“生澱粉の糖化”—総括

中 村 道 徳*

Summarization—Degradation of Starch Granules

Michinori NAKAMURA

*Nodai Research Institute, Tokyo University of Agriculture
(1-1-1, Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156, Japan)*

石油ショック以来、化石燃料エネルギーの節約が大きな目標とされているが、その一つ的手段として無蒸煮澱粉原料の糖化、すなわち生の澱粉粒をそのまま糖化しうるアミラーゼが研究されている。元来、澱粉粒を水とともに加熱糊化して利用するのは人間だけであるから、ふつうのアミラーゼが生澱粉を消化しうるのはむしろ当然のことであろう。しかし、微生物の生産するアミラーゼについてみても、生澱粉分解活性は微生物の種類により、また同一の微生物でも multiple forms の種類によって異なる。生澱粉の糖化を経済的に、産業的に行うには、微生物を選び、酵素を比較する必要があるわけである。

アミラーゼによる生澱粉の糖化に関して、今日は山本先生をはじめとして、いくつかの実例が述べられたが、一般的なこととして、二、三、気をつくことをあげてみたい。

1. 各種アミラーゼの生澱粉分解活性

最近生澱粉を分解しうるアミラーゼが多数報告されている。そのいくつかを Table 1 に示した。表に示すように、生澱粉を分解しうるアミラーゼは α -アミラーゼ、グルコアミラーゼ、および微生物起源の β -アミラーゼである。植物の β -アミラーゼや植物、微生物の“枝切り酵素”（イソアミラーゼ、ブルナーゼ、R-酵素）は澱粉粒を分解できない。枝切り酵素や植物の β -アミラーゼは、澱粉粒に α -アミラーゼが作用して可溶化された相当高分子のデキストリンに作用するのであろう。植物の β -アミラーゼが澱粉粒をほとんど分解できないのに反し、微生物起源の β -アミラーゼに生澱粉分解活性が報告されているのは興味あることである。微生物の

β - は α -アミラーゼと共存していないのであろうか。また α -グルコシダーゼの中には澱粉のような巨大基質にも作用しうるものがあることが知られているが、生の澱粉粒に対してはどのような作用様式を示すのであろうか。この反応の生理的意義とともに、興味ある対象である。またバレイショのホスホリラーゼは澱粉粒を分解できないが、これはホスホリラーゼ一般にいうことなのかどうか問題がある。植物ではホスホリラーゼは澱粉の存在するところ、ほとんど必ず存在する酵素であるだけ、その生理・生化学的意義は重要である。

2. 生澱粉分解活性の測定法

アミラーゼによる生の澱粉粒の分解は二つの意味で注目されている。一つはコーンスターチやコメの澱粉のように、産業的に大量に用いられる澱粉を加熱糊化せずに分解する際のメリットであり、もう一つはカンナやバレイショの澱粉のようにふつうのアミラーゼで分解されにくい表面構造の澱粉粒をとくに有効に分解しうるアミラーゼが存在することである。

第一の場合にもっとも注意しなければならないことは基質であろう。コーンスターチを用いるとしても、原料コーンの品種、栽培条件、収穫後の保存条件、澱粉の製造方法、澱粉粒の粒度分布等によって分解速度は大きく変化することが考えられる。いつでも、どこでも、同じような基質が得られることが必要である。この方法では貝沼が提案しているように（生澱粉に対する活性）/（糊化澱粉に対する活性）の比が重要であるが、生澱粉を基質とした比活性（生澱粉の分解活性/mg 酵素蛋白質）も必要である。実際問題としては各酵素の収量、最適 pH、最適温度、安定性も重要である。

第二の点は、経済的、産業的な面からよりは、澱粉粒

* 東京農業大学総合研究所（156 東京都世田谷区桜丘 1-1-1）

Table 1. Raw starch-hydrolyzing amylase.

Origin	Amylase type	Reference
<i>Aspergillus awamori</i>	gluco	S. Ueda 1951
<i>Rhizopus</i> sp.	gluco	S. Ueda 1975
<i>Streptococcus bovis</i>	α -	K. Mizokami 1977
<i>Bacillus polymyxa</i>	β -	S. Ueda 1980
<i>Bacillus circulans</i> F-2	α -	H. Taniguchi 1982
<i>Endomycopsis fibuligera</i>	gluco	S. Ueda 1983
<i>Rhizopus niveus</i>	gluco	S. Ueda 1983
<i>Chalara paradoxa</i>	gluco	K. Kainuma 1985
<i>Aspergillus</i> sp. K-27	gluco	S. Hizukuri 1985
<i>Rhizopus oryzae</i>	gluco	H. Yoshizumi 1986
<i>Colticium rolfsii</i>	gluco	S. Takao 1986
<i>Bacillus</i> sp.	β -	S. Miyoshi 1986

の構造と関連した学問的な見地から興味を持たれる。

3. 澱粉粒の表面構造について

澱粉粒がアミラーゼや酸、物理的刺激により分解される場合、種々の分解様式がとられる。澱粉粒の種類とアミラーゼの種類の組み合わせにより、いろいろな分解様式があることは、古く Gallant ら¹⁾ によって報告され、澱粉粒に垂直方向に穴がけられたり、表面に沿って erosion を受けたり、またバレイショ澱粉によくみられるが段丘状に浸蝕を受けたり、種々様々な分解様式を示している。澱粉粒の分解様式は澱粉粒の構造を反映するものであるから、澱粉粒の構造を知るうえで重要である。現在の SEM ではバレイショとメイズの澱粉の表面構造の差を知るには不十分である。なんとかよい方法を開発する必要がある。

4. 生澱粉分解アミラーゼの澱粉粒結合部位について

九大の林田教授²⁾ らの研究によると、白麹菌のアミラーゼ系を分画して、生澱粉分解活性の高い画分と低い画分を得ている。生澱粉分解活性の高いグルコアミラーゼをプロテアーゼで部分分解すると、得られた部分は、アミラーゼ活性(糊化澱粉基質)はプロテアーゼ処理前と大差ないが、生澱粉を分解する活性は失われている。最近報告されている研究³⁾ においても、*R. oryzae* から三つのグルコアミラーゼを分別している。この三つのうち、分子量のもっとも大きいものは生澱粉分解活性があるが、分子量の小さいものは生澱粉分解活性がない。その他の研究結果と一緒に考えると、この人は生澱粉分解活性のある酵素は catalytic site と starch granule-binding site と二つのドメインが必要であると結論している。この生澱粉結合部位に対する遺伝学的な研究も行われ、

cloning も行われているようである。糊化澱粉に対する活性は高いが、生澱粉分解活性の低いアミラーゼにこの結合部位を添加して、生澱粉分解活性の高いアミラーゼを作らせることも将来は可能であろう。

5. 生澱粉分解活性の高いアミラーゼの利用の可能性

1) 澱粉粒よりアルコールの製造 ブラジルではさとうきびからの醸酵アルコールがガスホールとして利用されており、さとうもろこし、キャッサバ(マンジョーカ)もアルコール醸酵の原料澱粉として考えられている(この点に関しては山本武彦、上田誠之助両教授の貢献は大である)。日本でもサントリー(株)の人達の無蒸煮アルコール製造が昨年農化会技術賞を受けていることは記憶に新しい。澱粉質を無蒸煮でアルコール醸酵させるということとは、蒸煮に必要なエネルギーを節約することがいちばん大きい目標であるが、

原料澱粉 $\xrightarrow{\text{加熱}}$ 糊化 $\xrightarrow{\text{冷却}}$

糖化、アルコール醸酵 $\xrightarrow{\text{加熱}}$ アルコール蒸留

という一連の操作の中で、いちばん大量のエネルギーを必要とするのは最後のアルコール分別の段階である。このアルコールの分別に、膜なり、何かエネルギーを節約する方法を用いることがもっとも必要な点であろう。現在の蒸留によるアルコールと水の分別が行われるかぎりむしろ醸酵を現在よりももっと高温で行いうる菌を探し出し、あるいは作り出す研究が必要であろう。エネルギーは加熱したり冷却したりするから損失が多くなるのであって、高温で一貫操作ができればそれほどの損失はないだろうと思われる。

2) アルコール性飲料の無蒸煮醸酵 日本でも昔から

“かみ酒”として生米を口でかみ、唾液のアミラーゼで糖化して醗酵させる酒作りがある。また最近では醸試で生の米を用いた無蒸煮の日本酒の醸造が試みられている。“生澱粉の糖化”という点からみれば、十分可能な問題であると思われるが、要は“酒造り”と“アルコール醗酵”は全然別の問題であるということである。アルコール醗酵だけならば37℃近辺で醗酵させるほうが効率的であろうが、日本酒をはじめ、多くの酒は低温環境下で酒造りが行われている。これはアルコール以外の副産物（高級アルコールやそのエステル類等）の種類と量が酒の“おいしさ”に関係しているからであろう。要するに“おいしいお酒”ができるような条件さえみつければ、生米を用いた無蒸煮醗酵は十分実用価値が生じてくるで

あろう。

本原稿は、シンポジウム“生澱粉の糖化”の際、中村道徳先生よりいただきましたので、ここに掲載させていただきます。（編集部）

文 献

- 1) D. GALLANT, A. DERRIEN, A. AUMAITRE and A. GUILBOT: *Stärke*, **25**, 56 (1973).
- 2) 林田晋策: 澱粉科学, **32**, 177 (1985).
- 3) T. ASHIKARI, N. NAKAMURA, Y. TANAKA, N. KIUCHI, Y. SHIBANO, T. TANAKA, T. AMACHI and H. YOSHIKUMI: *Agric. Biol. Chem.*, **50**, 957 (1986).