

高温ストレスに強い イネの分子育種への戦略

東京理科大学 基礎工学部 生物工学科 教授 しまだ ひろあき
島田 浩章

はじめに

地球温暖化が現実化しつつある今、化石燃料依存からの脱却とバイオマス資源の有効活用が重要課題となっています。世界人口が増加し続ける現状では無秩序な植物バイオマスの流用は食糧供給の面で大きな不安材料となります。そこで穀物の生産性の向上を目指す研究が欠かせません。一方、我が国では少子高齢化が進行しており、これにともなうライフスタイルの変化が起こっています。消費者のさまざまなニーズに応じたきめ細やかな食品の提供が求められ、良食味・機能性食品などの開発が必要とされています。また、二酸化炭素などの温暖化効果ガスの増加に伴う地球温暖化が現実化しつつある今、地球規模の気候変動による食糧供給課題への解決のために、これに対する積極的な関与が求められています。

さまざまなストレスに対する耐性を有する植物は極めて高度な複雑系であり、さらにフィールド環境では集団としての環境応答機構はますます複雑なものとなるため、分子レベルでの応答機構を知ることは非常に困難です。

近年、ゲノム解析やメタボローム解析と呼ばれる新しい研究手法が開発され、これらにより、生産性に関わる重要な遺伝因子が明らかになってきました。また、生産過程において改善すべきボトルネックとなる因子も明らかになってきました。遺伝的に備わる能力を分子遺伝学的な手法を加味することで、この

能力を高めることは可能であると考えられています。これらを組み合わせることでボトルネックとなっているところを解消し、遺伝的能力を強化することができ、これらによる相乗的な効果によりバイオマスの生産性を高めることが可能になります。

高温環境ではイネも夏バテする

私たちは、高温環境で実りの時期を迎えたイネの種子ではどういったことが起こっているかを調べました。イネの種子が熟する期間（登熟期という）では、貯蔵デンプンや貯蔵タンパク質の生合成に関わるさまざまな遺伝子が発現し機能します。登熟期に高温ストレスを受けたイネの種子は十分量のデンプンができず、すき間だらけのコメ（その結果、白濁したコメとなる）が生じてしまいます。これを高温登熟障害といいます。これらのコメは商品価値が非常に低いものとなります。

イネの突然変異体の中に*fla2*変異体というものがあります。この変異体では高温ストレスを受けたコメと同じく、貯蔵デンプンの生産が十分でなく白濁したコメが生じます。この変異体のコメでは登熟期に貯蔵デンプンの生合成に関わる遺伝子だけではなく、ATP合成系の遺伝子群の働きも低下することが明らかになっています。そこで、「日本晴」という品種のイネを用いて高温ストレスを受けた登熟期のコメではATPの量がどのように変化しているかを調べてみました。その結果、登熟期の高温ストレスによりATP量が大き

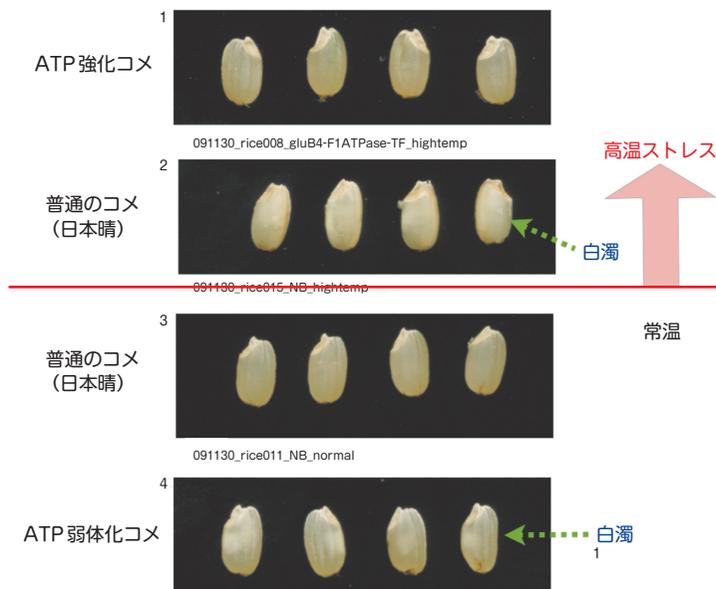


図1 ATP合成酵素遺伝子を導入した形質転換体イネおよび機能抑制した形質転換体イネの種子(玄米)の形態

1と2: ATP合成酵素遺伝子を導入した形質転換体イネ(1)と導入しないイネ(2)の種子を高温環境で登熟させて得られたコメ(玄米)の形態。3と4: 非形質転換体(普通のイネ)(3)とATP合成酵素遺伝子に対するRNAiを導入した形質転換体イネ(4)の種子を常温環境で登熟させて得られたコメ(玄米)の形態。高温登熟障害を受けたコメの白濁が起こる(2)。ATP合成酵素遺伝子の機能を抑制したコメは常温で登熟した場合でも高温登熟障害と同様の白濁が起こった(4)。

く減少することが明らかになりました。

高温ストレスに強いイネは ATPが豊富にある

登熟期のイネの種子はコメが熟すためにエネルギーが大量に必要です。またデンプンの生合成にも大量のATPを消費します。これが不足することで十分量のデンプンができないことが強く示唆されました。ATPは生命現象を動かす主軸通貨のようなエネルギー物質です。これが足りないということはイネも暑さに負けて夏バテしているということを示していると考えられます。言い換えれば、高温に強いイネを育成するために夏バテにくいATPの豊富なイネを選択すればよいと考えられます。

私たちは遺伝子組換え技術を用いてATP合成酵素の遺伝子を導入して登熟中のイネの種子のATP合成量を高めてみました。また

同時にRNAi技術を利用してATP合成量を減らした形質転換体を作成しました。これらの植物に実ったコメについて形態を調べてみると、ATP合成量を高めた形質転換体植物では、高温ストレスを与えた環境条件で育てた場合でも種子の白濁は認められず、高温登熟障害が緩和されることが分かりました。一方、ATP合成量を低下させた形質転換体植物では、通常の温度条件で育てた場合でも種子の白濁が起きました(図1)。このことから登熟期の種子のATP量が十分であれば高温登熟障害を回避することが可能であることが明らかとなりました。

日本では「コシヒカリ」という品種のイネが最も多く栽培されています。コシヒカリは「農林1号」と「農林22号」の2つの品種のイネを交配して作られた品種です。昭和31年に農林100号として品種登録されています。これまでに栽培されていたイネのどれよりも

表1 代表的なイネ品種における高温登熟障害が現れたコメの割合

	神力		金南風		農林1号		日本晴		農林22号	
	常温	高温	常温	高温	常温	高温	常温	高温	常温	高温
正常	96.0	76.0	43.4	44.6	96.2	40.0	97.4	7.1	92.3	4.2
部分的な白濁	4.0	24.0	55.3	55.4	3.8	60.0	2.6	92.9	7.7	70.8
全乳白	0	0	1.3	0	0	0	0	0	0	25.0

玄米の品質を正常、部分的な白濁、全乳白に分類して示した。白濁は高温登熟障害によって生じる。全乳白はすべてが濁った非常に品質の悪いコメであり、非常に強い障害が起こったことを示す。

良食味であるということで昭和50年代以降に多く栽培されるようになりました。最近では「ひとめぼれ」や「あきたこまち」、「ヒノヒカリ」などいろいろな新しい品種のコメが市場に出回っています。これらはコシヒカリと何かを交配して作られた品種かその子孫です。

農林1号は昭和6年に日本で初めて農林省により登録されたイネ品種です。これは早生で多収量品種であり、寒さに強いという形質を持っています。冷害に強く東北での稲作に大きく貢献したものです。一方、農林22号は昭和18年に農林登録された品種で、味が良く、多収量で病気に強いという特性を持っています。なお、私たちが実験に用いた日本晴は農林22号をルーツにもつ品種です。

イネは熱帯地方を原産地とする植物なので本来は暑さに強いと考えられます。なぜ日本のイネは夏バテをするのでしょうか？

これは大きな疑問です。そこで、入手可能なさまざまな日本のイネの品種について高温ストレスへの影響の違いを調べてみました。その結果、調べたイネ品種の中で農林22号が最も高温ストレスに弱いことが明らかとなりました。また、農林22号の子孫である品種の多くも強い高温登熟障害の症状を示しました。一方、古い品種（在来種）である「神力」や「金南風」は高温ストレスに強いことが分かりました（表1）。

高温環境で登熟させた種子のATP量を測定したところ、高温登熟障害が現れた品種はどれも高温ストレスによってATP量が大き

く減少していましたが、「神力」や「金南風」はATPの減少量が少ないことが分かりました。

おわりに

日本では、東北や北海道の寒い地方でイネを栽培したいという悲願がありました。そのために寒さに強いイネを育種することに注力されていました。

一方、旨い米を食べたいという欲求が「コシヒカリ」を生み出しました。今でもコシヒカリを基準にしたイネの育種が行われています。

これは推測に過ぎませんが、イネの育種をしている過程で暑さに強いというイネ本来の形質をどこかで置き忘れたのではないかと思います。私たちが見つけた高温ストレスに強い古いイネの品種は現在はほとんど栽培されていません。これらは栽培しにくいなどいろいろな面でも問題があります。食味もよくありません。また、現在の日本の稲作農業は「コシヒカリ」を栽培することを前提にした農業機械が開発されており、古い品種に現在の機械化農法を適用することは容易ではありません。そのため、暑さに強いというだけで単純にこれに戻せばよいというわけではありません。

しかし、在来品種の中に高温ストレスに強い品種があることが分かったことは、今後の地球温暖化時代に向けた新しいイネを育成するためには重要な知見であると考えられます。