

中鎖脂肪酸トリグリセリドの α オリゴ糖を用いた乳化技術と消化性向上 ～高齢者が摂取しやすいMCTの開発を目指して

(株)シクロケムバイオ 中田 大介、石田 善行、近本 啓太、行武 詩織、寺尾 啓二
ハウス食品グループ本社(株) 朝武 宗明

はじめに

脂肪酸とは炭化水素鎖の端にカルボン酸がついた一価の酸であり、人の生命活動に重要なエネルギー源である。炭素鎖の長さによって短鎖、中鎖、長鎖脂肪酸に分類され、鎖長がC6-C12のものが中鎖脂肪酸と呼ばれている。植物や動物に由来する油脂中に含まれる脂肪酸は、一般的にはグリセリンとエステル結合したトリグリセリドの形で存在しており、食品成分として広く利用されている。

長鎖の飽和脂肪酸の過剰摂取は血中中性脂肪を増加させ、肥満や心血管疾患の原因となるため摂取が敬遠される傾向があり、体内からの排泄を促す／体内への吸収を抑制するような食品素材が市場で話題となっている一方で、脂肪酸を含む油脂のエネルギー

価は高く(9kcal/g)、活動量の多いアスリートや高齢者など積極的にエネルギーを摂取する必要がある人にとっては重要なエネルギー源となる。

脂肪酸トリグリセリドは炭素鎖の長さにより代謝経路が異なることが知られている。長鎖脂肪酸トリグリセリドでは消化管内で消化酵素(リパーゼ)によってそのエステル結合が分解され、脂肪酸もしくは脂肪酸モノグリセリドの形で吸収されたのち体内で脂肪酸トリグリセリドの形に再合成されリンパ管經由で全身に運搬されて利用・蓄積されるが、中鎖脂肪酸トリグリセリド(MCT)の場合、酵素でエステル結合が分解されるところまでは長鎖脂肪酸トリグリセリドと同じであるが小腸から吸収されたのちはトリグリセリドに再合成されることなく門脈を通して直接肝臓に運ばれ、そこで分解されてケトン体となりエ

ネルギー源として利用される。さらに、MCTの摂取が脳機能改善に与える影響も報告されており、ケトン体は脳のエネルギー源としても重要な物質である¹⁾。

このように、MCTは消化吸収が速く迅速にエネルギーとして利用することができるため、消化や代謝活動の弱った高齢者にとって非常に好ましいエネルギー源と考えられる。しかし、高齢者は油っぽい食事を好まない傾向があり、また油の多い食品は満腹感を引き起こしやすいため、高齢者が摂取しやすいMCTの加工方法が課題となっていた。

1. α オリゴ糖(α シクロデキストリン)

環状オリゴ糖(シクロデキストリン: CD)とはデンプンを酵素で変換することによって得られるブドウ糖が α -1,4結合でつながった環状の分子で、環を構成するブドウ糖の数によって α CD(6つ)、 β CD(7つ)、 γ CD(8つ)の3種類の環状オリゴ糖が工業的に大量生産されている。その環状構造の外側は親水性、内側は疎水性を示し、その性質から底の抜けたバケツのような図であらわされる(図1)。CDの大きな特徴はこの構造に起因する包接作用である。CDはその内腔に疎水性物質を取り込むことができ(包接)、また取り込んだ物質を放出することもできる(徐放)。このように非常にシンプルな特性だが、これによって取り込んだ物質を安定化したり、苦みの強いカテキンなどを取り込むことで味をマスキングするような効果や、コエンザイムQ10やクルクミンのようにそのままでは吸収性の低い物質の吸収性を向

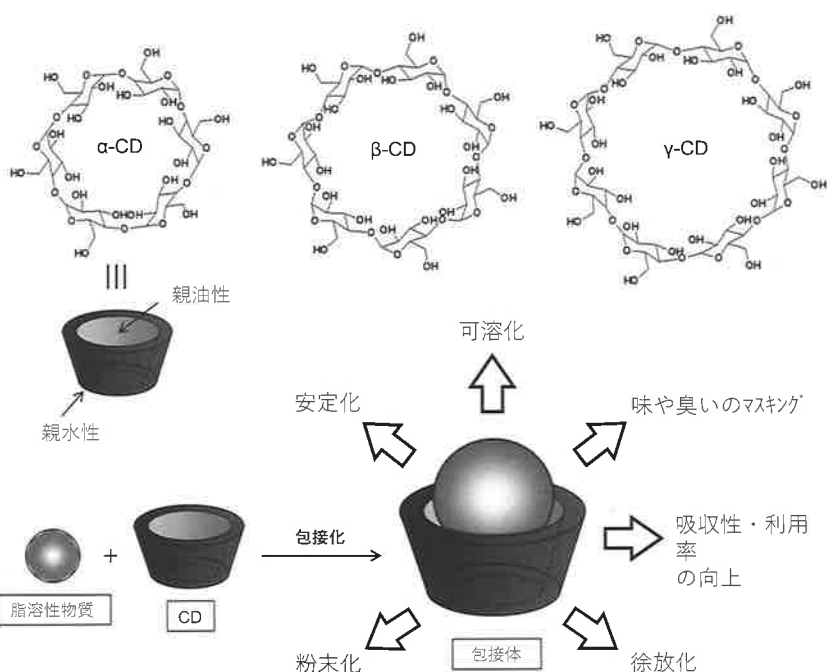


図1 CDの構造と脂溶性物質の包接化

上させるような効果が知られており²⁾、食品分野において広く使用されている。

食品に使用できる3種類のCD (α 、 β 、 γ) のなかで α CDは食物繊維としての性質も持ち合わせており、血糖値の上昇抑制効果や、コレステロール、中性脂肪の低減効果も知られている。そのなかでも中性脂肪については、 α CD1gで9gもの中性脂肪(脂肪酸トリグリセリド)を排泄するような効果が報告されているが³⁾、これについては1gの α CDは9g分の中性脂肪すべてを包接することはできないため α CDの包接能だけでは説明がつかなかった。そのため弊社で種々研究を行ったところ、中性脂肪を包接した α CDが界面活性剤のような働きをしてo/w型のミセルを形成し(ピッカーリングエマルジョン)、そのミセルの内側にさらなる中性脂肪を取り込むことでリパーゼによるトリグリセリドの分解を抑制していることを解明した⁴⁾(図2)。この α CDを使用したミセル化技術は、その製造元であるドイツWacker社によって卵を使用しないマヨネーズや起泡性を維持するフォーミング技術に使用されている。

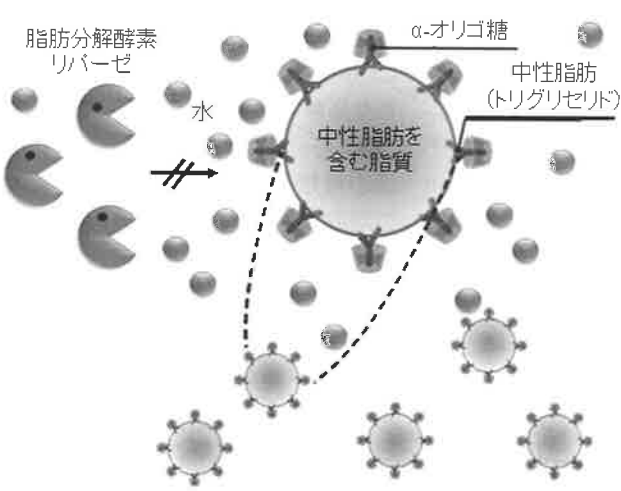


図2 α CDとTGによるミセル形成

2. CFテクノロジーの利用

ハウス食品はこの α CDを使用したミセル化技術をCrysForm[®](CF)技術としてさらに発展させた。CF技術は、 α CDと油性物質で作成したミセルが親水性の増粘多糖類内に包み込まれるようなイメージとなる(図3)。これによって中性脂肪の α CD包接体間がより強固にミセル上にならんで固定化され、あたかも結晶(Crystal)のように振るうことから”CrysForm”と名付けられた。このCF技術をもちいてMCTオイルを乳化すると、o/w型エマルジョン(連続相=水)が形成されるため油の食感の軽減が期待される。また、通常の界面活性剤によって形成されたエマルジョンに比べ、このCF技術によって得られたエマルジョンは酸や熱に対して安定であるため、さまざまな食品に使用することも可能であると期待されている。

3. 消化性についての検証

上述のとおり、 α CDには中性脂肪である脂肪酸トリグリセリドとミセルを形成することでリパーゼによる分解を阻害し、その吸収を抑制する働きがある⁵⁾。そのため、CF技術を用いてMCTをミセル化(MCT-CF)



図4 MCT-CF

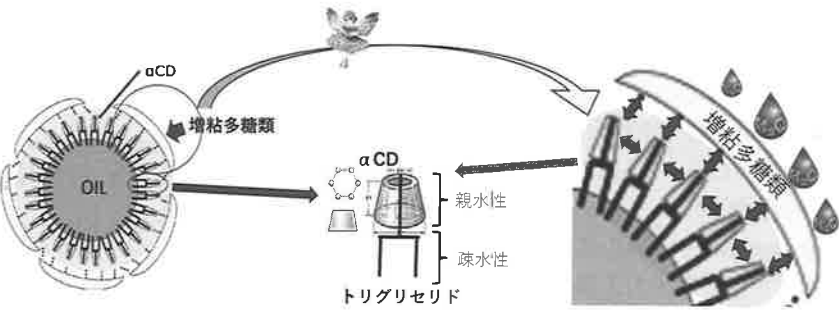


図3 CrysForm[®](CF) 酸や熱に対して安定化する

することで食感の改善はできたとしても、もしも消化管内でリパーゼとの反応が阻害されるとせっかくMCTオイルを摂取してもエネルギーとして利用できないことが懸念される。そこでMCTオイル、 α CDを用いてMCT-CFを調製し、体内での消化を模した人工腸液中でのリパーゼ分解について検証実験を行った。

試験は、水(63g)に対し、市販のMCTオイル(30g、脂肪酸中の組成:オクタン酸(C8)75%、デカン酸(C10)25%)、 α CD(7g)、増粘多糖類(0.3g)を添加し、ホモジナイザーを用いて室温下5分間攪拌することでMCT-CFが白色ペーストとして得られた(図4)。人工腸液(食後:FeSSIF)は、タウロコール酸(15mM)、レシチン(3.75mM)、酢酸(144mM)、塩化ナトリウム(173mM)、塩化カルシウム(4mM)を既存の方法⁶⁾を用いて調製し、消化酵素としてパンクレアチン(100unit/mL)を添加した。

上記の消化酵素を含む人工腸液(4mL)にMCT-CF(MCTとして7.5mg)を加え、37℃、160rpmで0-120分間攪拌したのち溶液を遠心分離し(3,000rpm, 5分間)、得られた上澄み液に酢酸エチル(2mL)、飽和食塩水(1mL)を添加して分配させ、有機層に含まれる遊離脂肪酸(オクタン酸:C8、デカン酸:C10)はHPLCを用いて分析した。

MCTオイル、MCT-CF及び増粘多糖類を用いずに調製したMCT/ α CDの3種類のサンプルを用いて試験を行い、経過時間と遊離脂肪酸濃度を示したのが図5となる。C8、C10いずれの場合も時間の経過とともに人工腸液中の脂肪酸濃度が高くなり、サンプル間で最終濃度に大きな違いは見られなかった。これはMCT中のトリグリセリド骨格のエステル結合が酵素(リパーゼ)によって分解されてC8やC10脂肪酸が遊離したことを示しており、 α CDや増粘多糖類の有無にかかわらずMCTが消化されること、及び α CDは人工腸液内で遊離した脂肪酸の溶解度に影響を与えていないことが確認された。

一方で、反応の初期段階において

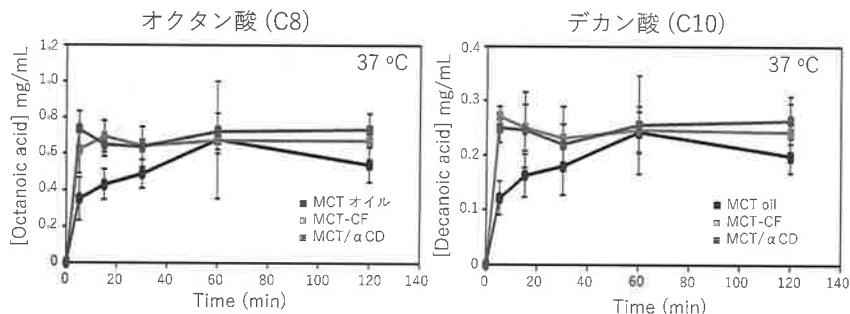


図5 結果

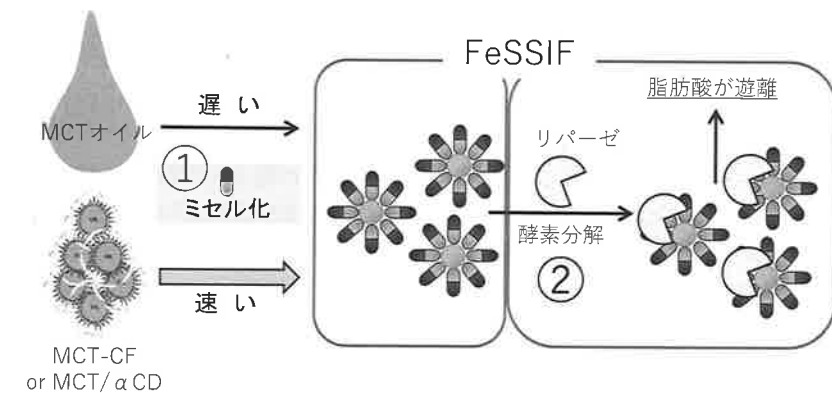


図6 考察

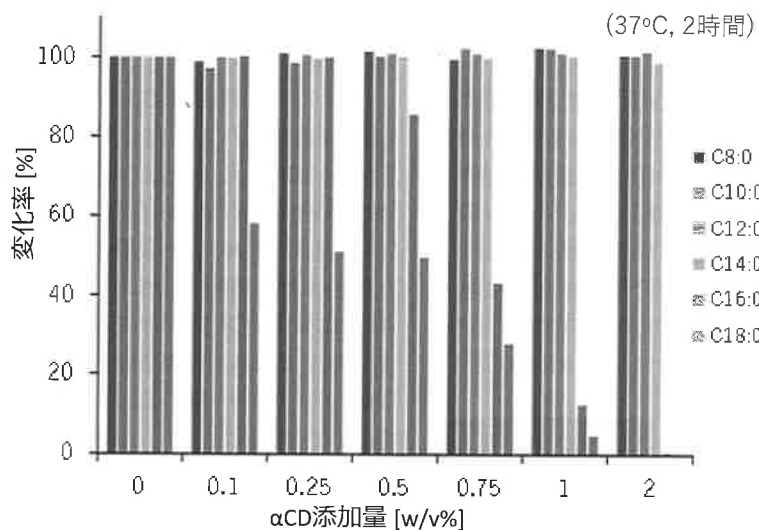


図7 溶解性におけるαCDの影響

はαCDの有無において違いがあり、MCTオイルに比べてαCDを使用したMCT-CFや、比較品のMCT/αCDサンプルにおいて中鎖脂肪酸濃度のすみやかな上昇が確認された。

今回の試験系には①MCTが人工腸液ミセルに取り込まれるステップ、②酵素によってトリグリセリドが分解し、脂肪酸が遊離するステップの2つから構成されている(図6)。上述の通りαCDは②のステップには影響を与えていないことから、反応初期におけるサンプル間の脂肪酸濃度の違いは、①のステップの速度に違いがあったこと

が示唆された。

4. 脂肪酸の溶解性に対するαCDの影響

前項では、MCTのリパーゼによる加水分解反応によって遊離したC8、C10脂肪酸の溶解度にαCDは影響を与えなかったことを述べた。このことを確認するため、さらに様々な炭素鎖長の脂肪酸をもちいて試験を行った。

鎖長がC8～C18の飽和脂肪酸を溶解させた食後人工腸液に対して様々な濃度のαCDを添加し、37℃、100rpmで2時間攪拌したのちの各脂

肪酸の溶解度を測定し、αCD添加前を100%として変化率を表した(図7)。炭素鎖長がC16やC18の長鎖脂肪酸では、αCDの添加量が増えるにしたがって溶解度が減少することが確認された。一方で、炭素鎖長がC14より短い脂肪酸ではαCDを2w/v%まで添加しても溶解度の減少は見られず、前項のMCTのリパーゼ分解試験とよく一致する結果が得られた。

またここではデータは示していないが、同様の方法で飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸、シス脂肪酸とトランス脂肪酸を比較する試験を行い、αCDは不飽和脂肪酸よりも飽和脂肪酸、シス脂肪酸よりもトランス脂肪酸の溶解度に影響を与えることが確認されている。

まとめ

αオリゴ糖は鎖長の長い飽和脂肪酸を選択的に包接し、溶解度を低下させることで消化・吸収を抑制する一方で、中鎖脂肪酸を含む炭素鎖が短い脂肪酸には影響を与えないことが人工腸液を用いた試験によって示された。また、MCTオイルをCF化することによってトリグリセリドの酵素分解速度が向上する結果が得られ、消化が速まることが示唆された。以上から、MCT-CFは健常な方だけでなく、代謝が衰えた高齢者にとっても非常に好ましいエネルギー源になると考えられる。また、油の種類を変えることにより、逆に油の吸収性を抑えることもでき、ダイエットクリーム調味料という新しい領域も提案できるのではないだろうか。さらには、CF化することで食感が改善され、さまざまな食品への配合や調理が可能になるため、今後エネルギー摂取を目的としたさまざまな食品への応用が期待される。

参考文献

- 1) P. Giannos *et al.*, BMC Geriatrics, 22, 817 (2022).
- 2) 上梶友記子ほか、食品と開発, 60 (11), 7-11 (2025).
- 3) J. D. Artiss *et al.*, Metabolism Clinical and Experimental, 55, 195-202 (2006).
- 4) 古根隆広ら、バイオインダストリー, 40, 46 (2023).
- 5) Jarosz P. A. *et al.*, (2013).
- 6) M. Vertzoni *et al.*, J. Pharm. Pharmacol., 56, 453-462 (2004).