

次世代を担う新エネルギーの開発

富高 正貴

現代の石油消費が引き起こす二酸化炭素排出量の増大や地球温暖化、大気汚染など、さまざまな問題に対処するため、代替エネルギーの開発が急務になっている。最初に注目されたのが、植物からのバイオエタノールである。このエネルギーを用いれば、新たに生じた二酸化炭素を、また植物が吸収し、それを用いるというサイクルが生まれる。その結果、これ以上、二酸化炭素を増やすことのない炭素循環型社会の構築が可能になる。バイオエタノール先進国のブラジルではすでに、100%バイオエタノール燃料の自動車走っている。

日本においても、2006年に提案された新・国家エネルギー戦略の中で「日本のガソリン消費量は2030年には6000万kLになると予想される。石油消費を少なくし二酸化炭素排出量を減らすためにも、ガソリンの10%、600万kLをバイオエタノールに置き換え、「E10ガソリン」とする。」と謳われている。さらに「2020年までに、二酸化炭素排出量を1990年比で25%削減する。」と公約した。そのため、日本でも *Saccharomyces cerevisiae* 酵母菌を用いたバイオエタノール生産が行われ始めている。しかし、これまでのバイオエタノールの原料は、トウモロコシなどのデンプン系材料であるため、食糧との競合から価格高騰を引き起こした。また、トウモロコシの耕作地の拡大により、他の食糧作物の耕作地が減少し、各種食糧の不足と価格高騰に繋がっている。このため、現在は食糧と競合しないセルロース系バイオマスである木や草からのエタノール生産が注目されている。

セルロース系バイオマスは、主にセルロース(グルコース)とヘミセルロース(キシロース)で構成されている。このため、グルコースとキシロースを同時に発酵できる酵母が望まれているが、エタノール製造に用いられる野生型の *S. cerevisiae* は、キシロースを代謝できない。そこでキシロース資化性酵母 *Pichia stipitis* のもつキシロースリダクターゼ(XR)とキシリトール脱水素酵素(XDH)の2種類の酵素を遺伝子操作で *S. cerevisiae* に発現させた組換え酵母が構築されている²⁾。これにより、キシロースリダクターゼ(XR)によってキシロースをキシリトールへ還元し、続いてキシリトール脱水素酵素(XDH)によってキシルロースへ酸化することができる。キシルロースは、*S. cerevisiae* のキシルロースキナーゼ(XK)によってキシルロース5-リン酸に代謝される。これらの酵素の発現は、いずれもグルコース・キシロースの抑制を受けず、常時、発現するように変えられている。

キシルロース5-リン酸は、ペントースリン酸回路を経て、解糖系に入りエタノールへと変換できるので、効率良くエタノールを生産できると期待されたが、これまでに得られているXR-XDH系組換え酵母菌のエタノール収率は低い。これは、XRとXDHの補酵素が、それ

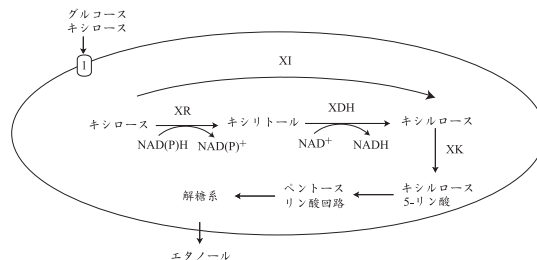


図1. キシロース代謝；キシロースからキシルロース5-リン酸への変換

ぞれNADPHとNAD⁺と異なるため細胞内の補酵素バランスが崩れ、これらの補酵素を補うために、さまざまな副産物が生産されることが原因と考えられている。

この問題を解決するために、さまざまな研究が行われている。その一つは、XR遺伝子の270番目のアミノ酸であるリジンをアルギニンに、272番目のアスパラギンをアスパラギン酸に置換変異させ、補酵素の要求性をNADPHからNADHに変換する方法である。この方法により、細胞内の補酵素のアンバランスが軽減され、エタノール収率が向上することが報告されている³⁾。もう一つの方法として、*Orpinomyces*や*Piromyces*などのカビ類の持つキシロースイソメラーゼ(XI)をXR-XDH系の代わりに用いる方法がある。XIは、キシロースを直接キシルロースに変換する異性化酵素であり、XRやXDHのような補酵素を要求しない。このため、細胞内の補酵素バランスが崩れることもなく、副産物もほとんど生産されず、効率的なエタノール生産ができることも報告されている⁴⁾。しかしながら、組換えられた *S. cerevisiae* において、XI活性は低いという問題点が残っており、実用化には至っていない。今後、新規微生物からより活性の高いXIの発見が期待される。

石油の埋蔵量は年々減少し、さらに地球環境のことを考え合わせると、石油に代わるクリーンエネルギーの開発は必須である。現在、多くの研究者がさまざまな技術の開発に取り組んでいる。将来的に、これらの技術開発に成功し、実用化されることで、石油に頼らない炭素循環型社会が構築されることを期待している。

- 1) <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/energy-strategy/senryaku-youyaku.pdf>
- 2) Chu, B. C. H. *et al.*: *Biotechnol. Advances*, **25**, 425 (2007).
- 3) Runquist, D. *et al.*: *Appl. Environ. Microbiol.*, **76**, 7796 (2010).
- 4) Tanino, T. *et al.*: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **88**, 1215 (2010).