

平成 26 年 2 月 27 日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学

トマトの実は柔らかいのになぜ形が崩れないのか

トマト成熟過程における細胞壁の再構築機構を解明

研究成果のポイント

1. 果実の成熟に伴う果実細胞壁の研究では今まで注目されてこなかったヘミセルロースの合成と修飾に着目しました。
2. 複雑な果実組織を細かく分けて調査することにより、果実成熟が組織ごとに異なった合成制御を受けていることを明らかにしました。
3. 果実成熟過程では、細胞壁分解に伴って軟化が起きるとこれまでは考えられていましたが、組織によっては分解だけでなく架橋性多糖が新規に合成されているということを明らかにしました。
4. 特に、外果皮と内果皮という果皮輪郭部分では、果実の形状を保つための細胞壁の特徴的な再構築が行われている可能性を示しました。

国立大学法人筑波大学(以下「筑波大学」という)生命環境科学系の岩井宏暁講師らは、トマトでは果実が熟成する過程で果皮の構造がダイナミックに再構成されていることを初めて確認しました。これは、トマト果実の組織ごとに、細胞壁の架橋成分であるヘミセルロースを調査することにより明らかとなったもので、果実の成熟過程では分解だけではなく、ヘミセルロース性多糖類の合成をとまなう再構築が起きていることが判明し、成熟のメカニズムに関する新たな知見が得られました。

一般に果実は成熟に伴って軟らかくなっていきます。この成熟過程では、これまでは、果実の細胞がもつ細胞壁の分解のみが起きていると考えられてきました。しかし、果実細胞壁の主成分であるペクチンの分解を抑制するだけでは、軟化を遅らせることは出来ても完全に止めることはできません。そのため、その仕組みは未解明のままです。そこで今回の研究では、これまで調査されていたペクチンではなく、細胞壁の架橋性多糖の合成に焦点を当てました。果実まるごとを対象に果実の成熟研究を行うというこれまでのやり方に替えて、複雑な構造をとる果実組織を細かく分類して調査することで、各組織ごとに異なる成熟に伴う細胞壁の代謝調節を明らかにしようとしたものです。その結果、果実が成熟する際には、単に細胞壁が分解されて軟化が引き起こされるだけではなく、形状を維持するための堅さと軟らかさ両方を備えた新たな細胞壁が再構築されることが明らかとなりました。本研究により、「果実」という私たちに身近な食物の成熟のメカニズムがさらに詳しく解明されることが期待されます。

この成果は、2月26日付(日本時間27日朝)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。

* 本研究は新学術領域「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

食料として貴重な栄養源である果実は、クリのようにかたいものからモモのようにやわらかいものまで、植物の種類ごとに多様です。トマトの場合は、緑から赤く成熟していくにつれて軟かくなります。この「軟化」を生じる果実の細胞の細胞壁には、多糖類であるペクチンが半分以上を占め、その他にヘミセルロース、セルロースも含まれています。トマトが成熟する過程では、ペクチンの分解という細胞壁変化が起きて軟化と言われています。しかし、ペクチンの分解酵素の発現を抑制した変異体においても軟化が完全に抑制されることはなく、成熟にともなう細胞壁の変化の全容は未だ明らかになっていません。

そこで本研究では、これまで注目されてきたペクチンではなく、ヘミセルロースに着目しました。ヘミセルロースは架橋性多糖であるため、細胞壁の成熟にともなう強度の変化に関わることが予想できます。さらに、これまでの果実研究では実験材料として果実丸ごとが用いられてきましたが、トマトの果実では一番外側の外果皮、果肉に当たる中果皮・内果皮、中のゼリー状組織である子室組織というように、複雑な構造をとっています。そのため、果実の成熟にともなう細胞壁の変化を理解するためには、ヘミセルロースの分解だけではなく、合成も含めた果実細胞壁全体の代謝を組織ごとに調査することにしました。

研究内容と成果

今回の研究では、これまであまり焦点を当てられなかった果実細胞壁に含まれる架橋性多糖の代謝について調査しました。その結果、架橋性多糖分解酵素の活性は成熟に伴って全組織で低下していくことがわかりました。これまでは、細胞壁が分解されることにより果実が軟らかくなると考えられていました。すなわち今回の結果は、従来の予想を覆すものです。しかも、架橋性多糖を合成する酵素の遺伝子発現を調べたところ、成熟していく過程で上昇のピークに達していました。この結果は、トマト果実は成熟して軟らかくなる過程においても架橋性多糖の合成を行っていることを示しています。

さらに組織別にみると、果肉に当たる中果皮では架橋性多糖の一つであるキシログルカンが主として存在していました。しかも、キシログルカンの量と、キシログルカンどうしの架橋のつなぎ変えを行う酵素の量が成熟に合わせて増加していることから、中果皮では、成熟に合わせて細胞壁の「再構築」が行われているということがわかりました。このことから、この再構築によって細胞壁の柔軟性が確保され、果実の軟化と形態維持のバランスが保たれていることが示唆されました。

一方、丈夫な膜であるクチクラ層をもつ外果皮や、液化した果実内部との境になる内果皮には、もうひとつの架橋性多糖であるキシランが多く存在していました。このキシランが成熟に伴って増加することで、果実の強度維持に向けた再構築がなされているものと考えられます。

これまでも、成熟の過程では、細胞壁分解に伴って果実の軟化が起きると考えられていました。今回の研究はそれを確認すると同時に、組織の役割に合わせて細胞壁を特徴的かつ積極的に作り変えていることを明らかにしました。

今後の展開

今後は、塩ストレス処理を行ったトマトを用いて、果実の軟化メカニズムの研究を進めます。塩ストレス処理をしたトマトは、多くの糖やアミノ酸を含むことから、きわめて商品価値の高いトマトとして重宝されています。しかし、果実がとても硬くなるという欠点が指摘されています。塩ストレス処理によって果実が硬くなるという現象において、今回明らかとなった細胞壁の再構築機構がどのように働いているかを明らかにできれば、さらに商品価値の高いトマトの開発が期待できると考えられます。

参考図

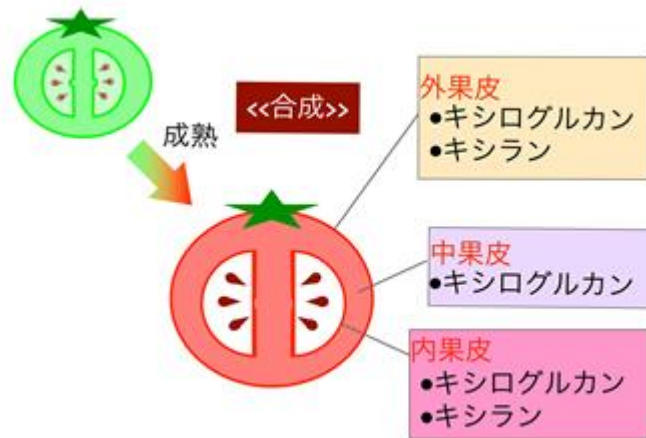


図1: 成熟にともなうヘミセルロース多糖の分布図。

中果皮ではキシログルカンのみが合成される一方で、外果皮・内果皮はキシログルカンだけでなくキシランも合成される。

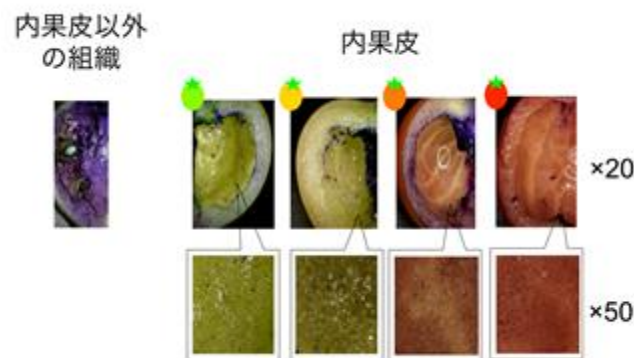


図2: 染色試薬をかけられた果実組織。

内果皮以外の組織では染色試薬が浸透するが、内果皮には浸透しなかった。

内果皮は外果皮と同様にキシランが蓄積されるだけでなく、クチクラ層も存在している可能性がある。

掲載論文

Regulatory Specialization of Xyloglucan(XG) and Glucuronoarabinoxylan(GAX) in Pericarp Cell Walls during Fruit Ripening in Tomato (*Solanum lycopersicum*)

論文題名(和訳): トマト果実成熟過程におけるヘミセルロース性多糖類代謝の調節機構に関する研究

著者: 瀧沢彩水、兵頭洋美、和田加奈子、石井忠、佐藤忍、岩井宏暁

掲載誌: 米国オンライン科学誌「PLOS ONE(プロスワン)」

公開日: アメリカ東部標準時間 2014年2月26日午後5時(日本時間2月27日午前7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