

新しい水溶性食物繊維イソマルトデキストリン (ファイバリクサ®)の開発



① 株式会社林原 糖質営業マーケティング部門 渡邊 光 ①
 株式会社林原 研究部門 山本 拓生 ②
 株式会社林原 研究部門 阿賀 創 ③
 株式会社林原 研究部門 西本 友之 ④

はじめに

野菜、果物、海藻やきのこなどに含まれる食物繊維は第六の栄養素とも呼ばれ、生活習慣病の予防に重要な役割を果たすことが知られている。一方で、推奨される量を摂取することは容易ではないため、慢性的な食物繊維不足となっている。従って、食品や飲料に無理なく配合し食物繊維を補給できる素材のニーズはこれまで以上に高まると考えられた。そこで我々は微生物酵素技術を用いて、澱粉から食物繊維として機能する新しい糖質素材の開発を試みた。

1. イソマルトデキストリンを生成する新規な酵素系の発見

澱粉から食物繊維として機能する新しい糖質素材の開発を目的に、澱粉から消化酵素耐性糖質を生成する酵素生産菌のスクリーニングを行った。土壌単離株約1,700株について検討した結果、*Paenibacillus alginolyticus* PP710の培養上清中に、澱粉から消化酵素耐性の糖質を生成する活性を見出した。この糖質の構造を決定したところ、 α -1,6結合、 α -1,3結合および α -1,3,6結合を含む、多分岐の α -グルカンであることがわかった。我々は本糖質をイソマルトデキストリン (IMD) と命名した(図1)。IMDは基質である澱粉に比べ枝分かれ構造が増加しており、そのため消化酵素に耐性を示すと考えられた。なお、IMDの食物繊維含量は酵素-HPLC法(AOAC2001.03)により約80%であった¹⁾。PP710株の培養上清からIMDの生成に関与する酵素を精製したところ、6- α -グルコシルトランスフェラーゼと α -アミラーゼの2種の酵素が見出された。6- α -グルコシルトランスフェラーゼはマルトース以上の α -1,4グルカンに作用し、主に分子間 α -1,6グルコシル転移反応を触媒した。 α -アミラーゼはマルトース以上の α -1,4グルカンに作用した場合、CGTase(分子間、分子内 α -1,4グルカン転移反応)と同様の反応を触媒した。一方で α -1,4グルカンと α -1,6グルカンが共存し、 α -1,6グルカン

が受容体として存在する場合には、分子間の α -1,3グルカン転移反応を優先的に触媒し、 α -1,3,6結合を生成した。本酵素を単独で α -1,4グルカンに作用させてもIMDは全く生成しなかったが、6- α -グルコシルトランスフェラーゼと同時に作用させた場合、IMDの生成が認められた。IMDの生成にはこれら2種の酵素の協同的作用が必要であることが分かった(図2)²⁾。

2. IMDの製法と基本構造

IMDは、*Paenibacillus alginolyticus* PP710株が産生する2種類の酵素、6- α -グルコシルトランスフェラーゼと α -アミラーゼを液化澱粉に作用させたのち、一般的な酵素糖化水飴の精製工程と噴霧乾燥工程を組み合わせることによって製造される。工業的に生産された代表的なIMDの重量平均分子量は約5,000、数平均分子量は約2,500、グルコース重合度が1~約62の成分を含み、平均重合度は30、グルコース当量(DE)は約7であった。グルコシド結合の種類は非還元末端が約17%、 α -1,3結合が約3%、 α -1,4結合が約19%、 α -1,6結合が約49%、 α -1,3,6結合が約7%、 α -1,4,6結合が約5%であった。酵素-HPLC法による分析では、食物繊維を固形分当たり80%以上含有していた。

3. IMDの安全性

IMDは米国において一般に安全と認められる「Generally Recognized As Safe (GRAS)」食品として評価され、米国食品医薬品局(FDA: Food and Drug Administration)より、GRASの認証を受けている³⁾。一方で、外部安全性評価機関による各種安全性試験も実施されており、変異原性: 陰性、遺伝毒性: 陰性、急性毒性: 2,000 mg/kgで有害事象なし、90日反復毒性: 1,000 mg/kgで有害事象なし、と評価されている。ヒトの

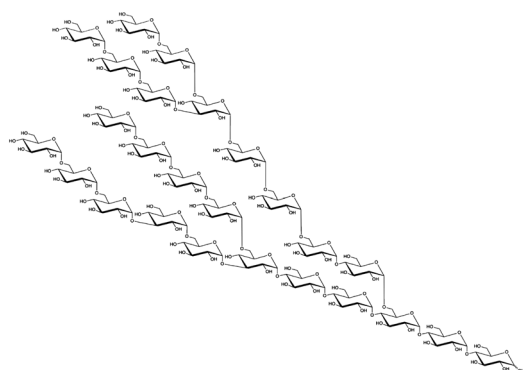


図1. イソマルトデキストリンの推定構造

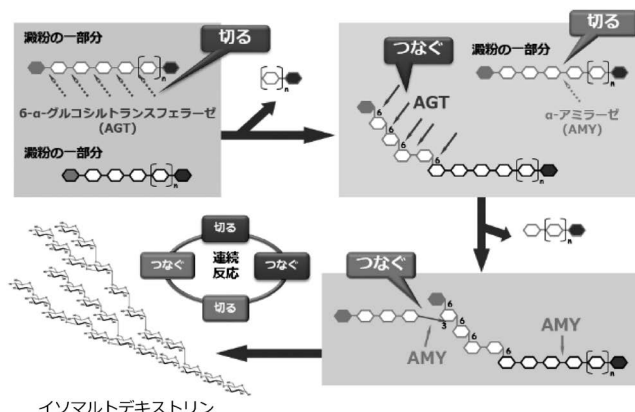


図2. イソマルトデキストリンの生成機構

下痢に対する最大無作用量は0.8 g/kg-体重であり、糖アルコールやオリゴ糖に比べて高い値となっている。また、ヒトにおける長期摂取試験（10 g/日を12週間）および過剰摂取試験（30 g/日を4週間）についてもそれぞれ実施されており、有害事象なし、と評価されている⁴⁾。

4. IMD の諸物性と安定性

IMD は比較的温和な条件の酵素反応で製造されるため、製品粉末の白度が高い点が大きな特徴である。また、甘さはほとんどなく（砂糖の20分の1程度）、水に良く溶けながらもその粘度は低いため、配合される食品や飲料の本来のテクスチャーに影響を与えにくい。また、安定性にも優れており、熱、酸、レトルト、冷凍などの食品加工上の様々なストレスに対しても非常に安定である。

5. IMD の生理作用

IMD は生理作用に関しても多くの検討が行われており、ヒト臨床試験においては「便秘改善作用」、「血糖上昇抑制作用」、「食後中性脂肪上昇抑制作用」の知見が明らかとなっている。「血糖上昇抑制作用」については、IMD を砂糖やマルトデキストリンなどの糖質と同時摂取した場合、摂取後の血糖上昇を抑制することが確認されている。砂糖100 gもしくはマルトデキストリン50 gのみを摂取させたときに血糖値が上がりやすかった被験者を対象にIMD10 gを添加した砂糖100 gもしくはマルトデキストリン50 gを摂取させたところ、IMDなしのときに比べて血糖値の上昇が抑制された⁵⁾。さらに、IMD をグルコースと同時摂取した場合にも同様の作用が確認されている。グルコース50 gのみ（Control diet）を摂取させたときに血糖値が上がりやすかった被験者を対象にIMD2.5 gを添加したグルコース50 g（Test diet）を摂取させたところ、IMDなしのときに比べて血糖値の上昇が抑制された（図3）⁶⁾。これらの作用のメカニズムとしては、IMD が消化管にあるグルコース輸送体に直接作用し、食事由来のグルコースを体内へ取り込むことを阻害するためであると推定される。

6. IMD の食品への利用

IMD の食品への配合目的としては、主に食物繊維の補給が挙げられる。IMD は固形分当り80%以上の食物繊維を含有するため、国が定める食品表示基準を満たす量を食品に配合することにより、食物繊維の栄養強調表示が可能となる。具体的にはIMD を食品100 gあたり3.8 g以上、飲料の場合は100 mL当たり1.9 g以上配合することにより、「食物繊維入」など食物繊維を含む旨の表示が可能となる。食物繊維補給以外の目的としては、生理機能を利用した健康訴求の食品への配合が考えられる。「便秘改善作用」、「血糖上昇抑制作用」、「食後血中中性脂肪上昇抑制作用」の3つの生理機能については、健康成人でのエビデンスが得られており、それぞれ論文文化もされていることから「機能性表示食品」制度を利用して、健康人の健康の維持増進に関する機能性を食品に表示することが可能である。林原ではこれら3つの機能について、消費者庁への届出サポートを行っており、2018年10月には初の受理実績が得られた。

おわりに

IMD は食品加工上の物性・安定性や生理作用の観点から他の水溶性食物繊維にはない価値を提供できる素材として、2015

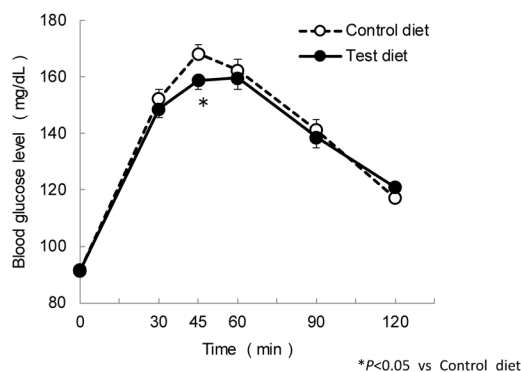


図3. イソマルトデキストリンの血糖上昇抑制作用

年11月より販売を開始している（商品名：ファイバリクサ®）。現在、色、におい、味の観点から飲料、製菓、乳製品、主食、調理加工品などのあらゆる食品に食物繊維補給や糖質低減また機能性表示目的で配合が検討されている。水溶性食物繊維の世界市場は今後も成長していくことが見込まれている。日本でも同様の成長が見込まれており、将来性の高い市場であると考えられる。これからもIMDの独自機能を明らかにしていくことで、更なる市場拡大を実現し、世界中の人々の食と健康に貢献していきたい。

(引用文献)

- 1) K. Tsusaki, H. Watanabe, T. Nishimoto, T. Yamamoto, M. Kubota, H. Chaen, S. Fukuda, Structure of a novel highly branched α -glucan enzymatically produced from maltodextrin., *Carbohydr. Res.*, 344, 2151-2156, (2009)
- 2) K. Tsusaki, H. Watanabe, T. Nishimoto, T. Yamamoto, H. Chaen, S. Fukuda, Purification and Characterization of Highly Branched α -Glucan-Producing Enzymes from *Paenibacillus* sp. PP710., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 76, 721-731, (2012)
- 3) GRAS Notice Inventory, GRN No. 610 (US FDA)
- 4) T. Sadakiyo, S. Inoue, Y. Ishida, H. Watanabe, H. Mitsuzumi, S. Ushio, Safety assessment of a soluble dietary fiber, isomaltodextrin, enzymatically produced from starch. *Fundamental Toxicological Sciences.*, 4, 57-75, (2017)
- 5) T. Sadakiyo, Y. Ishida, S. Inoue, Y. Taniguchi, T. Sakurai, R. Takagaki, M. Kurose, T. Mori, A. Yasuda-Yamashita, H. Mitsuzumi, M. Kubota, H. Watanabe, S. Fukuda, Attenuation of postprandial blood glucose in humans consuming isomaltodextrin: carbohydrate loading studies. *Food. Nutr. Res.*, 61, 1325306, (2017)
- 6) Y. Ishida, T. Sadakiyo, S. Inoue, H. Watanabe, H. Mitsuzumi, S. Fukuda, S. Ushio, J. Hiramatsu, The Attenuating Effect of Isomaltodextrin on Postprandial Blood Glucose Level in Healthy Human Subjects—A Randomized, Placebo-controlled, Double-blind Crossover Study—. *Jpn. Pharmacol. Ther.*, 45, 1179-1185, (2017)

謝 辞 このたびは荣誉ある農芸化学技術賞受賞にあたり、ご推薦を賜りました日本農芸化学会中四国支部長、川向誠先生および役員の先生方に厚く御礼申し上げます。本研究は株式会社生物化学研究所および株式会社林原においてなされた成果です。本研究を遂行するにあたり、ご指導をいただきました故 辻阪好夫博士、福田恵温博士をはじめ、関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。