

低分子物質のナタデココへの浸透性

Permeability of a low molecule to nata de coco

伊藤 聖子**・岡山 純子*・加藤 陽治*

Seiko ITO・Jyunko OKAYAMA・Yoji KATO

要 旨

バクテリアセルロースであるナタデココの微細な網目構造に着目し、その網目構造への分子の浸透性について植物セルロースと比較した。セルロースとナタデココの各試料を、0.1%グルコース溶液およびデキストラン T-500（平均分子量50万）溶液100ml に浸し、20分ごとに120分経過するまでの外液の糖量をフェノール硫酸法にて測定し浸透性を調べた。微細な網目構造を有するナタデココへ低分子のグルコースは浸透するが、デキストラン T-500（平均分子量50万）のような高分子の物質は浸透しにくいことがわかった。結果を基に、ナタデココの機能性と調理特性などについて考察を加えた。

キーワード：ナタデココ、バクテリアセルロース、分子ふるい能、包接作用

1. 緒 言

ナタデココは、コリコリとした独特の食感を有し、低カロリーで食物繊維が豊富ということでも注目され、デザートや飲料等に広く用いられている。ナタデココはフィリピン発祥の伝統食品であり、ココナツミルクを原料にして作られるバクテリアセルロースである。その製法は、ココナツの果肉に水を加えて圧搾し、濾過によって得られたココナツミルクに水、砂糖、酢酸等を加えて混合し、バクテリアセルロース生産能を有する酢酸菌 (*Acetobacter xylinum*) を接種後、10日間から2週間ほど発酵させるとココナツミルクの表面にバクテリアセルロースゲルが生成する。生成したバクテリアセルロースゲルは水洗し、任意の形状に加工して煮沸した後、シロップに漬けてナタデココが作られる¹⁻³⁾。ココナツミルクを原料にしたのが「ナタデココ (Nata de coco)」、それ以外にパイナップル果汁を原料とし同様のプロセスで製造される「ナタデピニャ (Nata de pina)」、サントルを原料とする「ナタデサントル (Nata de santol)」などがあり、いずれも食感はナタデココと同じである^{2, 3)}。

バクテリアセルロースは微生物が作り出す食物繊維であり、植物由来のセルロースと比べると、約100分の1から1000分の1という微細な繊維の三次元網目構

造を持つ⁴⁻⁶⁾。そして、微細な網目構造（ナノファイバー）は繊維間の水素結合が強く、保水性も高いこと等も研究されている^{4, 7)}。その他に、植物セルロースには、ペクチンやヘミセルロース、リグニンも含まれるのに対し、バクテリアセルロースは純粋にセルロースのみから成ることも特徴の一つある⁸⁾。バクテリアセルロースのナノファイバーはさまざまな分野で注目され、食品のみならず、ディスプレイ基盤^{9, 10)}、DNA解析チップ¹¹⁾、紙や化成品分野など多方面への利用研究が行われている⁶⁾。

食品分野でのバクテリアセルロースは、pH、温度、レオロジー等、食品の安定性を高めるために広い範囲にわたって研究され^{12, 13)}、安定化剤や増粘剤として実用化されている。また、*in vivo* における消化管内のコレステロール抑制作用に関する実験では、バクテリアセルロース摂取によって血清トリグリセリド、血清総コレステロールおよび肝臓コレステロールの有意に減少することが報告されている¹⁴⁾。このように、バクテリアセルロースは食品の物性改善だけでなく、機能性素材としても有用な材料であり、食品産業へのさまざまな利用法が考えられる。

食物繊維のもつ生理効果の一つに耐糖性改善効果がある。これは水可溶性食物繊維のグルコース拡散阻害

* 弘前大学教育学部家政学科教室食物学研究室

Laboratory of Food Science, Department of Home Economics, Faculty of Education, Hirosaki University

** 静岡県立大学食品栄養科学部

School of Food and Nutritional Sciences, University of Shizuoka

作用が大きく関与していると言われている。われわれはこれまでに水不溶性食物繊維（細胞壁）の機能性を解明するための基礎的知見を得る目的で水不溶性食物繊維の物理化学的性質の研究を進めてきた。そして、①分子量50万以上のデキストリンは完全に排除し、②分子量約2千~50万のものについてはある程度分子篩いを行うことができ、③分子量約2千以下のマルトオリゴ糖は繊維内に完全に取り込むことを明らかにしてきた。また、④シュウ酸アンモニウム処理（脱ペクチン）水不溶性食物繊維や24%水酸化カリウム処理（脱ヘミセルロース）水不溶性食物繊維も水不溶性食物繊維とほぼ同様な能力を有することも明らかにした^{15,16}。

そこで、本研究では、食材として広く使用されているバクテリアセルロースであるナタデココを用いて、その微細な網目構造に着目し、ナタデココに対する低分子物質の浸透性について植物セルロースと比較することを目的とした。

2. 実験材料および方法

2-1. 材料

バクテリアセルロースであるナタデココ（インドネシア産、短冊状）は、約0.8cm 四方の角切り（表面積：0.64cm²/個、体積：0.512cm³/個）にし、糖液と酸が検出されなくなるまで蒸留水に浸し、繰り返し洗浄したものをナタデココ試料とした。

セルロース（ナカライテスク株式会社、繊維状）にも低分子糖が含まれているため、蒸留水に懸濁後に吸引濾過を行い、濾液に糖が検出されなくなるまで繰り返し洗浄したものをセルロース試料とした。

標準糖には、低分子糖としてグルコース（分子量180）、高分子糖としてデキストラン T-500（平均分子量50万）を用いた。

2-2. 浸透性による分子ふるい能の検討

2-2-1. セルロース

セルロース試料を、角切りのナタデココ30個および60個分の体積に相当する量（約15cm³および約30cm³）をそれぞれメスシリンダーで測りとり、ナタデココと同条件にするため、蒸留水を十分に含ませた。各セルロース試料をシャーレにそれぞれ入れ、0.1%グルコース溶液およびデキストラン T-500溶液100mlに浸し、20分ごとに120分経過するまでの外液の糖量をフェノール硫酸法にて測定した。試験は3回繰り返し、それぞれ平均値を求めた。

2-2-2. ナタデココ

ナタデココ試料30個および60個をそれぞれシャーレに入れ、セルロース試料と同様に0.1%グルコース溶液およびデキストラン T-500溶液100mlに浸し、20分ごとに外液の糖量をフェノール硫酸法にて測定した。試験は3回繰り返し、それぞれ平均値を求めた。

3. 結果および考察

セルロースへのグルコースの浸透性について、結果を図1に示した。“30個相当平均”“60個相当平均”とは、ナタデココ30個、60個に相当するセルロースを用いて実験を行い、時間ごとにフェノール硫酸法にて測定した結果の平均である（n=3）。図1-Bは、図1-Aの20分までの濃度の減少がセルロースに含まれた蒸留水に由来しているものであるのか、それともセルロースに浸透していったものであるのかを明らかにするため、10分ごとに糖量を測定した。その結果、10分から20分までで糖の減少がみられなかったため、図1-Aの20分までの糖の減少は、セルロースに含まれる蒸留水に由来していると考えられた。さらに図1-Aも図1-Bも20分以降に注目してみると、糖の減少はみられず、この実験からはグルコースがセルロースに浸透したことが確認されなかった。

セルロースへのデキストラン T-500の浸透性についての結果を図2に示した。デキストラン T-500でもグ

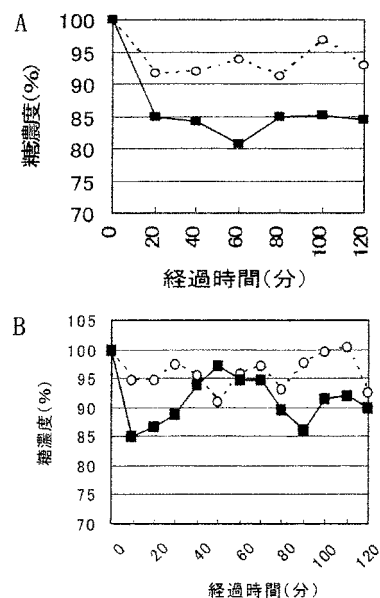


図1 グルコースのセルロースへの浸透性

A: 実験1、20分毎に糖量を測定

B: 実験2、10分毎に糖量を測定

…○…: 30個相当平均

—■—: 60個相当平均

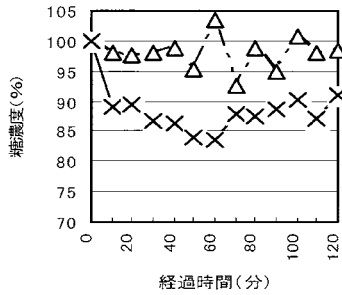


図2 デキストランT-500のセルロースへの浸透性

…△… :30個平均
 —×— :60個平均

ルコースの場合と同じように、10分後の糖の減少はセルロースに含ませた蒸留水に由来していると考えられ、20分以降では、はっきりとした糖の減少は見られなかった。

ナタデココへのグルコースの浸透性についての結果を図3に示した。浸透開始0分から120分までの外液の濃度は、20分ごとに減少傾向にあった。120分でのナタデココ30個と60個の外液の濃度を比較すると、30個に対して60個では約2倍、濃度が薄くなっており比例関係がみられた。このことから、濃度が薄くなった分、ナタデココにグルコースが浸透したと考えられた。

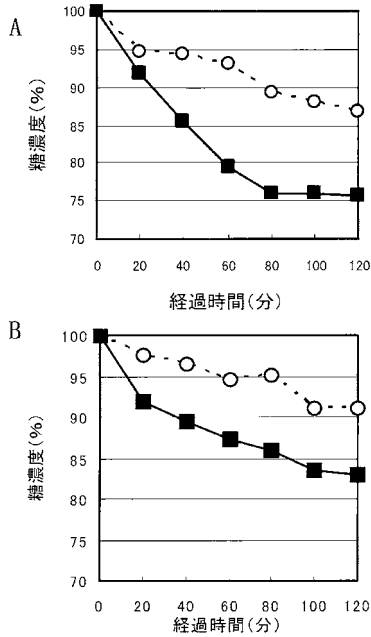


図3 グルコースのナタデココへの浸透性

A: 実験1
 B: 実験2
 …○… :30個平均
 —■— :60個平均

ナタデココへのデキストラン T-500の浸透性についての結果を図4に示した。これらのグラフからは、0分から120分までで大きな糖の減少はみられず、グルコースの時のようなはっきりとした減少ではなかった。したがって、デキストラン T-500は、グルコースに比べてナタデココへの浸透が少ないと考えられた。

また、ナタデココへのグルコースおよびデキストランの結果を合わせたグラフを図5に示した。0分から120分までのナタデココへのグルコースおよびデキストラン T-500の浸透性は、低分子であるグルコースは個数に比例して浸透していくが、一方で、高分子糖で

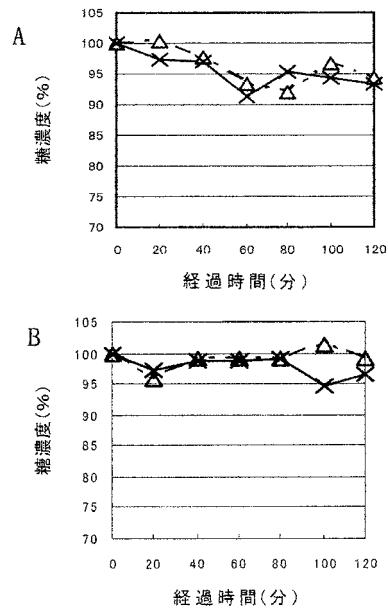


図4 デキストランT-500のナタデココへの浸透性

A: 実験1
 B: 実験2
 …△… :30個平均
 —×— :60個平均

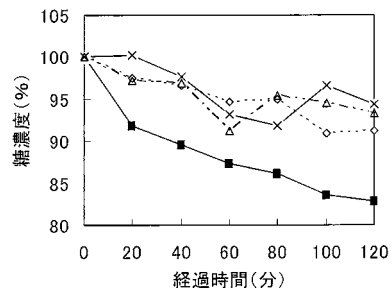


図5 ナタデココへの低分子および高分子糖の浸透性(まとめ)

…◇… :グルコース30個平均
 —■— :グルコース60個平均
 —×— :デキストランT-500 30個平均
 …△… :デキストランT-500 60個平均

あるデキストランT-500は浸透しにくいと考えられた。

今回データは示していないが、はじめに、磨砕したナタデココのカラムを作成し、それを詰めたガラスカラムによるグルコース、デキストランT-500の分子篩い能を調べることを試みたが、ナタデココが詰まりすぎ、これまでわれわれが行ってきた水不溶性食物繊維カラムによる方法での分子篩い能測定はできなかった。しかし、今回の浸透性の実験から、ナタデココにはグルコースのような低分子の物質は浸透するが、デキストランT-500のような高分子の物質は浸透しにくいことが示唆された。これまで水不溶性食物繊維（細胞壁）は分子量50万以上のデキストリンは完全に排除することを報告した^{15,16)}。ナタデココも同様の網目サイズを有している可能性がある。また、使用した植物セルロースに比べナタデココでは、グルコースの浸透が明確であった。このことはナタデココの網目構造が比較的均一になっているとも考えられる。

ナタデココには低分子の物質を浸透させることができるので、栄養成分の中で低分子であるカルシウムや鉄などのミネラル類をナタデココに包括させることが可能と考えられる。ナタデココは食物繊維であるため、カルシウムや鉄などを包括させて調理されたナタデココを食べることで、食物繊維と共にミネラルも摂取することができ、機能性食材の一つになる。包接作用を有する糖にサイクロデキストリンがあり、ビタミンやコエンザイムQ10などの安定性とヒトへの吸収性の改善効果などが報告されている^{17,18)}。ナタデココも、フレーバーやアントシアニンなどの色素、あるいは熱に不安定な機能性物質を包括し、加熱調理などによる栄養成分の損失を抑制できると期待される。

引用文献

- 1) 小崎道雄：ココナツ発酵食品④—悪者菌を逆用したナター、VESTA., 7, 46-52 (1991).
- 2) 村山篤子, 市川陽子, 川端晶子：ナタデココのレオロジー的性質, 日本調理科学会誌, 28 (1), 2-7 (1995).
- 3) Iguchi, M., Yamanaka, S. and Budhiono, A.: Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts, *J. Materials Science*, 35, 261-270 (2000).
- 4) Klemm, D., Schumann, D., Udhardt, U. et al.: Bacterial synthesized cellulose-artificial blood vessels for microsurgery, *Progress In Polymer Science*, 26, 1561-1603 (2001).
- 5) Kelmm, D., Heublein, B., Fink, H.P. et al.: Cellulose:

Fascinating biopolymer and sustainable raw material, *Angewandte Chemie.*, 44, 2-37 (2005).

- 6) 沼田ゆかり：機能性材料としてのバクテリアセルロースゲル（ナタデココ）の利用, *New Food Industry*, 53 (1), 39-46 (2011).
- 7) 近藤哲男：セルロースナノファイバーテクノロジーの新展開, 木材学会誌, 54 (3), 107-115 (2008).
- 8) Jonas, R. and Farah, L.F., Production and application of microbial cellulose, *Polymer Degradation and Stability*, 59 (1), 101-106 (1998).
- 9) Yano, H., Sugiyama, J., Nakagaito, A.N. et al.: Optically transparent composites reinforced with networks of bacterial nanofibers, *Advanced Materials*, 17, 153-155 (2005).
- 10) Nogi, M. and Yano, H.: Transparent nanocomposites based on cellulose produced by bacteria offer potential innovation in the electronics device industry, *Advanced Materials*, 20, 1849-1852 (2008).
- 11) Tabuchi, M. and Baba, Y., Design for DNA separation medium using bacterial cellulose fibrils, *Anal Chem.*, 77, 7090-7093 (2005).
- 12) Okiyama, A., Motoki, M. and Yamanaka, S., Bacterial cellulose II. Processing of the gelatinous cellulose for food materials, *Food Hydrocolloids*, 6(5), 479-487 (1992).
- 13) Okiyama, A., Motoki, M. and Yamanaka, S.: Bacterial cellulose IV. Application to processed foods, *Food Hydrocolloids*, 6 (6), 503-511 (1993).
- 14) Chau, C., Yang, P., Yu, C. and Yen, G.: Investigation on the lipid and cholesterol lowering abilities of biocellulose, *J. Agric. Food Chem.*, 56 (6), 2291-2295 (2008).
- 15) 加藤陽治, 秋山美香：水不溶性食物繊維カラムによるデキストランおよびマルトデキストランのゲル濾過クロマトグラフィー, 栄食誌, 46, 161-166 (1993).
- 16) 加藤陽治：水不溶性食物繊維のグルコースの *in vitro* における拡散速度に与える影響, 栄食誌, 46, 351-355 (1993).
- 17) Horiuchi, Y., Kikuchi, M., Hirayama, F., Uekama, K., Ueno, M. and Ijitsu, T.: Improvement of bioavailability of menaquinone-4 by dimethyl- β -cyclodextrin complexation following oral administration, *YAKUGAKU ZASSHI*, 108, 1093-1100 (1988).
- 18) Takahashi, H., Bungo, Y., Mikuni, K., Beppu, H., Ozaki, S., Shimpo, K., Itani, Y. and Sonoda, S.: Improved thermal property and absorption of coenzyme Q10 in humans using cyclodextrin, *J. Appl. Glycosci.*, 57, 193-197 (2010).

(2013. 8. 5 受理)