

資料

ルミナコイド素材のエネルギー評価の考え方、ならびに新たに評価したルミナコイド素材 2 種類の評価結果

一般社団法人 日本食物繊維学会 ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会

委員（五十音順）

青江誠一郎（大妻女子大学 教授，本学会理事長）

田辺 賢一（中村学園大学 准教授）

東泉 裕子（(国研) 医薬基盤・健康・栄養研究所食品保健機能研究部食品安全・機能研究室室長）

中村 禎子（十文字学園女子大学 教授，委員長）

西村 直道（静岡大学 教授）

1. はじめに

一般社団法人日本食物繊維学会は、ルミナコイド^{*}素材エネルギー評価検討委員会を置き、平成 23 年度よりルミナコイド素材のエネルギー評価を実施している。エネルギー評価は、生体における発酵吸収の概念に基づいた科学的方法により実施し、これまでに 18 種類のルミナコイド素材のエネルギーを評価した。その評価結果は、学会誌、ならびに学会ホームページに掲載し、消費者庁へ提出している。本学会では、評価結果の提出に併せて、難消化性糖質等の有効エネルギー、ならびにその評価方法についての見直しを提言してきた。

本学会が実施してきたエネルギー評価の実績は、令和 2 年 3 月 27 日「消食表第 87 号」の『食品表示基準について』の一部改正についてに反映されることとなった。一部改正におけるルミナコイド素材のエネルギー換算係数に関連する小目についての概要は以下のとおりである。

^{*}ルミナコイド (luminacoid) は、日本食物繊維学会が提唱した食物繊維に代わる新しい概念で、「ヒトの小腸内で消化・吸収されにくく、消化管を介して健康の維持に役立つ生理作用を発現する食物成分」のことを意味する¹⁾。ルミナコイドは、食物繊維の定義からはみ出す難消化吸収性の単糖、オリゴ糖、糖アルコール、レジスタントスターチ、レジスタントプロテインなども包括する²⁾。

2. 令和 2 年 3 月 27 日「消食表第 87 号」の『食品表示基準について』の一部改正における分析通知について

「いわゆる分析通知」の記述は、「別添 栄養成分等の分析方法等」（いわゆる分析通知）の「35 熱量」の「(1) 修正アトウォーター法の③炭水化物」について以下のように改定された。

- 「難消化性糖質エネルギー係数を用いる。また、食物繊維については（6 食物繊維のエネルギー換算係数）によるエネルギー換算係数を用いて算出すること」となっていたものが、「難消化性糖質については、適切なエネルギー換算係数を用いる。」となった。
- 食物繊維については、「2 kcal/g 又は素材に応じた適切なエネルギー換算係数を用いて算出すること。なお、難消化性糖質及び食物繊維のエネルギー換算係数として（5）及び（6）に掲げる表の係数を用いても差し支えない。」に改定された。
- 「[注]」として、「4 人を対象とした出納試験，呼気ガス試験その他学術的に認められた方法により設定されたもの」が新設された。
- これに伴い、これまで「(6) 食物繊維のエネルギー換算係数」の表に付記されていた文は削除された。

今回の改定では、これまでの「いわゆる分析通知」の表に掲載されている数値そのものが改定されることはなかった。しかし、改定により、この表はこれに従うべきものではなく、参考値として置かれることになった。また、各企業は学術的に認められた方法による測定結果であれば、独自のエネルギー

一値を表記することが可能になった。総じて、本学会賛助会員の方々をはじめとする企業の方々が、ルミナコイド素材のエネルギー値をより利用しやすく、表示しやすくなったことになる。これは、本学会にとっても意義のある改定となった。

この改正に先立ち、令和元年7月に、消費者庁より「難消化性糖質及び食物繊維のエネルギー換算係数の見直し等に関する調査・検証事業」が入札の形式で公表された。この事業の委員長には、本学会ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会委員長の奥 恒行先生が委嘱され、理事長青江誠一郎先生が委員に委嘱された。また、エネルギー評価検討委員会の委員がワーキンググループを立ち上げてこの事業へ参画した。

なお、本改正の詳細については、以下のホームページをご覧ください。

https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/food_labeling_act/#laws

また、難消化性糖質及び食物繊維のエネルギー換算係数の見直し等に関する調査・検証事業の報告書については、下記のホームページをご覧ください。

https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/information/research/2019/

3. ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会設置の経緯

平成14年以前に開発された難消化吸収性のオリゴ糖や糖アルコールについては、栄養表示に必要なために暫定的なエネルギー換算係数が定められている。また、平成15年には、主な食物繊維素材について、日本食物繊維学会が動物実験等の論文を基に暫定的に評価した結果が、エネルギー換算係数として厚生労働省に採用された。「いわゆる分析通知」である。しかし、その後開発された難消化吸収性糖質素材は加工食品へ広く使用されているにもかかわらず、エネルギー評価に関する事業が実施されない状態が続いていた。現在も、難消化吸収性糖質の公的なエネルギー評価方法は国際的にも確立されていない。

一般社団法人日本食物繊維学会は、本学会の賛助会員からの強い要望に応えるために、学会内にルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会を常設し、企業が新たに開発したルミナコイド素材のエネルギー評価をすることとした。これは、本学会が、平成15年に厚生労働省が採用した食物繊維素材のエネルギー換算係数の策定作業を行った実績を踏まえてのことである²⁾。

なお、平成23年以降に本学会が実施したエネルギー評価方法は、平成15年に厚生労働省が「いわゆる分析通知」に採用した食物繊維素材のエネルギー換算係数のエネルギー評価方法と異なる点がある。「いわゆる分析通知」のエネルギー換算係数は、素材に含まれる食物繊維のみについてエネルギー評価をしたもので、素材中に混在する消化吸収性糖質やタンパク質などに由来するエネルギー量は除外している。一方、平成23年以降に本学会のルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会が実施したエネルギー評価においては、これらを含めた素材そのもの（組成物として）の総エネルギー量を示している。

以下に、本学会が実施してきた難消化吸収性糖質のエネルギー評価の考え方を概説する。今後、賛助会員の方々がルミナコイド素材のエネルギー評価を本学会へ希望する際に、どのような評価資料が必要となるか、作成する場合の参考にしていただければ幸いである。

4. 本学会における難消化吸収性糖質のエネルギー評価の考え方

4.1. 難消化吸収性糖質のエネルギー評価が必要となった背景

平成12年11月、五訂日本食品標準成分表の公表に伴って、栄養改善法（現・健康増進法）における「栄養表示基準等の取り扱いについて」の一部改正が行われ、平成15年4月1日から表示すべき栄養成分のうち「糖質」を「炭水化物」とすることとなった。このため、平成15年2月に炭水化物に含まれる食物繊維についてのエネルギー換算係数が厚生労働省より提示された。この食物繊維のエネルギー換算係数は、厚生科学研究「特定保健用食材の安全性及び有用性に関する研究」（主任研究者：池上幸江）の助成を受けて³⁾、日本食物繊維学会が中心になって評価した。

当初、わが国の栄養表示基準におけるエネルギーについては、炭水化物から食物繊維や難消化性オリ

ゴ糖・糖アルコールを除いた量に4kcal/gを乗じ、食物繊維は0kcal/g、難消化性オリゴ糖や糖アルコールはそれぞれのエネルギー換算係数を乗じ、これらの総和を炭水化物のエネルギー量としていた。しかし、食物繊維や難消化性オリゴ糖・糖アルコール含量が少なく、総エネルギー量への影響が少ない加工食品については、炭水化物量へ直接4kcal/gを乗じてエネルギー量としてもよいとしていた。五訂日本食品標準成分表が公表されたときに炭水化物の取り扱いが変更になり、食物繊維のエネルギー量を暫定的に4kcal/gとして取り扱うこととしたために、食品業界に混乱をもたらすこととなった。たとえば、特別用途食品に位置づけられている低カロリー食品など（注 現在は区分が異なる）の創製が困難になる事態が生じた。この要因の1つは、食物繊維の公的なエネルギー評価方法が確立されていなかったことである。

平成12年11月に公表された五訂日本食品標準成分表では、四訂食品標準成分表に記載している成分値の項目を大幅に増加し、炭水化物の扱いが大きく変更された。四訂食品標準成分表までは「炭水化物」を「糖質」と「繊維素」に分けて成分値を載せていたが⁴⁾、五訂食品標準成分表では食物繊維の研究成果を受け入れて食物繊維の成分値項目が別につくられ、水溶性、不溶性、総食物繊維のそれぞれの成分値を掲載することとなった。これに伴って、「繊維素」は削除された。五訂食品成分表の「炭水化物」の取り扱いの変更を受けて、栄養表示基準の規定により表示すべき栄養成分のうち「糖質」を「炭水化物」にすることとなった⁵⁾。このため、従来の炭水化物のエネルギー算定法に矛盾が生じてきた。

五訂食品標準成分表の公表後から平成15年3月末までは、炭水化物のエネルギーを算出するにあたっては「糖質」に食物繊維を加えた量を「炭水化物」の量とし、これにエネルギー換算係数4kcal/gを乗じて求めることとしていた（難消化性糖質含量の多い一部の食品についてはアトウォーター係数によるエネルギー値に0.5を乗じて算出）。この暫定的エネルギー評価方法では食物繊維のエネルギー量は4kcal/gとなるので、以前の栄養表示基準に比べて食品のエネルギー量は多くなり、ある商品については商品開発のコンセプトが維持できなくなるなどの混乱を招いた。改正された栄養表示基準では、必要に応じて「炭水化物」を「糖質」と「食物繊維」に分け、それぞれのエネルギー量を算出することとしたために、食物繊維のエネルギー換算係数を設定する必要が生じた。

4.2. 食物繊維を含めた難消化吸収性糖質の代謝経路とその特徴

食物繊維を含む難消化吸収性糖質の代謝経路は、図1に示すように腸内細菌を介して利用されることが特徴である⁶⁾。経口的に摂取した食物繊維は、糖質消化酵素によって消化されず、小腸を通過して大腸に到達する。そこで、腸内細菌による発酵を受けて酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸などの短鎖脂肪酸、炭酸ガス、水素ガス、メタンガス、その他の代謝産物に代謝される。これらのうち短鎖脂肪酸が大腸から吸収され、肝臓や筋肉などの臓器においてさらに代謝されてエネルギーを産生する。消化されない、あるいは吸収されないオリゴ糖や単糖は食物繊維と同様に小腸を通り抜けて大腸に到達し、腸内細菌による発酵を受け、一部は菌体成分としても利用される。腸内細菌による発酵を受けない糖質は糞塊成分となって体外へ排泄されるのでエネルギー産生には寄与しない。

消化・吸収されない食物繊維やオリゴ糖であっても腸内細菌によって短鎖脂肪酸に転換されて宿主に利用されるので、エネルギー源として寄与している。さらに、腸内細菌を介した生体利用は、生成される短鎖脂肪酸量の多寡によって産生されるエネルギー量が異なるので、腸内細菌に利用されやすいか、利用されにくいかによって宿主へのエネルギー貢献度が異なる。

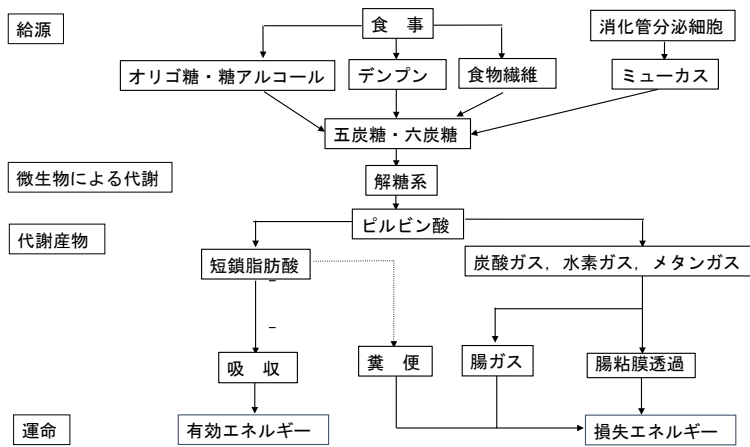


図1 腸内細菌を介した難消化吸収性糖質の代謝経路

4.3. 難消化吸収性糖質の有効エネルギー量の評価へ影響を及ぼす要因

難消化吸収性糖質の有効エネルギー量は、生体における消化吸収分と発酵吸収分に分けて考える必要がある。小腸から吸収されてエネルギー産生へ代謝される糖質は約 4 kcal/g になり、代謝されずに尿中へ排泄される糖質は 0 kcal/g となる。また、完全に発酵を受けて利用される難消化吸収性糖質のエネルギー量は約 2 kcal/g となる。一方、発酵を受けない難消化吸収性糖質の場合には、腸内細菌による短鎖脂肪酸が生成されないため、エネルギー量は 0 kcal/g となる⁷⁾。発酵を受けずに糞便に排泄される部分のエネルギー量は 0 kcal/g となる。

難消化吸収性糖質の有効エネルギー量の評価は、この前提に基づいている。しかし、エネルギー評価を実施する場合には、以下の変動要因に留意することが必要である。

- 1) 天然の食物繊維は、基本的には消化されることなく大腸へ到達する。しかし、デンプン分解物や単糖・オリゴ糖などを原料にして人工合成した食物繊維素材は、単糖や消化性オリゴ糖などを含有しているため^{8,9)}、エネルギー評価にあたっては、組成物としての成分組成を明らかにする必要がある。
- 2) 単糖（希少糖など）の中には、小腸から吸収されたものが代謝されずに尿中へ排泄されるものがある^{10,11)}。代謝されずに尿中へ排泄される糖質はエネルギー損失になるので、このような糖質については尿中排泄率を明らかにする必要がある。しかし、近年開発されている難消化吸収性単糖類は体内動態が複雑なために、従来の評価方法では対応できなくなった。
- 3) 人工合成によって開発された食物繊維には、消化性と発酵性の両方が低値を示すものがある^{12,13)}。
- 4) 難消化吸収性糖質の腸内細菌による発酵性は糖質の種類によって異なるので、エネルギー評価をするにあたっては、それぞれの難消化吸収性糖質についての発酵性を明らかにする必要がある。難消化吸収性糖質には、フラクトオリゴ糖のようにほぼ完全に発酵を受けて糞便へ排泄されないものと、寒天のようにほとんど腸内細菌による発酵を受けないもの、その中間的なものがある¹¹⁾。腸内細菌による発酵を受けずに糞便へ排泄される糖質については、糞便排泄率を明らかにする必要がある。
- 5) 中間的な発酵を受ける天然の食物繊維の場合には、エネルギー評価は慎重に行わなければならない。特に、海藻由来の食物繊維は、腸内細菌による発酵をきわめて受けにくい。しかし、食品への利用を目的に部分分解をすると、分子量が小さくなり、溶解性を増す。低分子化した食物繊維は、発酵性が増大する。また、水溶性食物繊維であっても高分子のものは発酵性が低いものがある。したがって、難消化吸収性糖質素材のエネルギー評価をするためには、一つ一つの素材について発酵性を明らかにすることが必要である。
- 6) 難消化吸収性糖質の腸内細菌による発酵性は、摂取量の多寡によって影響を受ける場合がある¹²⁾。しかし、一般的な1回あたりの摂取量は数g程度であるので、摂取量の多寡による影響は少ないと考え、この評価方法では考慮しないこととした。

7) 難消化吸収性糖質は、継続摂取によって腸内細菌による発酵性が変化することが明らかになっている^{12,13)}。しかし、ヒトにおいてその変化に要する時間や変化の程度には個体差が大きいことから、この評価方法では考慮しないこととした。

5. ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会のエネルギー評価方法

5.1. 難消化吸収性糖質素材のエネルギー評価の基本的な考え方

本学会では、上述した課題を考慮した上で、難消化吸収性糖質素材のエネルギー評価を次のように行うこととした。

図2に示す通り、エネルギー評価の原則は以下の通りである¹⁴⁻¹⁶⁾。

- ① 消化吸収されて代謝される糖質は、4 kcal/g とする。
- ② 消化吸収されて代謝されずに尿中へ排泄される糖質は、0 kcal/g とする。
- ③ 全く消化吸収されず、腸内細菌により完全に発酵を受ける糖質は、2 kcal/g とする。
- ④ 全く消化吸収されず、腸内細菌による発酵も受けない糖質（糞便排泄分）は、0 kcal/g とする。
- ⑤ 発酵性が明らかな難消化吸収性糖質については、その発酵率に2 kcal/g を乗じてエネルギー量を算出し、小数第一位を四捨五入して整数化する。

つまり、消化吸収されない典型的な難消化吸収性糖質のエネルギー量は、腸内細菌による発酵性によって0 kcal/g、1 kcal/g、または2 kcal/gのいずれかに区分されることになる。

例えば、50% が消化吸収されて利用され、50% が大腸に到達して完全に発酵される糖質の有効エネルギー量は、 $4 \text{ kcal/g} \times 0.5 + 2 \text{ kcal/g} \times 0.5 = 3 \text{ kcal/g}$ となる。フラクトオリゴ糖のような消化されないオリゴ糖は100%大腸に到達して完全に発酵を受けるので、有効エネルギー量は $2 \text{ kcal/g} \times 1.0 = 2 \text{ kcal/g}$ となる。

上記の考えに基づいた①から④の指標について、ヒトを対象とした試験を実施し、評価を行う。

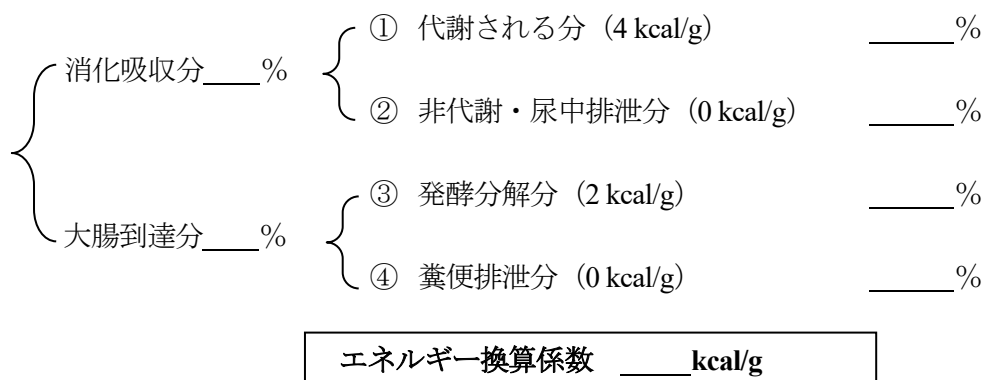


図2 ルミナコイド素材エネルギー評価にあたっての区分け

5.2. ルミナコイド素材のエネルギー評価の対象成分、ならびに定量方法について

市販されているルミナコイド素材には、天然の重合度の大きいもの、部分分解したもの、デンプンやデキストリンなどの分解物を特殊な方法で加工・重合した比較的小分子のものなどがあり、多種多様である。

エネルギー評価を行う場合の食物繊維定量は、日本食品標準成分表に用いている Prosky 変法や AOAC 公定法に準じて行うことを原則とする^{17,18)}。改良法が AOAC2009.01 法、2011.25 法、2017.16 法として公表されたので¹⁹⁻²¹⁾、これに準じて定量する必要がある。また、難消化吸収性オリゴ糖・単糖および糖アルコールの定量法は公表された方法で行うものとしている²²⁾。

特殊な方法で加工・重合した比較的小分子のルミナコイド素材には、単糖、二糖、オリゴ糖などの消化吸収性糖質を多少含んでいる。このため、食物繊維定量法 (AOAC 2001.03) である酵素-重量法では

¹⁵⁾、これらの低分子の単糖やオリゴ糖はエタノール沈殿しないので食物繊維として定量されない。したがって、食物繊維定量法の変法である酵素-HPLC法を組み合わせる測定しなければならない¹⁹⁾。

これまでの難消化吸収性糖質の概念である、「消化吸収されることはなく、腸内細菌によって発酵を受けて吸収される」という前提に合致しない素材が開発されている。このことを配慮して、本検討委員会におけるエネルギー評価においては、素材そのもの（組成物）についてのエネルギー量を算定することとした^{23,24)}。平成15年2月に公表された暫定的な食物繊維エネルギー換算係数に用いた素材中の食物繊維そのものの評価とは異なった考え方を導入した。これらのルミナコイド素材を使用した加工食品のエネルギー量は、定量した加工食品中の食物繊維量を元に、添加した素材量を計算してエネルギー換算係数を乗じて算出することになるので、エネルギー量算出が従来よりも煩雑になる。また、難消化吸収性の単糖、オリゴ糖、糖アルコールなどについては、加工食品中に存在する量が酵素-HPLC法で定量できるので、それぞれのエネルギー換算係数を乗じることによって総エネルギー量を算出できる。このため、新しいエネルギー評価法では、それぞれの素材そのものについてのエネルギー換算係数を求めることとした。

例えば、複雑な組成のポリデキストロースは、消化吸収される単糖やオリゴ糖は約25%、発酵される難消化性オリゴ糖は約20%、発酵分解を受けない多糖は約55%などから成っている^{8,25)}。したがって、ポリデキストロースを使用した加工食品の食物繊維を定量すると、食物繊維としては75%が分画・定量できる。栄養成分表示では、ポリデキストロースを用いた加工食品のエネルギー量を表示するために、食物繊維定量法で測定できた量から原材料のポリデキストロース量を換算し、これにポリデキストロースのエネルギー換算係数1 kcal/gを乗じて求めることになる。

5. 3. ルミナコイド素材のエネルギー評価の指標

上記に示した新しい考え方によって難消化吸収性糖質のエネルギー評価をするためには、難消化吸収性糖質素材の成分組成を明確にするとともに、それに含まれる難消化吸収性糖質についてヒトを対象とした消化吸収性と発酵吸収性を明らかにすることが必要である。

消化吸収性は、エネルギー評価の対象物質そのものを経口摂取後の血液中の糖質濃度や血糖値、インスリン分泌への影響などにより評価が可能である。また、吸収されても代謝されずにそのまま尿中へ排泄される糖質については、その排泄率を測定する必要がある。一方、発酵吸収性の評価は、呼気水素ガス試験によって定量可能であるが、ルミナコイド素材の発酵性によって呼気水素ガスの排出動態は大きく異なることが明らかになっている。現行の方法では、発酵性評価のための呼気採取時間として、試験物質摂取14時間後までの試料を必要としている¹⁵⁾。特に、分子量が大きい素材の場合には、摂取後、腸内細菌による発酵開始時間が遅い。このため、14時間よりも早く呼気の試料採取を終了すると、エネルギーを過小評価する可能性がある。また、呼気水素ガス試験で水素ガス排出が低値を示す、あるいは検出されない場合には、糞便への排出についても確認する必要がある。

6. 令和元年度ルミナコイドエネルギー評価結果報告—ルミナコイド素材2種類について—

今回のエネルギー評価は、2019年度に評価希望のあったルミナコイド素材（難消化吸収性糖質）の中で、2020年度に評価に必要な資料が整っていると判断された2種類について評価した。

表1にエネルギー評価の対象となった素材の組成（無水物換算）を示す。ポテト由来リン酸架橋デンプン（バーサファイブ 8490、イングレディオン・ジャパン株式会社）のエネルギー換算係数は0 kcal/g、タピオカ由来リン酸高架橋デンプン（ノベロース 3490、イングレディオン・ジャパン株式会社）のエネルギー換算係数は1 kcal/g、ただし、この中の食物繊維画分については0 kcal/gと評価した（表2）。

表1 ポテト由来リン酸高架橋デンプン、ならびにタピオカ由来リン酸高架橋デンプンの組成

素材	食物繊維			利用可能な糖質	灰分	リン酸
	水不溶性	水溶性	合計			
ポテト由来リン酸高架橋デンプン	97.0	0.7	97.7	0.7	1.6	0.50
タピオカ由来リン酸高架橋デンプン	91.2	0.9	92.1	6.8	1.1	0.31

単位は%. 日本食品分析センターによる分析値. 無水物換算.

表2 エネルギー評価対象のポテト由来リン酸高架橋デンプン（バーサファイブ8490）とタピオカ由来リン酸高架橋デンプン（ノペロース3490）のエネルギー評価結果

素材名	消化吸収分 (%)			大腸到達分 (%)			エネルギー評価結果 (kcal/g)	
	内訳	代謝分	尿中排泄分	内訳	発酵分解分	糞中排泄分		
ポテト由来リン酸高架橋デンプン	3.4	3.4	0	96.6	0	96.6	0.14	⇒ 0
タピオカ由来リン酸高架橋デンプン	6.8	6.8	0	93.2	10.8	82.4	0.49	⇒ 1

* 食物繊維画分は0 kcal/g

7. ルミナコイド素材エネルギー評価における課題

難消化吸収性糖質の開発、ならびに研究の進展に伴い、ルミナコイド素材のエネルギー評価において、以下に示すような課題が明らかになってきている。

- ① これまでの食物繊維の概念、すなわち、消化吸収されることなく大腸へ到達し、腸内細菌による発酵を受けて代謝される、という概念では説明できない代謝経路をたどるルミナコイド素材が開発され、評価が難しい。希少糖のように代謝経路が複雑な糖質や、工業的に開発された糖質のうち、難消化吸収性であり、かつ難発酵性のルミナコイド素材などがこれに該当する。
- ② 現評価方法では、摂取量の多寡について考慮しないこととしている。また、一定期間継続的に摂取することによって発酵性が異なる場合があることについても考慮していない。これは、本評価方法の前提として、難消化吸収性糖質の1回摂取量あたりの使用量は数g程度であることを想定しているからである。しかし、既に開発された加工食品では、消化性デンプンの一部を修飾デンプンに置換し、1回摂取量あたりの使用量が10gを超えているものがある。
- ③ 本学会のルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会において、すでに評価されているルミナコイド素材との同等性の証明方法を検討する必要がある。同じ製品名のルミナコイド素材を異なる企業が製造した場合の同等性をどのように評価できるか、今後検討する必要がある。2019年度に実施した前回のエネルギー評価においては、生体における代謝、ならびに組成物の成分分析値などの科学的根拠に基づいて明らかに証明できるものについては同等と判断した²⁶⁾。今後に向けては、同等性の証明のために必要な科学的根拠についても明確にする必要がある。

現行のルミナコイド素材エネルギー評価方法は、いくつかの約束事（実験条件の設定）の上に成り立っている。これらの課題については、今後引き続き検討し、科学的根拠に基づいて対応したいと考えている。

8. おわりに

この度の令和2年3月27日「消食表第87号」の『食品表示基準について』の一部改正についてにおいて、本学会が取り組んできたルミナコイド素材のエネルギー評価の事業が評価されたことは、誠に意義深いことと考える。本稿では、今日に至る経緯を記し、わが国における難消化吸収性糖質（食物繊維、オリゴ糖、糖アルコールなど）のエネルギー評価の背景と意義を示すと共に、当ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会のエネルギー評価の考え方と方法を紹介した。

この度、その評価法に従ってルミナコイド素材2種類のエネルギー評価結果を示した。現在までに、日本食物繊維学会ルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会がエネルギー評価したルミナコイド素材は20種類になる。これまでに評価した素材とエネルギー換算係数を表3にまとめた。

難消化吸収性糖質開発の発展に伴い、ルミナコイド素材のエネルギー評価は新たな課題に直面していることも事実である。科学的根拠を示し、その都度対応したいと考えている。今後もエネルギー評価を希望する素材が出てくれば速やかに対応するつもりである。なお、評価結果は今後も消費者庁へ報告し、賛助会員はじめ多くの企業の方々が利用できるように、本学会誌、ならびに学会ホームページへ掲載する。

表3 これまでにエネルギー評価をしたルミナコイド素材とその評価結果

評価年度	ルミナコイド素材名	エネルギー換算係数 (kcal/g)	素材メーカー名
平成24年度	D-ブシコース	0	松谷化学工業(株)
	グルコマンナン	1	清水化学(株)
平成25年度	イヌリン	2	フジ日本精糖(株)
	メチルセルロース	0	信越化学工業(株)
	還元難消化性デキストリン	1	松谷化学工業(株)
	高架橋澱粉	0	松谷化学工業(株)
平成26年度	セロビオース	2	松谷化学工業(株)
	ヒドロキシプロピルメチルセルロース	0	信越化学工業(株)
平成28年度	難消化性グルカン	0	日本食品化工(株)
	難消化性グルカン組成物	1	日本食品化工(株)
	還元難消化性グルカン組成物	1	日本食品化工(株)
平成29年度	1,5-アンヒドログルシトール	0	(株)サナス
令和元年度	D-アロース	0	松谷化学工業(株)
	D-ソルボース	1	松谷化学工業(株)
		*D-ソルボース自体は約0.5 kcal/g	
	D-タガトース	2	松谷化学工業(株)
	D-マンノース	2	松谷化学工業(株)
	イヌリン	2	帝人(株)
	リン酸高架橋デンプン	0	日清食品ホールディングス(株)
令和2年度	ポテト由来リン酸高架橋デンプン	0	イングレディオン・ジャパン(株)
	タピオカ由来リン酸高架橋デンプン	1	イングレディオン・ジャパン(株)
		*食物繊維画分は0 kcal/g	

(令和2年7月20日、常務理事会承認)

9. 引用文献

- 1) 桐山修八, 池上幸江, 印南 敏, 海老原 清, 片山洋子, 竹内文久 (2003) 日本における Dietary fiber の定義・用語・分類をめぐる論議と包括的用语の提案まで. 日本食物繊維学会誌 7: 39-49.
- 2) 奥 恒行, 山田和彦, 金谷建一郎 (2002) 各種食物繊維素材のエネルギーの推算値. 日本食物繊維学会誌 6: 81-86.

- 3) 厚生科学研究：生活安全総合研究「特定保健用食材の安全性及び有用性に関する研究（主任研究者：池上幸江）. 平成 13 年度分担研究報告書.
- 4) 科学技術庁資源調査会（1982）四訂日本食品標準成分表.
- 5) 科学技術庁資源調査会（2000）五訂日本食品標準成分表.
- 6) Oku T, Nakamura S（2002）Digestion, absorption, fermentation, and metabolism of functional sugar substitutes and their available energy. *Pure Appl Chem* 74: 1253-1261.
- 7) 奥 恒行（1996）難消化吸収性糖質の有効エネルギー量について. *栄養学雑誌* 54: 143-150.
- 8) 奥 恒行, 細谷憲政（1983）低エネルギー食品素材ポリデキストロースの生体利用. ファイザー（株）資料.
- 9) 大隈一裕, 松田 功, 勝田康夫, 半野敬夫（1990）澱粉の熱変性と酵素作用—難消化性デキストリンの特性—. *澱粉科学* 37: 107-114.
- 10) Noda K, Oku T（1992）Metabolism and disposition of erythritol after oral administration to rats. *J Nutr* 122: 1266-1272.
- 11) 飯田哲郎, 大隈一裕（2012）希少糖（D-プシコースと D-アロース）の生理効果. *日本食物繊維学会誌* 16: 9-17.
- 12) Nakamura S, Tanabe K, Morita S, Hamaguchi N, Shimura F, Oku T（2016）Metabolism and bioavailability of newly developed dietary fiber materials resistant glucan and hydrogenated resistant glucan, in rats and humans. *Nutr & Metab* 13: 13. [open access].
- 13) Nakamura S, Yamate M, Tanabe K, Osada S, Oku T（2020）Highly cross-linked starch and modified cellulose as dietary fibers, and their acclimation effect on hydrogen excretion in rats. *Curr Nutr & Food Sci* 15: 1-9. [Open access].
- 14) 中村禎子, 奥 恒行（2005）ヒトにおける呼気水素ガス試験による発酵分解評価の有効性とそれに基づく各種食物繊維素材のエネルギー評価の試み. *日本食物繊維学会誌* 9: 34-46.
- 15) Oku T, Nakamura S（2014）Evaluation of the relative available energy of several dietary fiber preparations using breath hydrogen evolution in healthy humans. *J Nutr Sci Vitaminol* 60: 246-254.
- 16) 奥 恒行, 青江誠一郎, 金谷建一郎, 倉沢新一, 真田宏夫, 山田和彦（2011）ルミナコイド（難消化吸収性糖質）素材のエネルギー評価法とエネルギー換算係数についての概要. *ルミナコイド研究* 15: 70-77.
- 17) Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, DeVeres JW, Furda I（1988）Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. *J Assoc Off Anal Chem* 71: 1017-1026.
- 18) AOAC Official Methods in Official Methods of Analysis of AOAC International 17th Ed., AOAC International, Gaithersburg（2000）.
- 19) McCleary BV, DeVries JW, Rader JI, Cohen G, Prosky L, Mugford DC, ChampM, Okuma K（2010）Determination of total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *JAOAC Int* 93: 221-233.
- 20) McCleary BV, DeVries JW, Rader JI, Cohen G, Prosky L, Mugford DC, Champ M, Okuma K（2012）Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *JAOAC Int*, 95: 824-844.
- 21) McCleary VB, Sloane N, Draga A（2015）Determination of total dietary fibre and available carbohydrates: A rapid integrated procedure that simulates in vivo digestion *Starch/Stärke* 67: 860–883.
- 22) Okuma K, Matsuda I, Katta Y, Tsuji K（2000）New method for determining total dietary fiber by liquid chromatography. *JAOAC Int* 83: 1013-1019.
- 23) 奥 恒行, 青江誠一郎, 金谷建一郎, 倉沢新一, 真田宏夫, 山田和彦（2013）ルミナコイド素材のエネルギー評価の考え方とメチルセルロース, イヌリン, 還元難消化性デキストリンならびに高架橋澱粉のエネルギー評価結果. *ルミナコイド研究* 17: 47-52.

- 24) 奥 恒行, 青江誠一郎, 金谷建一郎, 倉沢新一, 真田宏夫, 山田和彦 (2018) ルミナコイド素材のエネルギー評価の考え方と 1,5-アンヒドログルシトールのエネルギー評価結果. ルミナコイド研究 22: 29-33.
- 25) Figdor SK, Bianchine JR (1983) Caloric utilization and disposition of [¹⁴C]-polydextrose in man. J Agric Food Chem 31: 389-393.
- 26) 奥 恒行, 青江誠一郎, 中村禎子, 西村直道, 東泉裕子, 田辺賢一 (2020) ルミナコイド素材のエネルギー評価の考え方と新たに評価したルミナコイド素材 6 種類の評価結果. ルミナコイド研究 24: 53-59.