

涙のないタマネギ『スマイルボール』とその関連技術の開発



ハウス食品グループ本社株式会社

はじめに

タマネギ (*Allium cepa L.*) はネギ属に分類され、その起源は中央アジアと言われている。タマネギの歴史は非常に古く、5,000年前の古代エジプト時代から栽培、消費されてきたことが記録されている。タマネギの最大の特徴は、催涙性や舌が焼けるような辛みと特有の香味である。この特徴は多くの国の食文化において調理に活用され、現在、タマネギは世界中で栽培されている重要な野菜の一つとなっている。年間生産量は世界第2位のおおよそ1.1億トンであり、日本では120万トンが生産されている。

ここではハウス食品グループが進めてきたタマネギ研究の取り組みとして「催涙成分合成酵素 (Lachrymatory Factor Synthase: LFS) の発見から涙のないタマネギの作出」を中心にその関連技術の開発について述べる。

1. タマネギ研究のきっかけと催涙成分合成酵素の発見

生タマネギを切った時に感じる催涙性やタマネギ特有の匂いは誰もが体感したことがあると思う。しかしながら、催涙成分 (Lachrymatory Factor: LF) が、元々タマネギ中に存在するものではなく、タマネギの組織や細胞が破碎されたことによって初めて生成されるものだということはそれほど知られていない。タマネギを切ると、タマネギ中に豊富に含まれる含硫化合物である *trans*-1-propenyl-L-cysteine sulfoxide (PRENCSO) がアリイナーゼによって分解されて生じる 1-propene-1-sulfenic acid (PSA) を経て、LF が生成される。アリイナーゼ分解後の反応、すなわち、PSA から LFへの変換は、長い間、非酵素的に進むとされてきた。しかし、この反応に LFS が関与していることが弊社の研究により明らかになった (図1)¹⁾。

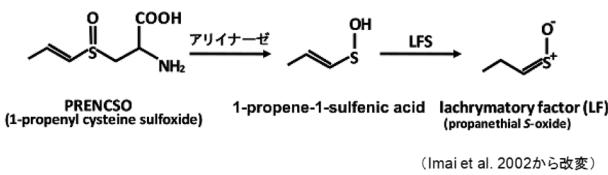


図1. タマネギの催涙成分生成経路

この研究のきっかけは、レトルトカレーの製造工程でのトラブルであった。レトルトカレーの製造では、タマネギとニンニクを炒める工程がある。通常、この工程では、きつね色の炒煎物が得られるが、これが緑色になってしまう現象（緑変）が観察された。

緑変は、原料中の成分が設計外の反応をしている結果であり、食品製造上、大きな問題である。そこで、この緑変がどのような機構で発生するのかを科学的に解明する研究を開始した。その結果、緑変現象には、タマネギ中の PRENCSO、ニン

ニク中の Alliin (ACSO)，これらを分解する酵素アリイナーゼ、アミノ酸の4つの成分が関与することを明らかとし、緑変の発生を防止する根本的な解決策をたてることができた。

その研究の過程で、実験に用いていた粗精製アリイナーゼがニンニク由来である方が、タマネギ由来である時よりも、常に多くの緑変色素が誘導されることが見出された。この気づきをもとに検討を進めた結果、PRENCSO をタマネギ由来のアリイナーゼ（粗精製物）で分解すると、催涙成分が検出されたのに對し、PRENCSO をニンニク由来アリイナーゼ（粗精製物）や、單一に精製したタマネギ由来のアリイナーゼで分解した場合には催涙成分は全く検出されないことが判明した（図2）。

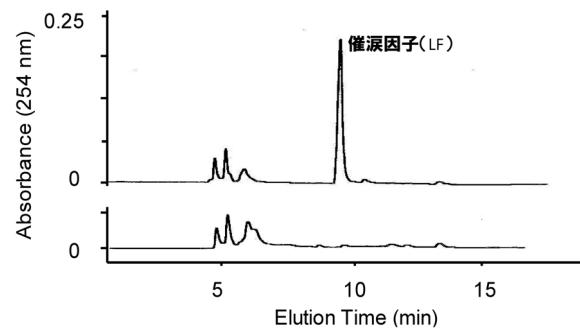


図2. 粗精製アリイナーゼの由来と催涙成分の関係
上：タマネギ由来の粗精製アリイナーゼ使用
下：ニンニク由来の粗精製アリイナーゼ使用

PRENCSO をアリイナーゼで分解すると催涙成分が生成すると言うことが当時は定説になっていたが、得られた実験結果から、定説が間違いであることと、PRENCSO から催涙成分を生成するには、アリイナーゼ以外の別の成分が必要であり、その成分はタマネギ由来のアリイナーゼ（粗精製物）に含まれていることが分かった。またタマネギ由来のアリイナーゼ（粗精製物）で PRENCSO を分解すると、分解物の一部が催涙成分になってしまったため、色素中間体の量はその分減っていたことが、色素生成量の違いの原因であった。

その後、弊社では、タマネギ由来のアリイナーゼ（粗精製物）から催涙成分を生成する成分の精製を行い、催涙成分合成酵素 (LFS) と命名した新しい酵素を発見した。

2. 涙のないタマネギ『スマイルボール』の開発

LFS の発見は、非酵素的に進行するために制御できないと考えられていた LF 生成が特異的な遺伝子 (アリイナーゼ, LFS) によって制御されていることを明らかとした。このことは突然変異誘発、古典的な育種といった手段を用いることで催涙性を示さない「涙のないタマネギ」作出の可能性を示唆した。

そこで弊社では、非遺伝子組み換えアプローチによる作出を目指して、理化学研究所にご協力いただき、重イオンビームに

よる突然変異誘発を進めた。具体的には、Neイオンビーム照射したタマネギ乾燥種子群を出発材料として、照射種子からのタマネギ球栽培、収穫タマネギ球集団からの目的個体の選抜、選抜個体からの採種、その後代の栽培・選抜・採種を繰り返した。

例えば、花の色、草丈など外観の異なる変異体であれば、栽培集団からの選抜は比較的容易であると考える。しかしながら、涙のない形質は外から観察しても違いを見出すことはできない。従って、目的個体の選抜は、収穫した全てのタマネギの成分変化や遺伝子の働きを調べていくという長い過程であった。過去からのタマネギ研究の技術蓄積をベースにした効率的で論理的な判定法を確立できたことが成功のカギになったと考えている。このような選抜・育種を続けた結果、4世代目に2系統(#6系統, #10系統)の涙のないタマネギの作出に成功した。その2系統のLF生成量を示した(図3)。

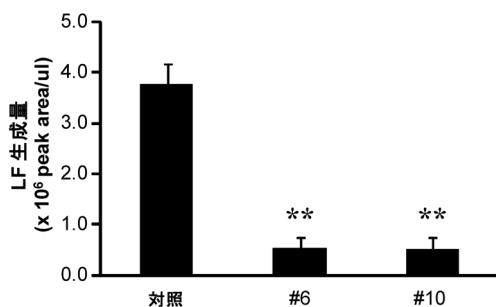


図3. 催涙成分生成量の比較(組織破碎90秒後)
対照は長日系の一般的なタマネギ5個体の平均値。
#6, 10は19個体の平均値。誤差線は標準偏差。
**はDunnett法で1%以下の有意差。

またこれら系統を解析した結果、催涙成分の生成に関与する3つの成分(PRENCSO, アリイナーゼ, LFS)のうち、主要なアリイナーゼ遺伝子が欠損していることが判明した。さらに、このアリイナーゼ欠損タマネギでは、催涙成分による辛みも著しく低下し、催涙性が無いだけでなく、通常は強い辛みのため感じることが出来ない甘さを生食時も楽しめる新しい価値もあることがわかった。タマネギのアリイナーゼはmulti copy geneであるが、高発現している1つの主要なアリイナーゼが存在し、それを欠損させることで、涙のない、辛みのない形質を持ったタマネギができたのである⁴⁾。このタマネギの形質を固定化し、北海道にて商業的な栽培・商品化を図り、商品名『スマイルボール』として2015年より市販するに至っている。

表1. スマイルボールの特徴

	普通タマネギ	新タマネギ	スマイルボール
特徴	一般的なタマネギ。 ほぼ一年中流通。	2~5ヶ月限定のみずみずしくて辛みのないタマネギ。 「東州タマネギ」など。	ハウスが世界で初めて開発した辛みゼロのタマネギ。 遺伝子組換えではない。
辛み(LF)	強い	弱い	感じない
甘み(糖度)	8-10	4-6	8-10
ケルセチン	基準=1 とすると	0.25	1.0

このタマネギの催涙性や辛みのない形質は後代に遺伝可能であった。現在、新たな涙のない、辛みのないタマネギを生み出す育種親として使用し、辛みのないタマネギカテゴリー創出を目指した育種が進んでいる。また弊社では、交配後の選抜に

役立つ新たな遺伝子マークも作製し、育種の過程での活用も進んでいる。

3. 関連技術の開発

催涙成分の発生機構解明で得られた知見をもとに、保存性の高い『催涙キット』の開発、アリイナーゼではなくLFSを標的にしたLFS抑制タマネギの作出とその成分分析にも発展している²⁾。催涙キットは、弘前COIの大規模健診にて、涙液採取に用いられ、涙液成分と健康との関係を解析する研究に活用されている。またLFS抑制タマネギに関しては、LFSを抑制することで新たな機能性成分が増加することが見いだされ、機能性成分研究に寄与している³⁾。その他にもLFSはスルフェン酸を基質にする新しいタイプの酵素であったため、立体構造の解析も進み、詳細な反応機構も解明された⁵⁾。このように基礎研究分野での成果にも繋がっている。

おわりに

我々は、製造現場で起きた変色現象の反応機構の解明から、タマネギの催涙成分生成に重要な酵素LFSを発見した。また研究結果をもとに、涙のない新しいタマネギを実用化した。

今回作出したタマネギは辛みがないので“水さらし”をすることなく生食できる。この特性は、調理時の手軽さを提供することに加え、水さらしによる成分の流出を抑え、タマネギ本来の甘さや栄養をまるごと摂取することに繋がる。それに加え、辛みがないことで、厚切りタマネギを生食したり、タマネギをそのままジュースにして摂ったりといった“タマネギの新しい生食場面”を提供することができるを考える。

我々は、このタマネギが、食の楽しさを抜け、お客様の涙を減らすだけでなく、お客様の笑顔が増えることに繋がると考えている。このタマネギが世の中のタマネギの食べ方を変え、いつの日か、タマネギの代名詞が「涙や辛さから、甘さや美味しさに置き換わることを目指して今後も研究開発に取り組んでいきたい。

(引用文献)

- 1) Imai S., Tsuge N., Tomotake M., Nagatome Y., Sawada H., Nagata T., Kumagai H. An onion enzyme that kakes eyes water. Nature, 419 (6908), 685 (2002).
- 2) Eady C.C., Kamoi T., Kato M., Porter N. G., Davis S., Shaw M., Kamoi A., Imai S., Silencing onion lachrymatory factor synthase causes a significant change in the sulfur secondary metabolite profile. Plant Physiology, 147, 2096-20106 (2008).
- 3) Aoyagi M., Kamoi T., Kato M., Sasako H., Tsuge N., Imai S., Structure and bioactivity of thiosulfinate resulting from suppression of lachrymatory factor synthase in onion. J. Agric. Food Chem., 59, 10893-10900 (2011).
- 4) Kato M., Masamura N., Shono J., Okamoto D., Abe T., Imai S., Production and Characterization of tearless and non-pungent onion. Scientific Reports 6: 23779 DOI: 10.1038/srep23779 (2016).
- 5) Arakawa T., Sato Y., Yamada M., Takebe J., Moriwaki Y., Masamura N., Kato M., Aoyagi M., Kamoi T., Terada T., Shimizu K., Tsuge N., Imai S., Fushinobu S., Dissecting the stereocontrolled conversion of short-lived sulfenic acid by lachrymatory factor synthase. ACS Catal. 10, 9-19 (2020).

謝 辞 本賞に推薦いただきました石川県立大学熊谷英彦先生、並びにご指導・共創いただいた皆様方に心より御礼申し上げます。