



目的に応じた食物繊維分析法の選択

はじめに

食物繊維は、多くの生理的効果が報告され、注目されてきた栄養成分のひとつです。主な生理的効果には、便秘の予防をはじめとする整腸効果だけでなく、血糖値上昇の抑制、血液中のコレステロール濃度の低下などが挙げられます。また、食物繊維素材の開発も活発であり、種々の食物繊維素材は特定保健用食品の関与成分および機能性表示食品制度の機能性関与成分として許可、受理されています。その注目の高さ故に、「食品表示法（平成 25 年法律第 70 号）第 4 条第 1 項の規定に基づく食品表示基準（平成 27 年 3 月 20 日内閣府令第 10 号）」（以下、食品表示基準）では、食物繊維は表示推奨項目となっています。また、国際的な動向としては、難消化性でん粉であるレジスタントスターチ（以下、RS）が注目され、国内ではその分析法の一つである AOAC2011.25 法が日本食品標準成分表（以下、成分表）において導入され、さらに令和 4 年 8 月 30 日の食品表示基準について（消食表第 139 号）の改正で、従来の酵素-重量法および酵素-HPLC 法に加え、酵素-HPLC 法 2 が追加されました。一方、食物繊維は単一の物質ではなく、定義に基づき定められた物質の総称であるため、その分析法と定義は密接な関係にあります。本稿では、「目的に応じた食物繊維分析法の選択」と題し、定義および分析法の解説とともにご紹介させていただきます。

食物繊維の定義

初めて国際的に広く受け入れられた食物繊維の定義は、Trowell らが 1976 年に提唱した「ヒトの消化管酵素によって加水分解されない食物の多糖類とリグニン」¹⁾です。その後、議論が重ねられ、現在は、国際連合食糧農業機関 (FAO) と世界保健機関 (WHO) により設立された国際食品規格委員会 (Codex Alimentarius Commission (CAC)) において、2009 年に「食物繊維とは、人間の消化管に内在する酵素で加水分解されない、以下の 3 つの分類に属する、10 又はそれ以上の単量体からなる炭水化物の重合体である」²⁾と定義付けられました。その 3 つの分類とは、①天然に存在する可食性食物の炭水化物重合体、②食品原料から物理的、酵素的又は化学的手段により得られた炭水化物重合体、③合成された炭水化物重合体です。②および③は、科学的根拠により実証された健康への生理学的な効果を有することを示すことが前提となっています。また、3 から 9 の単量体からなる炭水化物を含めるかどうかの判断は、各国の判断に委ねられています。

国内では、1980 年に桐山が提唱した「ヒトの消化酵素では消化されない食品中の難消化性成分の総体」という定義が広く使用されています。一方、2020 年に成分表（八訂）が公表されるまでは、成分表と食品表示基準では採用されている分析法の違いにより、CAC で各国の判断に委ねられた 3 から 9 の単量体からなる炭水化物の取り扱いが異なる状況でした。しかし、現在は、成分表（八訂）の公表により、食品表示基準および成分表のどちらにおいても、3 から 9 の単量体からなる炭水化物は食物繊維に含めると定義されています。

食物繊維の分類と分析法

食物繊維は、水に不溶な不溶性食物繊維（以下、IDF）および水に可溶性水溶性食物繊維（以下、SDF）に分けられます。さらに、SDFは78%エタノールで沈殿を生じる高分子水溶性食物繊維（以下、SDFP）および78%エタノールにも可溶である低分子水溶性食物繊維（以下、SDFS）に分けられます。各々の画分に属する物質名の一例を表-1に示しました。

表-1 食物繊維の画分と各々の画分に属する物質名

食物繊維の画分		各々の画分に属する物質名
不溶性食物繊維 (IDF)		<ul style="list-style-type: none"> セルロース, ヘミセルロース, リグニン 寒天(海藻) 難消化性でん粉
水溶性食物繊維 (SDF)	高分子水溶性食物繊維 (SDFP)	<ul style="list-style-type: none"> ペクチン(野菜・果実) グアガム(グアー豆) アルギン酸, フコイダン(海藻) グルコマンナン(こんにゃく芋) β-グルカン(きのこ・酵母)
	低分子水溶性食物繊維 (SDFS)	<ul style="list-style-type: none"> 難消化性デキストリン イソマルトデキストリン イヌリン

基本的な食物繊維の分析法は、次の通りです。①消化酵素で酵素分解を行う。②消化液中の不溶性成分およびエタノール沈殿物をろ過して回収する。③不溶性成分および沈殿物の質量を測定し、たんぱく質および灰分を差し引く。④②のろ液中の3糖(マルトトリオース)以上の画分の合算値を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で内標準物質との比較により定量する。①～③で得られる画分がIDFおよびSDFPで、④の画分がSDFSです。

上記をまとめた食物繊維分析法の工程を図-1に示しました。

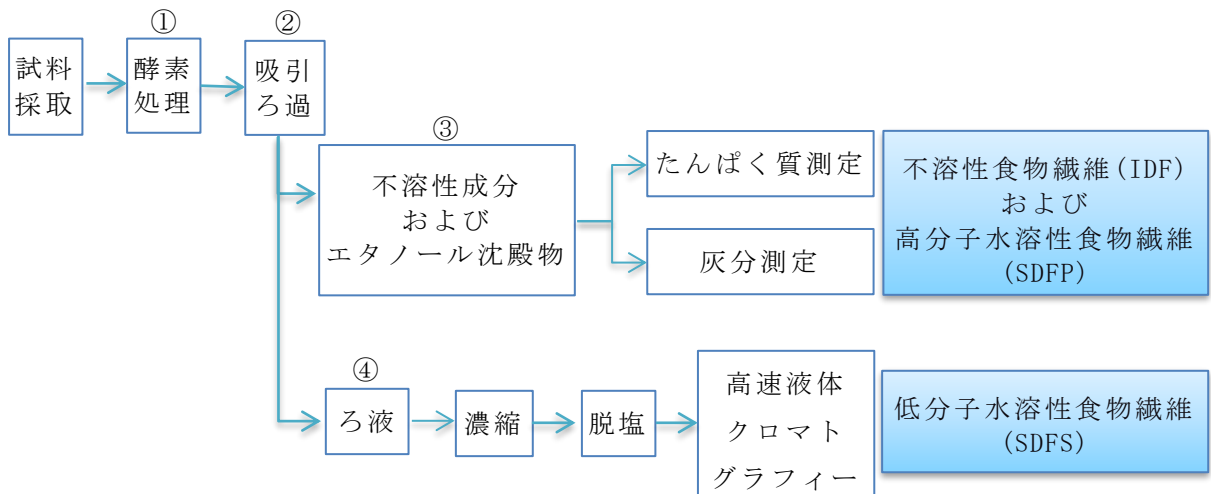


図-1 食物繊維分析法の工程

目的に応じた分析法の選択

国内で用いられる主な食物繊維の分析法は、食品表示基準の「別添 栄養成分等の分析方法等」および成分表の「2020年版(八訂)分析マニュアル(令和4年2月)」に記載されています。食品表示基準及び成分表の分析法、測定できる食物繊維画分、各分析法に対応するAOAC法およびRSの測定可否についてまとめたものを表-2に示しました。

表-2 日本で採用されている食物繊維の主な分析法と測定範囲

目的	食品表示基準			成分表	
分析法名	酵素-重量法	酵素-HPLC法1	酵素-HPLC法2	プロスキー変法	AOAC 2011.25法
対応するAOAC法	985.29 991.43 (メストリス法)	2001.03	2011.25	991.42 993.19	2011.25
測定対象画分	IDF + SDFP	IDF + SDFP	IDF SDFP	IDF SDFP	IDF SDFP
		SDFS	SDFS		SDFS
RS*の測定可否	RS1,2を測定できない (RS3,4は測定対象)		RS1~4まで 測定対象	RS1,2を 測定できない (RS3,4は 測定対象)	RS1~4まで 測定対象

- *) RS1: 物理的に消化酵素が接触しにくいでん粉(穀類, 豆類など)
- RS2: 生でん粉(生のじゃがいも, 未熟なバナナなど)
- RS3: 老化でん粉(一度糊化したでん粉が再結晶したもの)
- RS4: 加工でん粉(リン酸架橋でん粉などの化学修飾されたもの)

分析法を選択する際、まずは目的やデータの利用方法の整理が必要です。食品表示が目的であれば、食品表示基準の分析法の中から選択し、成分表収載値との比較が目的であれば、成分表の分析法の中から選択します。

続いて、食品の種類や原材料に応じて、絞り込んでいきます。食品表示基準は、酵素-重量法、酵素-HPLC法1および酵素-HPLC法2の3方法があります。酵素-重量法および酵素-HPLC法1は、IDFとSDFPは分別することは出来ず、合算の値となります。この2つの分析法の違いは、SDFSを測定対象とするか否かです。キクイモ、ラッキョウ、ゴボウなど天然由来のイヌリンを多く含む食品や、低分子水溶性食物繊維の素材を添加している食品は、酵素-HPLC法1を選択すると、より多くの食物繊維を測定することができます。しかし、どちらの分析法もRSを全て測定することはできません。RSを多く含む食品や添加している食品の場合は、酵素-HPLC法2を選択すると、RSを全て測定できるとされています。また、IDFとSDFPを分別して定量し、且つ、SDFSを測定対象としています。

成分表においては、七訂(追補2017年)まで採用されていたプロスキー変法と七訂(追補2018年)から八訂にかけて追加されたAOAC 2011.25法の2方法があります。どちらの分析

法も IDF と SDFP を分別して定量することが可能であり、SDFS を含む食品、あるいは、SDFS を測定対象とするか否かにより分析法を選択します。また、プロスキー変法は RS を測定対象としないため RS を多く含む食品(穀類、いも・でん粉類、豆類、未熟バナナなど)は、AOAC2011.25 法の選択が望ましいと言えます。

分析法による RS の定量性の違いは、分析中の酵素反応温度の違いがもたらす結果です。RS1 および RS2 を測定できない分析法では、試料を沸騰水浴中で耐熱性 α -アミラーゼを用いて酵素反応を行います。RS1 および RS2 は熱に不安定であるため、本来生体内では難消化性の性質を有する RS の一部が強制的に糊化され分解されることによって、食物繊維として評価されません。一方で、AOAC2011.25 法では酵素反応温度が 37℃と、生体内と同様の温度条件で α -アミラーゼおよびアミログルコシダーゼの酵素処理を 16 時間行うことで、RS 全ての定量を可能としています。しかしながら、AOAC 2011.25 法にも、RS4 の一種である化学修飾されたリン酸架橋でん粉などが正しく定量できない等の問題もあると報告されています³⁾。

このように分析法によって定量できる食物繊維画分や RS が異なります。食品中の食物繊維含有量を正しく測定するために、上述の情報をもとに、目的や食品の種類に応じた分析法を選択することが重要です。

おわりに

食物繊維は、近年の健康志向の高まりにより注視され続ける栄養成分であり、食品中の食物繊維含量を正しく測定することは非常に重要です。一方で、食物繊維は定義に基づき分析をし、定量される成分であるため、食物繊維含量を測定するには、目的に応じた分析法を選択することが重要です。分析法の選択にお困りでしたら、弊財団のホームページもご参考にさせていただきます。また、食物繊維素材のうち特定保健用食品の関与成分として数多く許可されている「難消化性デキストリン」の概略および分析例については、JFRL ニュース Vol.5 No.17 Feb. 2016 にてご紹介していますので、ぜひご覧ください。

昨今、食物繊維の分析法はさらなる開発が進められており、私たちは分析試験を通じてお客様に貢献できますよう、情報およびデータの収集、技術の習得を行っています⁴⁾。食物繊維に関する疑問等ございましたら、お気軽にお問い合わせください。

参考資料

- 1) H. C. Trowell, D. A. T. Southgate, T. M. S. Wolever, et al. Lancet, 1, 967(1976)
- 2) Codex Alimentarius Commission (2013) Guidelines on Nutrition Labelling. CAC/GL2-1985
- 3) Barry V. McCleary, Naomi Sloane and Anna Draga. Determination of total dietary fibre and available carbohydrates: A rapid integrated procedure that simulates in vivo digestion. Starch/Stärke 2015, 67, 860-883.
- 4) 吉田幹彦, 奥村雅人, 渕上賢一, 中里孝史, 五十嵐友二, 安井明美(2019)日本食品成分表のための新しい食物繊維測定法の検証. 日本食品科学工学会誌 66(6):187-194