

結合様式の異なるフルクトオリゴ糖・フルクタン

上野 敬司

近年、ヒトの健康と腸内細菌との関わりについての研究が進み、腸内環境の改善に役立つ微生物であるプロバイオティクスや腸内の有用な微生物の栄養源であるプレバイオティクスのさらなる研究はますます進展すると考えられる。代表的なプレバイオティクスであるフルクトオリゴ糖 (FOS) はスクロースにフルクトースが数分子結合したオリゴ糖で、さらにフルクトースが多数結合した多糖はフルクタンと呼ばれ、代表的なものにイヌリンがある。これらは乳酸菌やビフィズス菌などの腸内細菌に利用され、腸管で乳酸や酢酸、酪酸などの有機酸に変換される。このことにより腸内環境が変化し、腸管上皮が刺激されることで、整腸作用を代表としたさまざまな生体調節作用が発揮される¹⁾。FOSは主に微生物由来の β -fructofuranosidaseを利用してスクロースを原料として工業的に生産されている。 β -Fructofuranosidaseはいわゆるinvertaseでスクロースをグルコースとフルクトースに分解する酵素であるが高スクロース濃度において、スクロースのフルクトース分子をもう一分子のスクロースのフルクトースに転移し、オリゴ糖を生成する。この転移反応により主に1-kestose, nystose, fructosyl-nystoseの三~五糖類の混合物が生成される¹⁾。このうち1-kestoseは腸内有用菌であるビフィズス菌に利用されやすいことから1-kestoseのみの効率的な生産が検討されている²⁾。またイヌリンについては、植物から抽出したものおよびそれを部分水解し、重合度を調節したものが市販されてきたが、最近では、スクロースからイヌリンを合成する微生物酵素を利用して、重合度の異なるイヌリンも食品素材として生産されるようになってきている³⁾。現在、食品素材として利用されているFOS、フルクタンは主にフルクトース鎖が β -(2 \rightarrow 1)-結合で形成される直鎖状のイヌリン型フルク

タンであるが、この他にもスクロースのグルコース分子にフルクトース分子が結合し、さらにそのフルクトースから β -(2 \rightarrow 1)-結合で鎖長が伸長したイヌリンネオ型フルクタンや、 β -(2 \rightarrow 1)-結合と β -(2 \rightarrow 6)-結合で鎖長が伸長したグラミナン型フルクタン (図1) などの枝分かれを有したフルクタンがユリ科やイネ科植物に存在する。たとえば、テキーラの原材料に使われるアガベ (リュウゼツラン) のフルクタンは β -(2 \rightarrow 1)-結合だけでなく、 β -(2 \rightarrow 6)-結合を有し、複雑な枝分かれ構造を有するイヌリンネオ型フルクタンで、直鎖状のフルクタンよりも溶解性が高く、プレバイオティクスとしての機能が報告されており、新たな食品素材として利用されている⁴⁾。このアガベ由来のフルクタンの基本骨格である三糖類はネオケストース (図1) と呼ばれる。ネオケストースはいくつかの研究で、1-kestoseと同様にプレバイオティクス機能を有し、1-kestoseより安定性が高いことが推察されているが、この合成については、植物由来のfructosyltransferaseを利用したものや酵母由来の β -fructofuranosidaseを利用したものが報告されている程度であり、工業生産に適した微生物酵素が知られていなかった。近年、有力な微生物酵素として、*Xanthophyllomyces dendrorhous* 由来の β -fructofuranosidaseがあり、基質特異性や立体構造が報告されている⁵⁾。この β -fructofuranosidaseは他由来の酵素とは異なり、スクロースや1-kestoseのグルコースの6位炭素の水酸基にフルクトースを転移する活性が高く、ネオケストースやネオニストースの生成率が高い酵素である。また、この酵素はいくつかの二糖類にフルクトースを転移することができる酵素であり、この酵素の転移位置の特異性の高さからこれまで合成の難しかったオリゴ糖を合成することもできる⁵⁾。

このように、フルクタンは、結合様式と重合度からさまざまな構造を有するフルクトースの重合体の総称である。これまでFOSやイヌリンのさまざまな生体調節作用が多く報告されてきたが、上述した結合様式の異なる構造のフルクタンにおいてもヒトの健康にどのように影響するのか興味のあるところであり、今後の進展に期待したい。

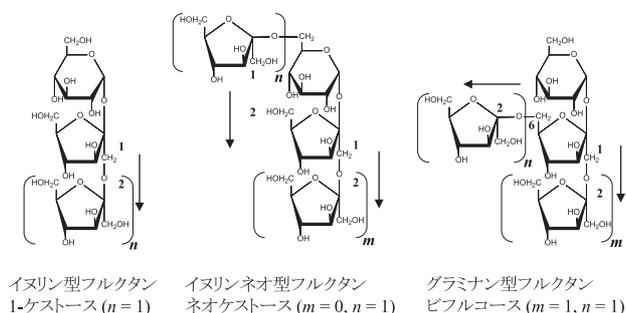


図1. 各種のフルクタンの構造。矢印はフルクトース鎖の伸長方向を示す。イヌリンネオ型フルクタンはグルコースを中心にして2本の β -(2 \rightarrow 1)-結合したフルクトース鎖を持つ。グラミナン型フルクタンは β -(2 \rightarrow 1)-結合、 β -(2 \rightarrow 6)-結合のフルクトース鎖を持つ複合型である。

- 1) 古賀仁一郎：食品と容器, **51**, 724 (2010).
- 2) 中村早岐ら：日本生物工学会大会要旨集, 3P-073 (2014).
- 3) 和田 正：バイオサイエンスとインダストリー, **62**, 27 (2004).
- 4) Ramnani, P. et al.: *J. Nutr. Sci.*, **4**, e10 (2015).
- 5) Ramírez-Escudero, M. et al.: *J. Biol. Chem.*, **291**, 6843 (2016).