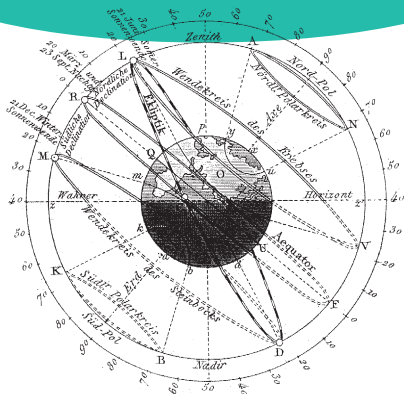


【解説】



酵素法により製造された イヌリンと低脂肪食品への利用

和田 正, 田中彰裕

筆者らは、スクロースをイヌリンに変換する酵素生産細菌 *Bacillus* sp. 217C-11 株を見いだすことに成功した。この酵素は、イヌロスクラーゼに分類される新規な糖転移酵素であることが明らかになった。また、酵素の反応条件を任意に選択することによって合成されるイヌリンの平均鎖長を制御できることもわかった。こうして作られたイヌリンは、植物由来のイヌリンに比べて水溶性が高く、食品加工特性に優れたものであった。近年では、脂肪に似た食感のゲルを形成する性質を利用して、油脂含有食品の低脂肪化のための素材としての利用が拡大している。

はじめに

イヌリンはチコリの根やキクイモの塊茎に豊富に見いだされる貯蔵多糖であり、難消化性の水溶性食物繊維として知られている。イヌリンの自然界における分布は広く、穀物（小麦、大麦）、野菜（タマネギ、ニラ、ニンニク、ゴボウ）、など身近な食品に含まれている⁽¹⁾。われわれ人間が、古くからそれと知らずに食してきた食品

成分の一つである。欧米では、チコリから工業生産されたものが日常の食材として流通しており、イヌリンについての研究例も多い。

イヌリンの分子構造は、スクロースのフラクトース残基にフラクトース1~60分子が $\beta(2,1)$ 結合で直鎖状に結合したものである(図1)。その鎖長には広い分散性があり、鎖長の異なるものの集合体となっているが、鎖長分布は植物種や植物のライフサイクルによって異なる。

イヌリンはヒトの消化管で直接的に代謝されず、低エネルギーの食品素材としての利用が可能である。また、腸内の *Bifidobacteria* の増殖を選択的に促進させ、排便量の増加だけではなく、より健全な腸内菌叢を形成する。さらにカルシウムやマグネシウムの吸収を良くし、骨への保健効果や血中の中性脂肪を低減させる効果などが知られている。イヌリンは、食物繊維としての機能のほかに食品加工用素材としての機能もあるため、その両面から興味をもたれている。特にイヌリンは高濃度で水に溶解させると脂肪に似た食感を有する白色のゲルになる性質があり、油脂含有食品における脂肪摂取の制限された食品用途のための脂肪代替素材として期待がもたれ

Characterization of Inulin Enzymatically Synthesized from Sucrose and Its Application to Low-fat Food.
Tadashi WADA, Akihiro TANAKA, フジ日本精糖株式会社

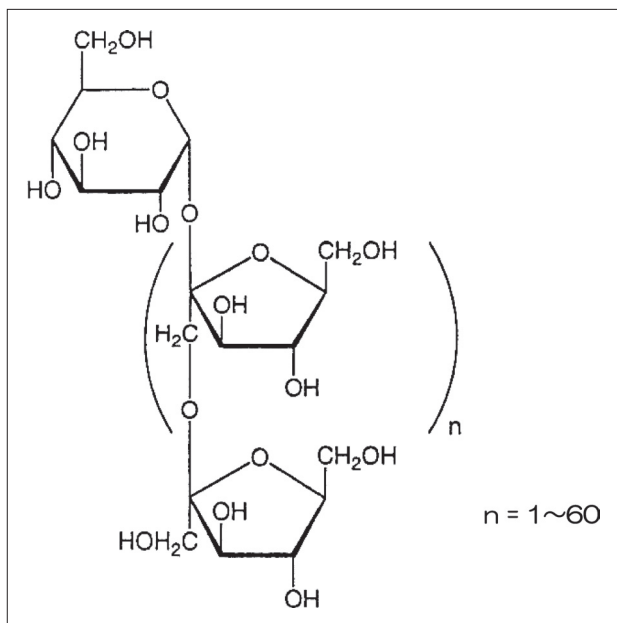


図1 ■ イヌリンの構造

ている。

筆者らは、スクロースを有用物質に変換する微生物のスクリーニングを長年続けてきたが、そのなかでスクロースをイヌリンに変換する酵素生産細菌 *Bacillus* sp. 217C-11 株を見いだすことに成功した。この酵素の精製を行い、諸性質の解明を行った結果、イヌロスクラーゼに分類される新規な糖転移酵素であることを明らかにした。さらにこの酵素を使用し、スクロースからイヌリンを工業生産するための検討も行い、合成されるイヌリンの平均鎖長を任意に制御できることもわかった。こうした技術によって作られたイヌリンは、植物由来のイヌリンに比べて品質が安定しており、ロットによる差が少ないこと、さらに水溶解性が高いといった使いやすさから食品産業を中心とした利用が進められている。本稿では、酵素を利用して作られたイヌリンの物性や生理機能、そして低脂肪食品への利用について述べる。

スクロースからイヌリンを生産する酵素の発見

筆者らは今から十数年ほど前、マルトースからトレハロースを酵素で生産する方法について検討を行っていた。当時は現在の林原(株)の酵素法はまだ知られておらず、村尾澤夫が大阪府立大学在職時に開発したマルトースホスホリラーゼとトレハロースホスホリラーゼを組み合わせる方法を実生産に応用すべく、さらに能力の高い微生物のスクリーニングを行うなど改良検討を行っていた。そのようななか、林原(株)のデンプンを原料とした

トレハロース製法特許が公開となり、大きな障壁となって立ちはだかった。トレハロースを生産するための彼らの原料はデンプンであり、これは筆者らが原料として用いていたマルトースの原料であった。これでは勝負にならないと考え、筆者らは自社で製造している砂糖を原料としてトレハロースを生産する酵素がないかどうかスクリーニングを行った。全国各地より採取された土壤の懸濁液を、スクロースを含んだ寒天培地に塗抹し、生育した菌を一つひとつ液体培養し、得られた培養液を高濃度のスクロース溶液に作用させ、TLCによって産物の分析を行った。自然界からのスクリーニング試料も6,000種にさしかかった折、スクロースを基質として反応させた培養液のTLCクロマトグラムにおいて、トレハロースではない部分に何かわからないスポットが出現しているのを発見した。そのときのテーマはすでにスクロースから有用物質に変換されるものすべてを調べるという状況にあったため、この物質の同定を進めることとなった。原点に濃厚に発色を呈するスポットであり、分子量的にはかなり大きなものであると推測していたが、イヌリナーゼによる処理でこのスポットが完全に消失したことからイヌリンであることを突き止めた。スクロースをイヌリンに変換する酵素を生産する菌は、同定試験の結果 *Bacillus* に属する細菌であることがわかり、*Bacillus* sp. 217C-11 株と命名された。この発見により筆者らはイヌリンの生産技術検討に方向転換することになった。当時スクロースからイヌリンを酵素で実製造しているところは世界のどこにもなく、筆者らは世界各国に国際特許を出願している。

イヌリン合成酵素について

1. イヌリン合成反応

本菌由来のイヌリン合成酵素をスクロース溶液に作用させ、37℃での反応経時変化を調べた結果、スクロースの減少に伴ってほぼ等量のイヌリンとグルコースの生成が認められた。また、フラクトースの遊離はほとんど認められず、副反応も生じていないものと推察された。スクロースからイヌリンへの合成反応はイヌリン組成が約45%で平衡に達した。反応産物中の低分子糖類を逆浸透膜で除去した後、エタノール沈殿を繰り返し、HPLC的に均一に精製した試料をNMRで分析した結果、反応産物はイヌリンであることが確かめられた⁽²⁾。

2. 反応産物の鎖長

単離されたイヌリンの分子量分布についてもイオンク

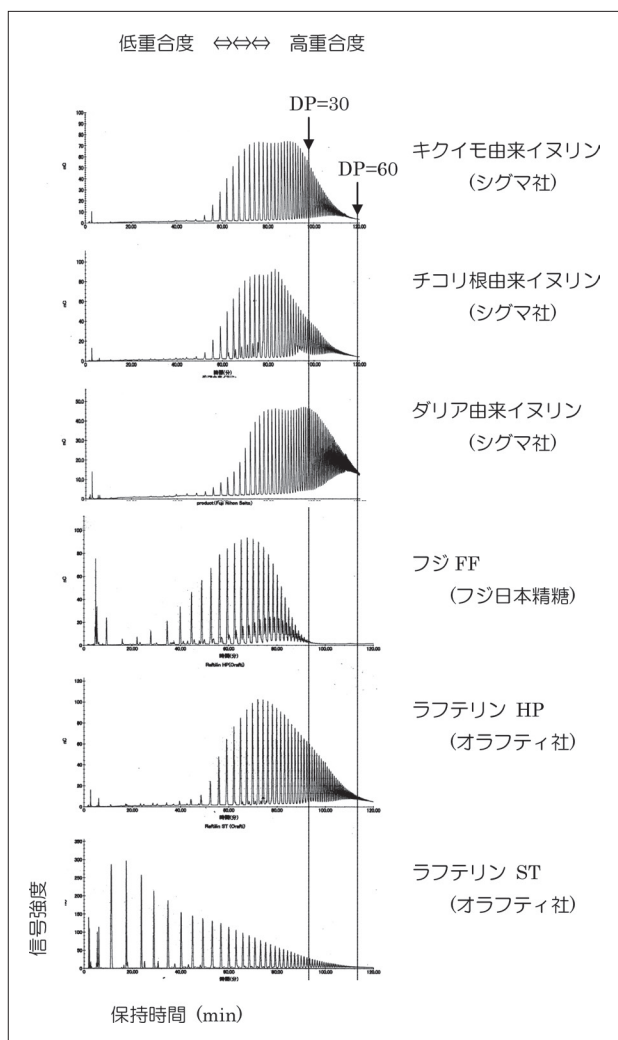


図2 ■ フジFFと植物由来のイヌリンとの鎖長分散性の違い

ロマト (Dionex 社製) で調べたところ、重合度が16付近にピークを有する重合度10~25のミクスチャーであることがわかった (図2)。植物由来のイヌリンは重合度が10~60とかなり分布が広がっているため、それに比べると本酵素を使用して調製したイヌリンは分子量の分散度が低く、鎖長が比較的そろったものの集合体と言える。

3. 新規な Inulin-producing enzyme (IPE)

現在までに考えられているスクロースからイヌリンの生合成系は、2つの異なるフラクトシルトランスフェラーゼ、すなわちスクロース-スクロース-フラクトシルトランスフェラーゼ (SST; EC 2.4.1.99) と、フラクタン-フラクタン-フラクトシルトランスフェラーゼ (FFT; EC 2.4.1.100) の共同作用によるものとされている。最初のステップではSSTにより、2分子のスクロース

から3糖であるケストースが生成され、1分子のグルコースが遊離する。2番目のステップではFFTが重合度3以上のフラクタン同士での転移反応を触媒してイヌリンを生成するというものである。筆者らの今回発見したIPEは、SDS-PAGEとゲルろ過クロマトグラフィの結果から、一つのタンパク質分子であり、さらにケストースに対する反応性が極めて悪く、スクロースから直接イヌリンを生成させた。また、本酵素のN末端アミノ酸配列解析の結果、新規な配列であることがわかった。

以前には、スクロースからイヌリンを生成する反応は、一つの酵素タンパク質が触媒すると考えられており、イヌロスクラーゼ (EC 2.4.1.9) と呼ばれていたが、後になってこの酵素にはSSTとFFTの2つの酵素が共存していることがわかり、それ以降それぞれの酵素にEC番号が付与されるようになり、区別されている。そのため、イヌロスクラーゼという名称と定義は残されているため、今回筆者らの発見した酵素は、イヌロスクラーゼに分類される新規な糖転移酵素であると考えられた。

鎖長制御方法

1. 原料濃度と反応温度によるイヌリン鎖長の調節

スクロース濃度を20~60%に調製した原料液にIPEを加えて15~50℃、48時間反応後生成したイヌリンの平均重合度を調べた。その結果、いずれの反応温度の場合とも生成イヌリンの平均鎖長は原料スクロース濃度が低くなるにつれて高くなった。また、原料スクロースの濃度が同じ場合、反応温度が高くなるにつれて生成イヌリンの平均重合度は高まることが確認された。スクロース濃度の上昇による溶液粘度の上昇、温度の上昇による溶液粘度の低下が酵素の反応性に関与しているのかもしれない。

2. 原料の追添加によるイヌリン鎖長の調節

50%に調製した原料液にIPEを加えて60℃で反応を行い、スクロースの消費が平衡に達した段階で初発原料液の半量の原料を追添加し反応を継続した。この操作を何度か繰り返し、生成イヌリンの平均鎖長を測定した。スクロースの追添加回数が増えるにつれイヌリン鎖長の伸長は続き、4回の追添加でイヌリンの平均重合度は23に達した。さらに原料の追加をすることにより平均重合度は30にも達するようになった。しかし、そのような状態ではイヌリンは反応中に不溶化し、白濁して精製工程が煩雑化するため、実際的には平均鎖長が20を切るも

のを商品化している。

以上のように、筆者らの発見した新しい糖転移酵素は反応因子を適宜変化させることによって、任意の平均鎖長を有するイヌリンを人為的にスクロースから合成できるものであった。技術的には平均鎖長が6～30までは生産可能であり、その平均鎖長によってイヌリンの物性が少しずつ異なっているため、チョコレートなどから得られる植物由来のイヌリンに比べて利用範囲は広がることが予想される。

酵素合成イヌリンの製品化

筆者らの開発したイヌリンは、フジ・フラクトファイバー（以下フジFFと略記）という商品名で販売されている。フジFFは、精製した砂糖製品が原料であり、殺菌した砂糖溶液に糖転移酵素を加え、砂糖からイヌリンの合成反応を行う。反応後、酵素を熱変性させたのち活性炭を加えて脱色し、夾雑する低分子糖類は逆浸透膜により除去し、イオン交換樹脂による脱塩、ろ過による異物除去および除菌工程を経て噴霧乾燥して得られる。フジFFは、重合度が16付近の中鎖イヌリンであるが、そのほかにも重合度8付近の短鎖イヌリン（フジFF-SC）も製品としてラインナップしており、その性質の違いから用途に合わせた利用が可能となっている。

イヌリンの分析方法

フジFFは、ULTRON PS-80N カラム（信和化工（株）製）などのHPLCカラムを用いて分析が可能であるが、食品中のイヌリン含量の測定を行う公的な方法としては、AOAC 999.03法（酵素-比色法）が知られている⁽³⁻⁶⁾。この測定試薬はすでにキットとして市販されているのでそれを用いることができるが、食品中の総食物繊維含量を測定する場合は、酵素-液クロ法によって求められる水溶性食物繊維含量に従来のプロスキー法によって測定される不溶性食物繊維含量を加算したものを総食物繊維含量とする必要がある⁽⁷⁾。

酵素合成イヌリンの性質

1. 溶解度

フジFFの溶解度を図3に示す。フジFFは多糖類ではあるが、水に対して高い溶解性を示し、25℃の水に20%、70℃では40%の水溶性を有する。比較のため、チョコレート由来のラフテリンST（平均鎖長=10、オラフティ

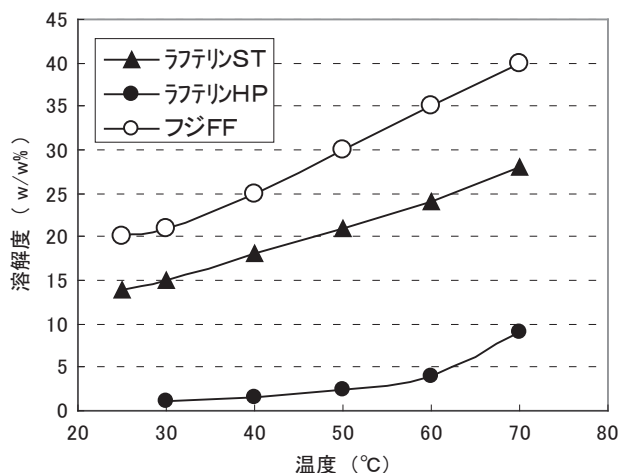


図3 ■ フジFFの溶解度

ラフテリンST：短鎖のチョコレート由来イヌリン（DP=12）。ラフテリンHP：長鎖のチョコレート由来イヌリン（DP=23）

社）とラフテリンHP（平均鎖長=23、オラフティ社）の溶解性についても図2に示したが、フジFFは30糖以上のイヌリンを含まないのに対して、チョコレート由来のイヌリンの場合は、鎖長分布が60糖にまで及んでおり、大きな分子の存在が溶解性に影響を及ぼしているものと推察される。植物由来のイヌリンは、室温や冷蔵条件下で溶けにくいに対してフジFFの溶解性は非常に高く、食品加工の際に不溶化して濁りを与えたり、ざらつきを生じさせたりするような不都合が起きにくいという利点がある。

2. 粘度

フジFFには、キサンタンガムやグァーガムなどの増粘多糖類に見られるような粘性はほとんど認められず、20%溶液の25℃における粘度はグラニュー糖とほぼ同程度であり、低温下でも流動性が必要な食品の加工素材に利用可能と考えられる。

3. メイラード反応（褐変性）

フジFFは、非還元性の糖質であり、メイラード反応を起こしにくい素材である。pH 3～8において0.2%グリシン存在下で100℃、90分間加熱したところ、フジFFには着色がほとんど認められなかった。

4. 各pHにおける熱安定性

フジFFの安定性はpHと温度によって変化する。各pHに調整した10%フジFF水溶液をそれぞれの温度で15分間処理した後の残存率を求めた結果、pH 4以上では120℃での加熱に対しても抵抗性を示したが、pH 3に

なると、80℃、15分で10%の分解が認められた。しかしながら、60℃以下では成分の分解はあまり認められなかった。

5. 氷点降下

30%濃度でのフジFFの氷点降下は、-1℃であり、グラニュー糖や異性化糖の場合の-5℃と比べて小さい。そのため、冷菓などに使用した場合には凍りやすく、溶け出しも遅くさせることができる。

6. 保水性および吸湿性

フジFF粉末を一定湿度のデシケータ内に入れ、それを25℃の恒温室内で保存したときの重量変化を調べた結果、相対湿度6.5%では、およそ1カ月間での重量比が1%とほとんど変化は見られなかったが、相対湿度63.5%および100%では4～8日間で大幅に重量が増加しており、環境の湿度が高いほど吸湿性も大きくなることわがわかる。饅頭、調理パンなどは、フジFFの添加により保水性が高まることが確認されている。

7. 食品の味質・食感改善効果

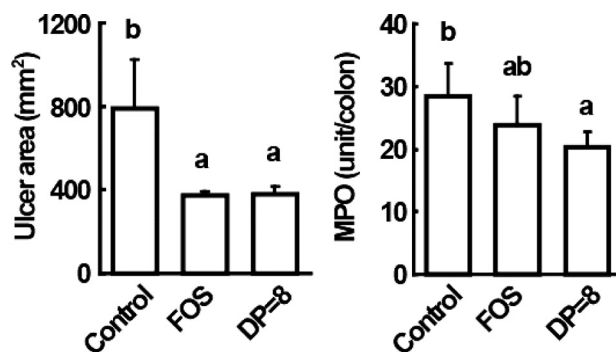
フジFFは、溶解して冷却すると微細結晶を形成し、クリーム状を呈する。その食感が脂肪に似ており、食品に添加した場合には脂肪感やまろやかさを付与することができる。また食品のエグ味や渋みといった嫌味を軽減するマスキング作用もあり、口当たりを良くしたり、味を調えたりする特長がある。

■ イヌリンの生理機能

1. 大腸機能における効果と腸内菌叢改善効果

イヌリンは非常によく研究がなされ、十分に検証がなされたプレバイオティクスである。イヌリンの摂取によって排便の量や回数が増加し、より理想的な方向に改善されたという報告は多く、排便回数はイヌリン摂取によって、ほぼ1日1回に改善されていることが明らかにされている⁽⁸⁻¹¹⁾。新井ら⁽¹²⁾は、フジFFを用い、25名の女子学生(21.4±1.3歳)に対し、11.6 g/dayで2週間摂取させたところ、1週間あたりの排便回数は、6.8回から7.8回に増加し、排便量は28%増加することを報告している。

イヌリンは、ビフィズス菌や乳酸菌のような有益な菌を選択的に増殖させ、バクテロイデス、クロストリディウムのような有害菌の増殖を抑えることがGibsonら^(8,9)によって明らかにされ、Roberfroid⁽¹³⁾らは、これまで



(A) 潰瘍部面積

(B) ミエロペルオキシダーゼ活性

図4 ■ 炎症性大腸疾患の改善効果

トリニトロベンゼンスルホン酸/50%エタノールで大腸疾患を誘発させたラットに、DP=8またはFOS投与10日後の潰瘍部面積およびミエロペルオキシダーゼ活性を測定した。FOS：フラクトオリゴ糖 (DP=4)、DP=8：フジFF短鎖イヌリン

に公表された研究結果をまとめ、イヌリンは8 g/day以上摂取した場合に腸内菌叢の改善効果があると結論づけている。

2. 炎症性大腸疾患の改善効果

森田ら⁽¹⁴⁾は、フジFFの摂取によって大腸内の短鎖脂肪酸やIgA、ムチンの分泌が高まり、炎症部分の面積も減少させる改善効果を明らかにした。重合度が4～23のイヌリンを使用してこの改善効果の差を調べ、最も効果的なイヌリンの重合度が8であることを明らかにした(図4)。イヌリンの摂取により、腸管機能の活性化、免疫応答刺激といった効果も知られている⁽¹⁵⁻¹⁷⁾。

3. ミネラル吸収促進効果

イヌリンは、腸管におけるカルシウム、鉄、マグネシウムの吸収を増加するという動物実験や、カルシウム吸収の増加によって骨量や骨密度が増加するというヒトによる検証が、多くの研究者らによって行われている⁽¹⁸⁻²²⁾。イヌリンは腸内細菌による資化速度が緩やかであるため、大腸内全域で腸内細菌に発酵利用される。それらによって産生される短鎖脂肪酸が大腸内のあらゆる部分で高まり、pH低下、カルシウム溶解性の向上により、吸収効率が高まるというものである。フジFFにおいてもその摂取によって骨重量や骨密度が増加することを動物実験により確認している⁽²³⁾。

4. 脂質代謝の改善効果

ラットにおける投与効果研究から血清トリグリセリドやコレステロールの減少効果を明らかにした参考文献⁽²⁴⁻²⁷⁾は多く、ヒト試験においてもイヌリンに調節機

表1 ■ フジFFを使用した低脂肪食品の配合例

[配合1] 無脂肪ジェラート		[配合2] ピーナッツスプレッド		[配合3] マヨネーズ風ドレッシング	
フジFF	12.0%	フジFF	22.0%	フジFF	30.0%
脱脂乳	73.8%	水	32.5%	食酢	10.5%
砂糖	6.0%	ピーナッツバター	30.0%	卵黄	10.5%
脱脂粉乳	6.0%	砂糖	15.0%	植物油脂	4.0%
水あめ	2.0%	乳化剤	0.5%	食塩	1.3%
乳化剤	0.2%			調味料	0.5%
フレーバー	少量			水	43.2%

能があることが示されている。フジFFも動物実験において、血清および肝臓トリグリセリドの低減、肝臓脂肪の低減について効果を確認しており⁽²⁸⁾、Jacksonら⁽²⁹⁾は血中脂質濃度のやや高い中年層の被験者54名を用い、10 g/dayでイヌリンを8週間と長期にわたって摂取させた結果、血清トリグリセリドについてはコントロールに比べて19%の低減効果が見られたことを報告している。

5. 一過性の食後血糖値上昇抑制効果

イヌリンは、人間の口から摂取された場合、上部消化管での分解・吸収を受けず、直接大腸に到達し血糖に影響を及ぼさないことが報告されている⁽²⁹⁾。また、和田ら⁽²⁸⁾も葛粉にフジFF 12 gを添加した食事で一過性の血糖値の上昇を調べた結果、イヌリン無添加の際に比べ血糖値の上昇を10%抑制する効果を確認している。欧州においては、20世紀の初頭より糖尿病患者のための食品としてその利用が検討されており、パン、パスタ、ジャムなどの利用例が知られている。

フジFFの脂肪代替素材としての食品への利用

フジFFは、無色、無臭の粉末であり、食品に添加した際には、その風味を損なわず、口当たりの良い食感を付与することができる。イヌリンは高濃度で水に溶かした場合、水中で粒子状のゲルを形成する。このゲルは、光沢のある外観を呈し、やや伸びのあるテクスチャーとなめらかな脂肪食感を有するだけでなく、フレーバビリティーも良くする。このゲルは微細結晶の集まりであるが、粒径が1~10 μmと乳脂肪粒子と同程度の大きさであることから脂肪の食感を呈すると考えられている。

イヌリンを40重量%水溶液として冷却し、ゲル状とした際にはエネルギーが80 kcal/g、食物繊維含量が36 g/100 gとなり、油脂の代替として利用した際には食品のカロリーを大きく低減し、食物繊維含量を増加する

といった効果が期待される。

テーブルスプレッドのように水と脂肪が混ざったようなものの場合、イヌリンはかなりの量の脂肪と置き換えることができ、エマルジョンを安定化させる。また、バター様レシピや酪農産物ベースのスプレッドにも低脂肪化のために使われる。イヌリンはまたフローズンデザートにも脂肪代替のために使用されるが、フレーバーを保持させつつ凍結融解に対する安定性を与えるだけでなく、脂肪の食感を与えたり、口どけを良くしたりする。フルーツヨーグルトにイヌリンを1~3%添加すると口当たりが良くなるとともに脂肪状の食感も付与される。以下、具体的な配合例を紹介する(表1)。

1. 無脂肪ジェラート(配合1)

フジFF、砂糖、脱脂粉乳、乳化剤をプレミックスする。脱脂乳を60℃に温めて水あめを加え、先ほどのプレミックスを溶かす。室温まで冷却し、フレーバーを添加した後、ジェラートマシンに入れ、ジェラートとする。できあがったジェラートは、口どけの良い、まったりとしたクリーム食感とすることができる。さらに、クリームと牛乳を使ったものと比較すると、カロリーが約40%オフ、脂質に関しては95%以上オフが可能である。食物繊維含量は9 g/100 mLとなる(オーバーラン25%のとき)。このように、粉末イヌリンをあらかじめゲル状としなくても、ゲルと同様の機序にて脂肪食感を付与することができる。

2. ピーナッツスプレッド(配合2)

85℃の水32.5 gにフジFF 22 gを溶解し、冷蔵庫に入れて20時間ほど静置させてゲル状とする。ピーナッツバター、砂糖、乳化剤を混合し、あらかじめ作製したイヌリンゲルを混ぜ、ホイップさせてピーナッツスプレッドとする。このピーナッツスプレッドは、一般的なフラワーペースト製品と比較して風味豊かとなり、カロリー、脂質ともに30%オフすることが可能である。食

物繊維含量は19.8 g/100 gとなる（オーバーラン10%のとき）。

3. マヨネーズ風ドレッシング（配合3）

水、酢、からし、食塩、調味料を混合し、攪拌する。さらにフジFF、卵黄を加えてホモジナイズする。冷蔵庫に入れて一晩静置させてマヨネーズ風ドレッシングとする。

このマヨネーズ風ドレッシングは一般的なマヨネーズ製品と比較して、チクソトロピー性の高いボディとなるが、カロリーが80%オフ、脂質は90%オフとすることが可能であり、食物繊維含量は27 g/100 gとなる。

おわりに

イヌリンを脂肪代替の用途で加工食品に使用した場合、確実に摂取エネルギーの低減が期待されるが、イヌリンの利用はそれのみならず、前段で述べたように整腸作用、脂質代謝改善、一過性の血糖値上昇抑制などの食物繊維効果が期待される。たんにイヌリンを食べるのも良いかもしれないが、それを通常の食事の中で脂肪の低減された加工食品の形で日常的に取り入れることが、われわれの健康にとって好ましいのではないかと考えている。

イヌリンが今後も、より多くの方々に健康に良い脂肪代替素材として利用されることを祈念している。

文献

- 1) J. Van Loo *et al.*: *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **35**, 525 (1995).
- 2) T. Wada *et al.*: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **67**, 1327 (2003).
- 3) B. V. McCleary & A. B. Blakeney: *Cereal Food World*, **44**, 398 (1999).
- 4) B. V. McCleary, A. Murphy & D. C. Mugford: *J. AOAC. Int.*, **83**, 356 (2000).
- 5) M. Lever: *Anal. Biochem.*, **47**, 273 (1972).
- 6) メガザイム社ホームページ (<http://www.megazyme.com>). Fructan assay procedure for measurement of fructo-oligosaccharide (FOS) and fructan polysaccharide

(2004).

- 7) 日本健康・栄養食品協会：“食品の栄養表示基準制度”，2001, p. 46.
- 8) G. F. Gibson *et al.*: *Gastroenterology*, **108**, 975 (1995).
- 9) G. F. Gibson *et al.*: *J. Nutr.*, **125**, 1401 (1995).
- 10) B. Kleessen *et al.*: *Am. J. Clin. Nutr.*, **65**, 1397 (1997).
- 11) D. Hond *et al.*: *Nutr. Res.*, **51**, 137 (2000).
- 12) 新井映子他：日本食物繊維学会誌，**12**, s54 (2008).
- 13) M. Roberfroid *et al.*: *J. Nutr.*, **128**, 11 (1998).
- 14) H. Ito *et al.*: *J. Food Sci.*, **73**, H36 (2008).
- 15) O. Murphy *et al.*: *Br. J. Nutr.*, **85**, S47 (2001).
- 16) F. Guamer: *Br. J. Nutr.*, **93**, S61 (2005).
- 17) S. Koida *et al.*: *Br. J. Nutr.*, **87**, S193 (2002).
- 18) C. Coudray *et al.*: *Eur. J. Clin. Nutr.*, **51**, 375 (1997).
- 19) E. G. Van den Heuvel *et al.*: *Am. J. Clin. Nutr.*, **69**, 544 (1999).
- 20) I. J. Griffin *et al.*: *Br. J. Nutr.*, **87**, S187 (2002).
- 21) I. J. Griffin *et al.*: *Nutr. Res.*, **23**, 901 (2003).
- 22) S. A. Abrams *et al.*: *Am. J. Nutr.*, **82**, 471 (2005).
- 23) 伴野安彦, 和田 正：薬理と治療，**35**, 601 (2007).
- 24) M. F. Fiordaliso *et al.*: *Lipids*, **30**, 163 (1995).
- 25) E. A. Trautwein *et al.*: *J. Nutrition*, **128**, 1937 (1998).
- 26) N. Kok *et al.*: *Br. J. Nutr.*, **76**, 881 (1996).
- 27) N. Kok *et al.*: *J. Nutr.*, **128**, 1099 (1998).
- 28) T. Wada *et al.*: *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 1246 (2005).
- 29) K. Jackson *et al.*: *Br. J. Nutr.*, **82**, 23 (1999).

プロフィール



和田 正 (Tadashi WADA)

＜略歴＞1983年新潟大学農学部農芸化学科卒業／1985年同大学大学院農学研究科農芸化学専攻（応用微生物学）修了／同年バイオール株式会社勤務／1991年フジ製糖株式会社勤務（現 フジ日本精糖株式会社）／2008年博士（薬学）取得（静岡県立大学）／現在、フジ日本精糖株式会社研究開発室室長＜研究テーマと抱負＞微生物／酵素を利用した高付加価値物質の生産と開発＜趣味＞スポーツ観戦，旅行



田中 彰裕 (Akihiro TANAKA)

＜略歴＞1998年長岡技術科学大学工学部生物機能工学課程卒業／2000年同大学大学院工学研究科生物機能工学専攻（応用植物工学）修了／同年松浦菓業株式会社勤務／2005年フジ日本精糖株式会社勤務＜研究テーマと抱負＞マーケティング，食物繊維の脂肪代替への応用＜趣味＞写真