

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14647

研究課題名（和文）師部液糖濃度の日周期リズムが果実発達に与える影響とその制御

研究課題名（英文）Effect of diurnal rhythm of sugar concentration of the phloem sap on fruit development

研究代表者

河鱈 実之（Kawabata, Saneyuki）

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・教授

研究者番号：10234113

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：人工光型植物工場においては、光周期が自在に変更できるため、収穫物の収量と品質を最適化できる日周期リズムで栽培することができる。この研究では、トマトにおける光合成産物の果実への輸送を最適化する条件を探り、また輸送をモニタリングする手法を開発することを目指した研究の一環である。本研究では、近赤外線計測により葉のスクロース濃度をモニタリングする方法の確立を目指した。トマト師部液糖濃度は日中に最大値となる日変化をすることが示唆された。この日変化を概日リズム突然変異体の利用により最適化できる可能性についても検討した。

研究成果の概要（英文）：One of the most useful feature of indoor farm using artificial lightings is that the crop can be grown under modified light cycles. Therefore, the yield and quality of the crop can be improved by optimising the light cycles. This study was conducted aiming to optimize the light cycles in terms of the transport of photosynthates from leaves to fruits, and develop a system for monitoring the oscillating photosynthesis and photosynthate transport. The near infra-red spectrum method was applied to monitor sucrose concentration of photosynthesising leaves. In addition, the use of photoreceptor mutants that exhibit modified circadian rhythms for modifying the diurnal changes in photosynthate transport into fruits.

研究分野：園芸学

キーワード：師部液 近赤外線計測 概日リズム 人工光型植物工場

1. 研究開始当初の背景

人工光型植物工場の研究開発が進み、レタス等の葉菜類では栽培がほぼ確立されている。一方、主要な果菜であるトマトの植物工場生産は、太陽光利用型に限られ人工光型植物工場での栽培は未だ実現していない。その原因のひとつは、十分な光環境を達成することができず、太陽光ほどの生育が現状では期待できないことにある。しかし、人工光型植物工場には、光条件を、日周期を含めて自由に調節できるというメリットがあり、十分に強い光源が開発されれば、今までにない光制御により高品質な果実生産が可能になる可能性を秘めている。

トマトは世界的に最も需要が高い果菜類であり、高収量とともに糖濃度の高い品種が求められる。しかし、果実の糖濃度がどのように決定されるかは、基本的であり古くから研究されている問題であるにもかかわらず、不明な点が多い。

糖以外の成分、例えば二次代謝物の濃度がふつうそれを生成する酵素の活性によって決まるのに対し、果実の主要構成成分である糖の濃度は、果実への糖の輸送量に依存する。しかもその輸送には水の輸送が関与し、水輸送自体も希釈効果を通じて糖濃度に影響している。

トマト果実は形態的には果柄の先端に着く末端器官である。果柄によって植物体とつながった果実の成長および品質は、果柄を通して果実へ流入する師部液により支えられている。果実への師部液の流入量が多ければ果実成長は促進される。しかし、流入量の多さだけでなく、糖と水の流入バランスが重要である。トマト果実へ流入する水の大部分が師部を経由していると考えられており、さらに果実からの蒸散や木部を通る水の逆流がほとんどないため、水と糖の蓄積は、師部を通る水と糖の比率により大部分が決定されると予想される。このモデルに基づくと、果実糖濃度は、師部液糖濃度によりほぼ決定されると予想される。

以上のように考えると、果実の糖濃度は、師部液の糖濃度に影響を与える外生的、及び内生的な要因に大きく依存すると推定される。

本研究では、人工光型植物工場によるトマト生産を目指し、師部液糖濃度の制御という観点から光周期と果実品質との関係について調べようとした。

2. 研究の目的

果実の糖濃度は師部液糖濃度と高い相関関係にあり、師部液の糖濃度はソース器官における光合成に直接影響を受ける。光合成は、体内時計により制御される日周期リズムを示し、それを反映して師部液糖濃度も同様に正午頃にピークとなる日周期リズムを示す。この師部液糖濃度をモニタリングすること

が可能となれば、果実糖度との関係をより詳細に解析することが可能である。

しかしながら、現状では師部液糖濃度をリアルタイムにモニタリングすることは達成できていない。それに変わる方法として、本研究では、葉内の糖濃度をモニタリングし、その影響を評価する可能性について検討した。

3. 研究の方法

3-1 EDTA 法による師部液糖濃度の推定
果実肥大の開始が確認されたトマト果実の果柄部をカミソリで切断し、切り口を 1 mm の HPTS 養液を含む 20mMEDTA 溶液に浸漬した。この状態で、一定時間間隔(2-6 時間)で EDTA 溶液を交換し、溶液中のスクロース濃度を測定するとともに、HPTS の吸光度を測定しその希釈率より、切断した果柄からの液の溶出量を推定した。24 時間後に、果柄部に高温蒸気によりヒートガードリング処理を行った。この処理によって、師部組織は不活化され師部液の輸送が停止することが知られている。その後、同様に一定時間間隔で溶出液をサンプリングし、HPTS 濃度の変化により溶出した液量を推定した。これを導管経由の水とみなした。ヒートガードリング前の同時刻の溶出量からこの導管経由の液量を差し引いたものを師部液量とした。1 日目の測定で計測されたスクロースの溶出量を師部液量で割ることにより、師部液糖濃度の日変化を推定した。

3-2 光受容体突然変異体トマトにおける概日リズム

トマトにおける概日リズムが変調する可能性のある突然変異体として、フィトクロム A、フィトクロム B、およびクリプトクロムの欠損突然変異体を、16 時間日長の人工光下で栽培し、花の開閉運動を調べることにより、概日リズムに変化が生じているかを調べた。

3-3 葉の糖濃度の近赤外線モニタリング

果実糖度の非破壊検査方法として、近赤外線の吸収による定量が実用化されている。これは、水の吸収極大ピークである 1450nm 付近の吸光度を計測し、その吸光度の 2 次微分値から、果実糖度を推定する方法である。同様の方法が葉における糖度の非破壊モニタリングとして利用できる可能性をしらべた。

トマト“フルティカ”を 16 時間日長 24 時間周期の LED 光下で栽培した。実験には十分に展開した比較的若い本葉を用いた。本葉に光ケーブルで誘導した光をあて、透過光を近赤外線分光光度計により計測した。この吸収スペクトルの二次微分を得た。その葉を直ちにサンプリングし、葉中のスクロース濃度を定量した。

4. 研究成果

4-1 EDTA 法による師部液糖濃度の推定

トマトの果柄を切断して EDTA 溶液に浸漬し、溶出した糖の量を測定する方法により、師部液糖濃度の日変化を推定したところ、推定されたスクロース濃度は明期開始 8 時間後にピークを示す日周期変化を示した(図 1)。

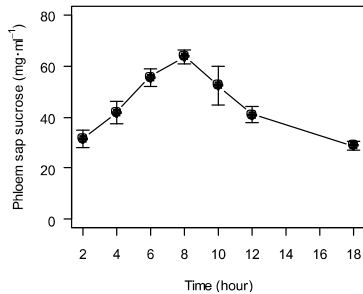


図 1 師部液スクロース濃度の日変化

一旦上昇した後、明期後半にかけて低下する変化は、光周期とは一致せず、スクロース濃度の日変化は概日リズムによると考えられた。

この変化は、葉における光合成速度と連動していると推定される。葉における光合成が概日リズムにより制御されることはよく知られており、午後になると光条件が一定であっても光合成が低下することが報告されている。

葉に於ける光合成の日周期リズムを改変し、より活性の高い状態を長く維持できるような突然変異体の導入が有効であることが予想された。

4-2 光受容体突然変異体トマトにおける概日リズム

トマトのフィトクロム A、フィトクロム B、クリプトクロムの突然変異体における、花の開閉運動を調べたところ、フィトクロム B の突然変異体で、開花時間が延長する開閉周期の変異が認められた(図 2)。

フィトクロム A とクリプトクロムの相互作用、およびフィトクロム B の作用により、概日リズムの同調が行われることがシロイヌナズナで知られている。トマトにおいても同様の制御がはたらいっていると考えられた。光合成の日変化リズムを変調させる突然変異体として、フィトクロム B が候補にあがった。

この変異体における葉のスクロース濃度がどのようなリズムを示すかについては、現在解析を進めている段階である。

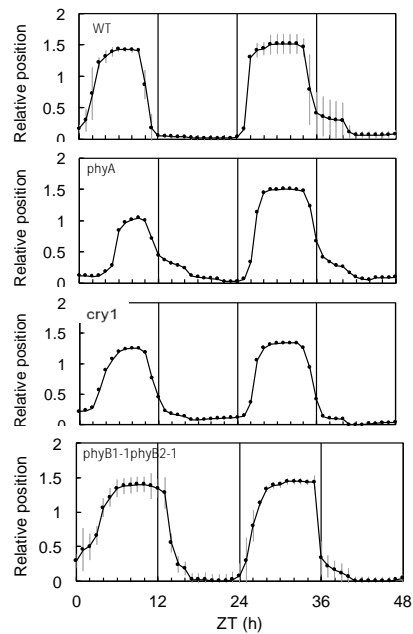


図 2 トマト光受容体突然変異体における概日リズム

4-3 葉の糖濃度の近赤外線モニタリング

葉のスクロース濃度を、非破壊的にリアルタイムで計測する方補として、近赤外線吸収スペクトルによる計測を試みた。

まず、ホウレンソウ、コマツナなどの葉菜類で、葉の搾汁液の Brix と近赤外線吸収スペクトルとの関係を調べた。搾汁液では 1450nm 付近に水の吸収極大が認められた。このピークの高さは、搾汁液の Brix と緩い相関があった。したがって、搾汁液では近赤外線計測により糖度をある程度推定できることが示された。

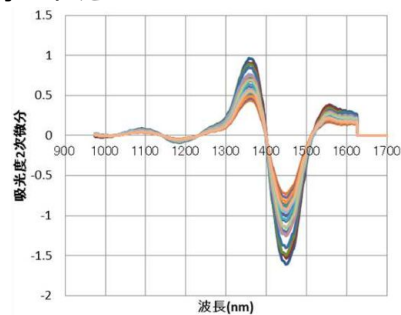
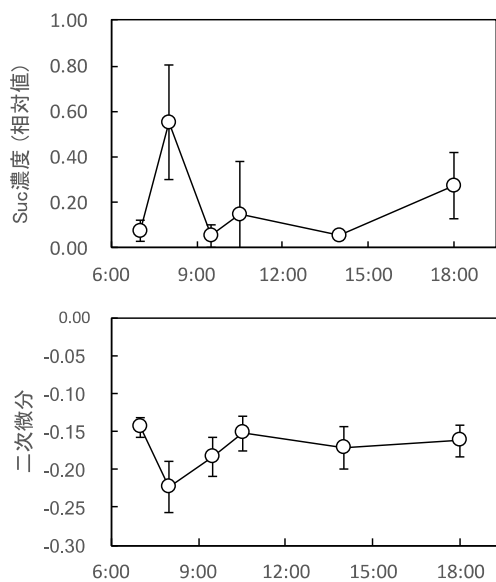


図 3 ホウレンソウ搾汁液における近赤外線吸収スペクトルに二次微分

次に、日変化をモニタリングできるかどうかを明らかにするため、2-4 時間間隔で、葉の近赤外線計測とスクロース計測とを行った。スクロース濃度は夜明け後直ちに濃度が上昇し、その後低下する日変化を示した(図 4)、一方、1450nm における二次微分値はスクロース濃度とは逆の変化を示した。溶液での予備試験では、二次微分値と糖度とは正の相関があったので、逆相関となったことは、葉中の糖が適切に計測されていなかったこ

とを示唆した。

現在までに、葉中の糖をリアルタイムに計測することには成功していない。反射光のスペクトルを解析する方法等、計測方法を現在開発しているところである。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

葉の糖度モニタリングに成功していないため、成果発表は行っていない。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河鱈 実之 (KAWABATA, Saneyuki)
東京大学・農学生命科学研究科・教授
研究者番号：10234113

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし