

## 吸収性に優れ、カラダ作りに最適な革新的乳たんぱく質飲料の開発研究

株式会社 明治

## はじめに

骨格筋量は筋たんぱく質を合成する期間と分解する期間との微細なバランスによって保たれており、骨格筋量の維持、増加のためには骨格筋合成を増加させることが重要である。骨格筋合成を高める因子として、運動と組み合わせたたんぱく質の摂取が重要である。特にアスリートや高齢者は積極的にたんぱく質を摂取する必要がある、たんぱく質のサプリメントは広く世界中で用いられている。中でも栄養学的価値の高い乳たんぱく質を訴求した製品が広く普及しており、商品形態としては粉末サプリメントや飲料が中心である。一方で、乳たんぱく質を飲料に配合・強化する際の風味上の課題として独特の風味があげられる。その風味をマスキングする目的で、ココアやバニラのフレーバーを賦香した商品は世界中で販売されている。しかし、これらの既存乳たんぱく質訴求飲料は濃厚な風味を有しており、運動後の止渴目的で摂取しづらいという欠点があった。そのため、運動後にスッキリと飲みやすい風味を有する酸性タイプの乳たんぱく質飲料の開発が求められていた。しかし、乳たんぱく質はその物性から、酸性域で不安定であるため、酸性タイプで乳たんぱく質を牛乳と同等まで高含有した商品は従来の市場に存在しなかった。

## 1. 乳たんぱく質とは

乳たんぱく質は必須アミノ酸バランスに優れており、栄養学的価値が高いたんぱく質である。また、筋肉を形作るために重要な分岐鎖アミノ酸が多く含まれており、筋肉合成を高める効果に優れている<sup>1)</sup>。乳たんぱく質は主にホエイたんぱく質とカゼインという2種類のたんぱく質から構成されており、その構成比はおよそ2:8である。ホエイたんぱく質とカゼインはともに高い栄養的価値を有するが、最大の違いはその消化吸收速度にある。ホエイたんぱく質は摂取後速やかに体内に吸収されることが知られている。一方でカゼインは酸性域で凝集する性質を有しているため、胃内で胃酸の効果により凝集し、その結果腸管内で徐々に消化吸收されるホエイたんぱく質と比較して吸収が遅いたんぱく質である<sup>2)</sup>。

## 2. 乳たんぱく質の酸性域での安定化技術

乳たんぱく質は中性域では表面の電荷がマイナスに偏っているため、粒子同士が反発して凝集することはない。しかし、多くの酸性飲料に見られるpH4程度のpH領域ではカゼインが等電点沈殿を生じる。乳たんぱく質を高配合した酸性乳飲料を安定製造するために、このカゼインが有する酸性域での凝集を抑制し、安定化する技術開発が求められた。我々は以下に示した4つの安定化技術を独自に組み合わせることで、新規酸性乳たんぱく質飲料の安定製造を実現した。

## 2-1. HM-ペクチンによる安定化

ペクチンは柑橘類由来の原料であり、D-ガラクトキロン酸

とそのメチルエステルから成る。メチルエステルが50%以上存在する場合をHM-ペクチン、50%以下をLM-ペクチンという。酸性域でのカゼインの安定化にはHM-ペクチンが適しており、HM-ペクチンは冷水可溶、ニュートン粘性、高糖度または低pH条件下でゲル化する性質を有している。HM-ペクチンは溶液中で分子全体的にマイナスの電荷を帯びている。カゼイン粒子表面のプラス電荷を帯びた部分にペクチン分子のマイナス電荷が電気的に結合するとともに、ペクチン分子が全体的にマイナスの電荷を帯びているため、ペクチン同士の電気的な反発によりカゼイン粒子の凝集・沈殿を抑制する効果がある<sup>3)</sup>。

## 2-2. 大豆多糖類による安定化

大豆多糖類は、文字通り大豆由来の原料である。ガラクトース、アラビノース、ガラクトキロン酸、ラムノース、キシロース、フコース、グルコースなどの糖類からなる多糖類である。冷水に可溶、非常に低粘度かつニュートン粘性であり、乳化及び被膜性に優れた特徴を有する。大豆多糖類はマイナスの電荷を帯びた主鎖と電気的に中性な副鎖から成る。カゼイン粒子表面のプラス電荷を帯びた部分にマイナス電荷を帯びた主鎖が電気的に結合し、側鎖がクッションのようにカゼイン粒子表面を覆うことで物理的に粒子同士を反発させることで凝集・沈殿を抑制する効果がある<sup>4)</sup>。

本技術開発において、HM-ペクチンと大豆多糖類を適切に併用することが高濃度での酸性乳たんぱく質飲料の安定化に重要であることを明らかにした。

## 2-3. 発酵セルロースによる分散性向上

我々が開発した新規酸性乳たんぱく質飲料では酢酸菌が菌体外に産出する多糖類である発酵セルロースを配合している。発酵セルロースの化学構造は、植物由来のセルロースの化学構造と全く同じであり、D-グルコースが $\beta$ -1,4結合した直鎖状の多糖類である。発酵セルロースは水に溶解しない細かな三次元網目構造を形成するため、不溶性固形物の分散能力が極めて高い

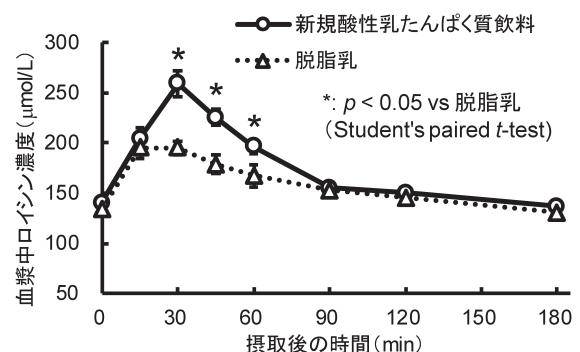


図1. ヒトでの新規酸性乳たんぱく質飲料摂取後の血中ロイシン濃度

特徴を有している<sup>5)</sup>。発酵セルロースを配合することでカゼイン粒子の沈殿抑制、分散性を向上させるだけでなく、さらに均質化効率を向上させることも確認した。

#### 2-4. トレハロースによるたんぱく質変性の抑制

トレハロースは水和力が非常に高く、水溶液中にたんぱく質とトレハロースが存在すると、トレハロースはたんぱく質と水素結合する。トレハロースがたんぱく質粒子表面をコーティングすることで、たんぱく質の加熱や凍結などによるたんぱく質の変性を防ぐ効果がある。我々はこのトレハロースのたんぱく質変性抑制効果に注目し、新規酸性乳たんぱく質飲料への応用を検討した。その結果、トレハロースの添加により、殺菌前後での乳たんぱく質の変性が抑制されることを明らかにした。

#### 3. 新規酸性乳たんぱく質飲料が有する新たな機能性

上記の独自技術で作製した新規酸性乳たんぱく質飲料は、人工胃液内でも凝固しないことを *in vitro* の実験にて確認した。乳たんぱく質は一般的な乳飲料で摂取した場合、胃内でカゼインが固まり、その後ゆっくりと吸収される。新規酸性乳たんぱく質飲料は、胃液内でも凝固しないため、一般的な乳飲料よりも速やかに体内に吸収されると仮説を立て、以下の実験を実施した。

##### 3-1. 新規酸性乳たんぱく質飲料の速攻吸収効果

ラットを用いて、新規酸性乳たんぱく質飲料投与群と、等量の乳たんぱく質を含む一般的な乳飲料である脱脂乳投与群を設定し、摂取後の血中アミノ酸濃度の変化を検討した。その結果、新規酸性乳たんぱく質飲料を投与した群では脱脂乳投与群と比較して血中のアミノ酸濃度が投与後素早く上昇することを明らかにした。特に筋肉の合成促進に重要であるロイシン濃度の上昇が明確であった<sup>6)</sup>。また、新規酸性乳たんぱく質飲料の投与は、脱脂乳を投与した場合と比較して、より速く、かつより高く骨格筋合成を促進させることも明らかにした。さらにヒトにおいても飲用後の血中アミノ酸濃度を分析し、新規酸性乳たんぱく質飲料を摂取した群では脱脂乳を摂取した群と比較して、血中のロイシン濃度が摂取後有意に上昇することを明らかにした(図1)<sup>7)</sup>。

##### 3-2. 新規酸性乳たんぱく質飲料の骨格筋合成促進メカニズムの解明

次に新規酸性乳飲料が骨格筋合成に作用するメカニズムを解明するために、ラットを用いて新規酸性乳たんぱく質飲料が筋合成促進に関わるシグナルたんぱく質に与える影響を脱脂乳と比較検証した。その結果、新規酸性乳たんぱく質飲料は細胞増殖、オートファジーの制御を行う mTOR シグナリングの活性化を介して、骨格筋合成を促進させることを明らかにした(図2)<sup>6)</sup>。

#### おわりに

本技術を活用した商品群である(ザバス)MILK PROTEIN 脂肪0 シリーズは世界に類を見ない、酸性タイプでスポーツドリンクのように運動後にゴクゴク飲める乳たんぱく質飲料である(図3)。本商品群は運動後にゴクゴク飲める新規性の高い乳たんぱく質飲料として多くの消費者から高く評価されており、2015年の発売から3年が経過する中で順調に販売を拡大し、市場に定着した。また、吸収性の速さを「速攻吸収製法」として訴求しており、機能性の面でも差別性の高い商品として認知さ

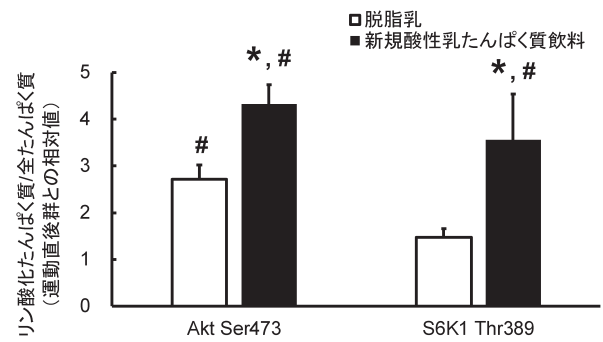


図2. 新規酸性乳たんぱく質飲料投与30分後のmTORシグナルに関与するたんぱく質のリン酸化(#:  $P < 0.05$  vs 運動直後, \*:  $P < 0.05$  vs 脱脂乳)



図3. 本研究成果を活用した乳たんぱく質飲料(ザバス)MILK PROTEIN 脂肪0 シリーズ

れていることが市場に定着した大きな要因でもある。

今後、2020年東京オリンピック・パラリンピックに向けて、本商品群は運動後に無理なく飲めるオンリーワンの商品として多くのユーザーを得て、国民全体の健康増進に寄与していくことが期待される。

#### (引用文献)

- 1) Wilkinson SB et al. Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am J Clin Nutr*, 85, p 1031-40, (2007)
- 2) Boirie Y et al. Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94, p 14930-14935, (1997)
- 3) Jensen S et al. Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin. *Food Hydrocolloids*, 24, p 291-299, (2010)
- 4) Nakamura A et al. Effect of soybean soluble polysaccharides on the stability of milk protein under acidic conditions. *Food Hydrocolloids*, 17, p 333-343, (2003)
- 5) 大木俊郎, 発酵セルロース製剤の紹介. *FFI JOURNAL*, 212, p 786-791, (2007)
- 6) Nakayama K et al. Post-exercise muscle protein synthesis in rats after ingestion of acidified bovine milk compared with skim milk. *Nutrients*, 9, E1071, (2017)
- 7) 吉居尚美ら, 若年者における新規酸性乳飲料の摂取が血中ロイシン濃度に及ぼす影響. 第70回日本栄養・食糧学会大会講演要旨集, 2F-12p, (2016)

謝 辞 本技術の機能研究を進めるにあたり、懇切なるご指導、ご助言を賜るとともに、ヒト試験を実施していただきました立命館大学スポーツ健康科学部教授 藤田聡先生に心より感謝申し上げます。