee (K.J.) Burringtonの両氏に謝意を表します。

米国酪農産業について

米国は単独で世界最大量の牛乳を生産していますが、その担い手である米国酪農産業は、牛乳供給量の豊富な増産と、競争力のある製品ラインナップの開発を続け、乳製品に対する世界の需要増加に対応する態勢を整えています。研究と技術革新への継続的な投資と、長く豊かな伝統を持つ熟練技術によって、米国は世界有数の良質な乳製品や原料の供給国となりました。お客様のニーズに対応し、そのビジネスの推進力となるために、米国の乳製品サプライチェーン、すなわち酪農農家、牛乳加工業者、製品や材料のメーカー、酪農研究機関が一丸となって協力し、高品質で栄養価の高い製品を提供しています。



お問合せ先

アメリカ乳製品輸出協会 (USDEC)

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋1-5-9 精文館ビル5F

Tel : 03-3221-5852 Fax : 03-3221-5960 Email : usdecjapan@marketmakers.co.jp

乳由來たんぱく質の購入について

「ThinkUSAdairy.org」で「U.S. Dairy Supplier Directory」(サプライヤーリスト)より検索してください。