

平成 25 年 11 月 5 日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学

イネの細胞壁を改変することにより、バイオエタノール材料となるセルロース量増加に成功

研究成果のポイント

1. 植物繊維に含まれるセルロースは、バイオエタノール原料として有望です。イネの植物繊維におけるセルロース含量を高めることに成功しました。
2. バイオエタノールを生産する上で不利となるヘミセルロースの分解酵素(アラビノフラノシダーゼ)の活性を高めることにより、イネの生育には影響を与えることなく、ヘミセルロースを減少させると同時にセルロースを増加させ、バイオエタノール生産効率の良いイネの作出に成功したものです。
3. セルロースが増加したことにより、葉が折れにくいという性質も生じました。
4. 1つの酵素の発現量を操作したことで細胞壁全体に影響が及んだことから、細胞壁全体の構築に関して重要な示唆が得られました。

国立大学法人筑波大学（以下「筑波大学」という）生命環境系の岩井宏暁講師らは、陸上に貯蔵されているバイオマスの大半を占める植物細胞壁（植物繊維）を、アラビノフラノシダーゼという酵素の活性を高めることで改変することにより、バイオ燃料生産にとって有用なセルロース量の多いイネの作出に成功しました。

近年、地球温暖化や化石燃料資源の枯渇、原子力発電に替るクリーンエネルギー開発の必要性から、新エネルギーの開発に高い関心が集まっています。そのような新エネルギーの1つとして、バイオ燃料の実用化に向けた研究開発が注目されています。

しかし、糖分に富む食用可能な作物からのバイオエタノールの生産は容易ですが、食糧供給との兼ね合いから実用化に困難が伴います。一方、食用に適さない植物繊維からのバイオエタノール生産ならば食糧問題との兼ね合いは回避されますが、バイオエタノール生産工程の効率化、低コスト化が課題視されています。そこでの大きな課題は、バイオエタノールの原料となるセルロースが、植物繊維では分解されにくい状態で存在しているため、下処理をしてセルロースを取り出した上で糖に分解し、エタノールを生産する過程が介在することです。

これまで、植物繊維材料からのエタノール生産工程の改良に関わる研究はなされてきました。本研究は、視点を変え、材料そのものの改変を目指したものです。本研究により、米は食用に回す一方で、食用とはならない稲わらの部分は、バイオエタノール生産効率の高い材料として利用する道が開けることが期待されます。

この成果は、11月4日（日本時間5日朝）付で米国オンライン科学誌「PLOS ONE（プロスワン）」に掲載されます。

* 本研究は農林水産省委託プロジェクト「新農業展開ゲノムプロジェクト」及び新学術領域研究「植物細胞壁の情報処理システム」により行われているものです。

研究の背景

バイオ燃料の実用化に向け、植物細胞壁を構成する植物繊維が注目されています。陸上に貯蔵された炭素「バイオマス」の大半は植物細胞壁という形で貯蔵されているからです。その上、食用に適さない木質や繊維といったバイオマスを原料としたバイオ燃料を利用することは、食物供給に抵触することはありません。しかも、植物の光合成によるカーボンニュートラル¹な資源であるため、その普及により、温室効果ガスの削減が期待されています。

しかし、バイオ燃料の原料となるセルロースは、植物細胞壁の主成分ではありますが、ヘミセルロースやペクチンといったマトリクス多糖に覆われた架橋ネットワークを形成しています。そのため、そのままの状態での酵素分解が困難であり、加工に高い生産コストがかかることが問題視されています。現在までのところ、セルロース性バイオマスの酵素分解を行う微生物側の研究はなされていますが、植物細胞壁に関する知見は、複雑な構造をとるがゆえに乏しいのが現状です。

そのこともあって、植物側の細胞壁を改変してバイオ燃料生産効率の良い植物の作出は困難でした。これまでも細胞壁の改変植物の報告はありましたが、細胞壁に与える影響が大きすぎるせいで、環境にも、物理的にも弱いだけでなく、矮性のもが多いというのが現状でした。実用化可能な細胞壁の改変には、発達段階における細胞壁ネットワークの構築機構を理解し、その役割を考慮した細胞壁改変植物を作出する必要があります。

研究内容と成果

今回の研究では、セルロースを架橋する多糖ヘミセルロースの1種であるアラビノキシランを分解する酵素の遺伝子を過剰に発現させることで、細胞壁架橋レベルを調節し、セルロース含量の高い細胞壁をもつイネを選抜しました。その結果、イネが本来もっている酵素であるアラビノフラノシダーゼを過剰発現させた株において、架橋性多糖であるアラビノキシランが約 20%減少すると同時に、セルロース含量が約 30%増加したことが確認されました。しかも、アラビノキシランの減少にも関わらず、草丈や稔実率には影響がなく、力学的強度も増加傾向を示しました。これはヘミセルロースの減少がセルロースにより補われたためと考えています。

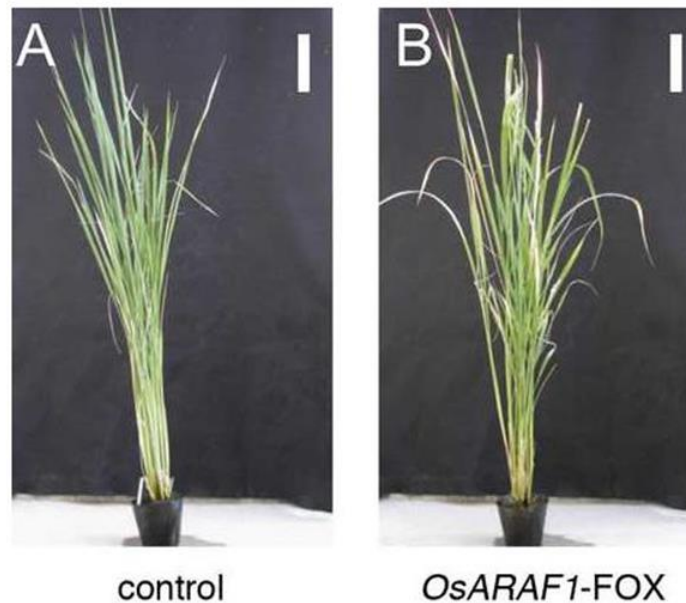
また、葉のような組織で起きている影響を観察したところ、アラビノキシランを認識する抗体では特に維管束や表皮でシグナルが減少していたのに対し、セルロースを染色すると、葉の中央を縦に通っている太い葉脈周辺の細胞や篩部といった力学的強度に関わる組織でシグナルが上がっていました。イネでは維管束がバラバラであるため、姿勢制御に対する強度への影響が少なく、セルロース含量が高いことが生育にポジティブに働いたと考えられます。さらに、このセルロースの増加により、物理的強度が上昇する傾向と稲わらにおける糖化効率の上昇が見られました。

生育に影響が及ぶことなく、セルロースの増加による糖化効率の良いイネの作出に成功した原因は、内在性の分解酵素を用いた細胞壁の改変を行ったことで、植物の補償作用が引き出されたためと考えられます。加えて、この細胞壁改変は、セルロース性バイオ燃料を生産する上で有効であることを示すことができました。

今後の展開

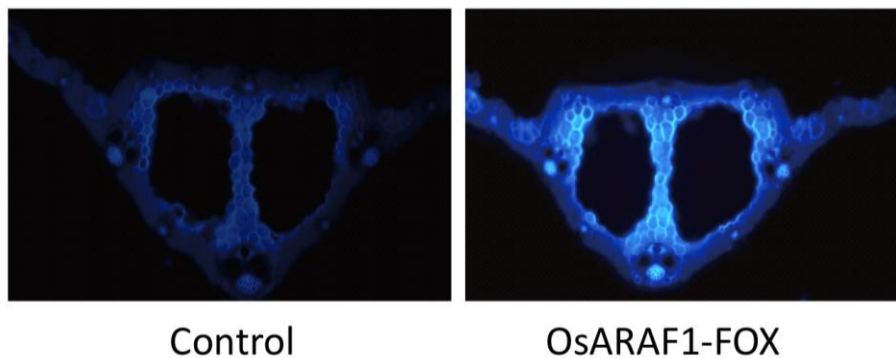
今後、形態的な変化のない細胞壁を改変させたイネを用いた研究を進めます。たとえば、イネの主要な病原菌であるいもち菌の感染といった病害ストレスや塩ストレスのようなストレス応答実験を通して、細胞壁の変化が生理現象に与える影響の調査が考えられます。そのような研究により、細胞壁多糖類の役割のさらなる解明が期待されます。また、今回作出に成功した細胞壁改変イネは、可食部である種子には影響がありませんでした。このことから、米の収穫を済ませた後の稲わらからバイオエタノールを効率よく製造できることが期待されます。

参考図



アラビノキシラン分解酵素の過剰発現株では野生株と比較しても成長に影響は見られなかった。

A: 野生株、B: 細胞壁改変株。



セルロース染色をした顕微鏡像。

左: 野生株、右: 細胞壁改変株。細胞壁改変株では、青白いセルロースのシグナルが野生株より多く観察された。

用語解説

1. カーボンニュートラル

植物は地中から水を、大気から二酸化炭素を取り込み、光のエネルギーを利用して光合成を行って成長します。バイオエタノールをエネルギーとして使用し、燃焼によって二酸化炭素を放出しても、植物が大気中の二酸化炭素を吸収して成長することから、最終的には二酸化炭素を増加させない重要な性質があります。つまり、バイオエタノールを自動車燃料として使用した場合、放出した二酸化炭素は、植物が成長過程で吸収した二酸化炭素を放出していることとなります。この構図をカーボンニュートラルといいます。

(参考: 小泉達治「バイオエタノールと世界の食料需給」筑波書房)

掲載論文

Increase in cellulose accumulation and improvement of saccharification by overexpression of arabinofuranosidase in rice.

論文題名(和訳):アラビノフラノシダーゼ過剰発現したイネにおけるセルロース蓄積と糖化効率の向上

著者: 住吉美奈子、中村敦子、中村英光、羽方誠、市川裕章、廣近洋彦、石井忠、佐藤忍、
岩井宏暁

公開日:アメリカ東部標準時間 2013年11月4日午後5時

問い合わせ先

岩井 宏暁 (いわい ひろあき)

筑波大学 生命環境系 講師