



五炭糖の意外（？）な利用法

榊原 祥清

稲わらやバガスなどのリグノセルロース系バイオマス
を原料としたバイオエタノールの実用化のためには、解
決しなければならない種々の課題がある。その一つがキシ
ロースの効率的な発酵法の確立である。リグノセル
ロース系バイオマスには、多量のキシロース（稲わらの
場合、含まれる糖類の約4割がキシロース）が含まれて
いる。そして、よく知られているように、エタノール発
酵の代表的な微生物である *Saccharomyces cerevisiae* は
キシロースをほとんど発酵することができない。この問
題への取組みは長く、1993年にキシロース発酵能を持
った *S. cerevisiae* が遺伝子組換えによって作られている¹⁾。
この株は、キシロース発酵性酵母である *Scheffersomyces*
stipitidis (*Pichia stipitidis*) がコードするキシロースレダク
ターゼとキシリトールデヒドロゲナーゼを、*S. cerevisiae*
に導入したものである。*S. cerevisiae* はキシロースは発
酵できないがキシロースは発酵できることがわかって
おり、“ミッシングリンク”となっているキシロース～
キシロース間の代謝経路を二つの外来遺伝子によって
補ったのである。

筆者らは、異性化糖の製造に用いられるグルコースイ
ソメラーゼ（キシロースイソメラーゼ）の発酵液への添
加により、このミッシングリンクのバイパスを行った。
この方法は同時異性化発酵（simultaneous isomerization
and fermentation）と呼ばれ目新しいものではないが、
キシロキナーゼ遺伝子を人為的に高発現させた *S.*
cerevisiae を用いることにより、キシロースからエタノ
ールへの変換収率を顕著に高めることができた。キシロ
キナーゼの高発現株は自己遺伝子のセルフクロニング
によって作ることができ、さらには変異導入や馴化と
いった従来型の育種によっても得られる可能性がある。
キシロースはキシロキナーゼでリン酸化されること
によって、ペントースリン酸経路を経て解糖系に入る
ことができる。つまり、ペントースリン酸経路が五炭糖代
謝と六炭糖代謝の接点となっている。キシロースを利用
できない微生物であっても、キシロース～キシロース
のミッシングリンクを繋げることによって、キシロース
からエタノール以外のさまざまな代謝産物も作れるよ
うになるのではないかと想像を膨らませている。

さて、リグノセルロース系バイオマスを糖源として捉
えたときに、その価値はキシロースなどの五炭糖を含ん

でいることにあるのではないだろうか。グルコース源と
しては、廃糖蜜やコーンスターチなど安価な原料が豊富
に存在しており、（食料との競合を考慮しなければ）こ
れらに太刀打ちすることは難しい。一方、これらの原料
には五炭糖は含まれておらず、五炭糖の用途や利用価値
を広げることにより、リグノセルロース系バイオマスの
価値も高まってくると考えられる。

歴史を紐解いてみると、1930年代の米国で、綿実殻
からキシロースを安価に製造する方法が開発されてい
る。当時、キシロースは“slenderizing sugar”として話
題になったようだが²⁾、その後、（ヒトでは問題ないが）
動物実験で白内障の危険性が指摘されたこともあり、低
カロリー甘味料としてはあまり普及しなかったようであ
る。とは言え、キシロースは我が国の食品衛生法におい
ても、既存添加物リストに甘味料としてちゃんと掲載さ
れている。また、竹輪などの水産練り製品や食肉加工食
品などの焼き色を良くするためにもキシロースは利用さ
れており、この場合は加工助剤にあたるため表示は免除
となる。あまり目立たないが、キシロースは我々の食生
活に大いに関わっているようだ。

キシロースの還元によって得られ、今ではキシロース
よりもメジャーな甘味料となったキシリトールについ
ても、意外な話題がある。キシリトールの非う蝕効果が示
されたのは1970年代のフィンランドでの研究によってだ
が、これには第二次世界大戦後に砂糖不足からキシリト
ールが代替糖として利用されていた背景がある。日本にお
いても、戦前、戦中にキシリトールの研究が行われてお
り、文献が残されている³⁾。そこではキシリトールをグ
リセリンの代替として用いることが述べられており、化
粧品や煙草の原料、合成酒への添加といった利用が提案
されている。さらには、キシリトールの硝酸塩が爆薬と
して利用できる旨の記述もあり、現代のキシリトールの
イメージとは隔世の感がある。戦時中、大日本帝国陸軍
が戦闘機の代替燃料としてバイオエタノールの研究を
行っていたのは有名な話である。つくづく平
和な時代に研究ができる幸運に感謝したい。



- 1) Ho, N. W. Y. *et al.*: US Patent 5,789,210 (1998).
- 2) The Literary Digest, May 17, 30 (1930).
- 3) 藪田貞治郎ら：日本農芸化学会誌, 16, 1077 (1940).