

資料

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

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

委員長 奥 恒行 (十文字学園女子大学 客員教授, 長崎県立大学 名誉教授)

委員 青江誠一郎 (大妻女子大学 教授)

委員 金谷建一郎 (横浜薬科大学 講師, 前・日本食品分析センター)

委員 倉沢 新一 (関東学院大学 教授)

委員 真田 宏夫 (千葉大学 名誉教授)

委員 山田 和彦 (女子栄養大学 教授)

1. はじめに

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、栄養表示の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、主な食物繊維素材のエネルギー換算係数については、日本食物繊維学会が暫定的に評価した結果が平成15年に厚生労働省から採用され、現在に至っている。しかしながら、その後が開発された食物繊維を含め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拘わらず、エネルギー評価がされない状態にある。難消化吸収性糖質の公的なエネルギー評価方法や制度が確立されていない所以である。

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、日本食物繊維学会が、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¹⁾。これまでに本委員会がエネルギー評価した結果を本誌へ掲載しているので参照されたい²⁾。本稿では、現在までの知見に基づく難消化吸収性糖質のエネルギー評価の考え方を概説して、今後、ルミナコイド素材のエネルギー評価を希望する賛助会員が評価資料を作成する場合の参考にすると共に、エネルギー評価を申請された1,5-アンヒドログルシトール素材についてのエネルギー評価結果を提示する。

なお、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エネルギー評価方法と、平成23年以降のエネルギー評価方法が若干異なることを正確に理解して頂きたい。すなわち、平成15年の方法では、食物繊維素材に含まれる食物繊維画分のみについてエネルギー評価をし、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。しかし、平成23年以降のエネルギー評価方法では、これらを含めた素材そのものについての総エネルギー量を示している。

^{*)}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³⁾。したがって、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. 難消化吸収性糖質のエネルギー評価の背景と経緯および目的

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⁴⁾、日本食物繊維学会が中心になって評価・策定した。

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4 kcal/gを乗じ、食物繊維は0 kcal/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4 kcal/gを乗じてエネルギー量としてもよいとしていた。ところが、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4 kcal/gとして取り扱うこととしたために、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の創製が困難にな

問題は中間的な発酵を受ける天然の食物繊維のような食物成分の扱いである。特に、海藻由来のアルギン酸のような食物繊維は、腸内細菌による発酵をきわめて受けにくい。しかし、部分加水分解をして分子量を小さくすると溶解性を増すと同時に発酵性も増大する。また、水溶性食物繊維であってもグルコマンナンのような高分子のものは発酵性が低い。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、その発酵性を明らかにすることが必須条件となる。

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¹²⁾。健康増進法における加工食品の栄養成分表示のエネルギー計算には、このような考え方に基づいて算出された単糖、オリゴ糖、糖アルコールのエネルギー換算係数が用いられている¹³⁾。

5. 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

以上、述べたような問題点を考慮して、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。高分子の食物繊維は他の栄養素の消化吸収を阻害するために、全体としてはエネルギー量を減らすように作用する。しかし、1回に摂取する食物繊維量は少ないので、1日のエネルギー摂取量に及ぼす影響は微々たるものとして、当委員会のエネルギー評価においてはこれを無視することとした。

なお、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^{14, 15)}。また、2010年と2011年に、改良法が AOAC 公定法 2009.01 および 2011.25 として公表されたので^{16, 17)}、これに準じて定量する必要がある。難消化吸収性のオリゴ糖・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¹⁸⁾。エネルギー評価の原則は以下の通りとする¹²⁾。

- ①消化吸収されて代謝される糖質は、4 kcal/g。
- 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。
- ③全く消化吸収されず、腸内細菌によって完全に発酵を受ける糖質は、2 kcal/g。
- ④全く消化吸収されず発酵も受けない糖質(糞便排泄分)は、0 kcal/g。
- 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、天然の食物繊維のような消化吸収されない糖質のエネルギー量はその発酵性によって0 kcal/g, 1 kcal/g

および2 kcal/gのいずれかに振り分ける。また、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も影響されるが、1回の摂取量はせいぜい数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、無視することとした。以上の考えに基づいた評価手順を整理すると図2のようになる。

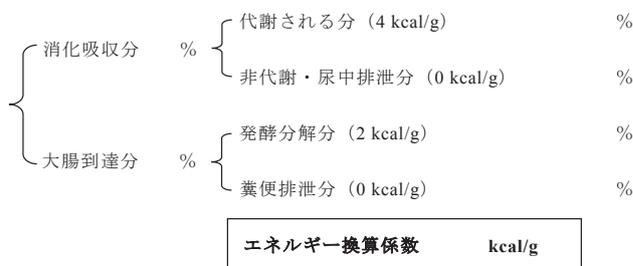


図2 ルミナコイド素材エネルギー評価にあたっての成分の区分け

6. ルミナコイド素材のエネルギー評価の対象成分について

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、部分加水分解したもの、デンプン、デキストリン、その分解物、ブドウ糖など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る。特殊な方法で加工・重合した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なりとも含んだものがほとんどである。このため、食物繊維定量法(AOAC 2001.03)である酵素-重量法では¹⁶⁾、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¹⁷⁾。

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関しては、消化されない成分のみについてエネルギー評価し、混在する消化吸収性の単糖やオリゴ糖ならびに消化性のタンパク質や脂質はエネルギー評価の対象から除外することとし、評価しなかった。これらの成分は食品成分分析において、消化吸収性の糖質・脂質・タンパク質として定量されるからである。しかし、このことを理解している人は非常に少なく、一覧表に示された数値を鵜呑みにする者が少なくなかった。表記法が明確でなかったために第3者に誤解されやすいことも事実であった。

一方、近年、開発が盛んである希少糖については、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。このことを配慮して、今回を含めた第1回目以降のエネルギー評価においては、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、素材そ

のものについての総エネルギー量を算定することとした^{19,20)}。このため、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基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方法では、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。

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の発酵性を明らかにする必要がある。これらは評価資料に必須な測定項目である。ルミナコイド素材には腸内細菌に発酵を受けやすいものと、ゆっくり発酵されるものがあるので呼気採取時間によって評価結果が異なる²¹⁾。それゆえ、呼気採取は試験物質摂取後、14時間以上実施する必要がある。発酵性はその難消化吸収性糖質から生成される短鎖脂肪酸量を推算する根拠となるからである。また、吸収されて代謝されずにそのまま尿中へ排泄される単糖については、その排泄率を測定する必要がある。例えば、組成が複雑な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^{8,22)}。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。

7. 1,5-アンヒドログルシトールのエネルギー評価結果

今回のエネルギー評価においては、評価希望のあったルミナコイド素材（難消化吸収性糖質）2種類のうち、評価に必要な資料が整っていると判断された1素材を対象として評価作業を行った。経口摂取した1,5-アンヒドログルシトールは大部分が小腸から速やかに吸収され、代謝されず

にそのまま尿へ排泄され、腸内細菌によってもほとんど発酵されない。それゆえ、エネルギー換算係数は0 kcal/gとなった（表1）。

8. おわりに

本稿では、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経緯を示すと共に、日本食物繊維学会に常置の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評価方法を紹介し、その評価方法に従ってルミナコイド1素材のエネルギー評価をした。現在までに、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合計12品目になる。これまでに評価した素材とエネルギー換算係数をまとめたものが表2である。今後もエネルギー評価を希望する素材が出てくればルミナコイド素材エネルギー評価検討委員会は速やかに対応する。なお、評価結果は今後も消費者庁へ報告し、食品表示制度に活用するよう要望して行く所存である。

表2 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	D-プシコース	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	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	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	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	1,5-アンヒドログルシトール	0	(株)サナス

表1 1,5-アンヒドログルシトールのエネルギー評価結果

素材名	消化吸収 (%)	代謝 (%)	尿中排泄 (%)	未吸収 (%)	発酵 (%)	糞排泄 (%)	エネルギー計算値 (kcal/g)
1,5-アンヒドログルシトール	100	0	100	0	0	0	0

9. 引用文献

- 1) 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.
- 2) 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 (2016) ルミナコイド素材のエネルギー評価の考え方と難消化性グルカン, 難消化性グルカン組成物ならびに還元難消化性グルカン組成物のエネルギー評価結果. ルミナコイド研究 20: 103-107.
- 3) 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語の提案まで. 日本食物繊維学会誌 7: 39-49.
- 4) 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.
- 5) 科学技術庁資源調査会 (1982) 四訂日本食品標準成分表.
- 6) 科学技術庁資源調査会 (2000) 五訂日本食品標準成分表.
- 7) Oku T, Nakamura S (2002) Digestion, absorption, fermentation, and metabolism of functional sugar substitutes and their available energy. *Pure Appl Chem* 74: 1253-1261.
- 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) 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.
- 13) 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* 54: 143-150.
- 14) Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, DeVeries 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.
- 15) AOAC Official Methods in Official Methods of Analysis of AOAC International 17th ED., AOAC International, Gaithersburg (2000).
- 16) McCleary BV, DeVries JW, Rader JI, Cohen G, Prosky L, Mugford DC, Champ M, Okuma K (2010) Determination of total dietary fiber (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *JAOAC Int* 93: 221-33.
- 17) 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: 824-44.
- 18) Okuma K, Matsuda I, Katta Y, Tsuji K (2000) New method for determining total dietary fiber by liquid chromatography. *JAOAC Int* 83: 1013-1019.
- 19) 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方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.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) Figdor SK, Bianchine JR (1983) Caloric utilization and disposition of [¹⁴C]-polydextrose in man. *J Agric Food Chem* 31: 389-393.

(平成 30 年 2 月 28 日, 常務理事会承認)