

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07668

研究課題名(和文)新提案：午後に衰退する光合成・転流の潜在力を引き出す為の履歴積み上げ型環境調節

研究課題名(英文) Control of environmental history for extracting potential of photosynthesis and translocation declining in afternoon

研究代表者

安武 大輔 (Yasutake, Daisuke)

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：90516113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：代表者らは、施設内作物生産の律速要因である午後に衰退する光合成・転流に関して、それらの潜在力は午後にも低下せずに最適化の余地があることを見出した。そこで、午後の光合成・転流の潜在力を引き出すために、午前中の作物の水分生理に着目した「履歴積み上げ型環境調節」を新たに提案し、効果を調べた。その結果、午前中から高湿度環境を創出することで、午後になっても気孔開度と光合成を午前と同程度に維持することが出来た。さらに、転流の駆動力となる葉の水ポテンシャルも、午後でも低下せずに高く維持することが出来た。すなわち、履歴的な水分生理の調節によって、午後の光合成と転流を改善し得る事が示された。

研究成果の概要(英文)：Photosynthesis and translocation should usually decline in the afternoon and these phenomena are limiting factors in plant production in greenhouses. However, we suggested that they could be improved based on the past studies. In this project, we proposed the control of environmental history, based on the plant water relations in the morning, for extracting potential of photosynthesis and translocation in the afternoon, and examined its effects. As a result, continuous humid condition from the morning could keep stomatal opening and photosynthesis in the afternoon at the morning levels. Furthermore, leaf water potential as a driving force of translocation was also improved in the afternoon.

研究分野：生物環境調節学

キーワード：施設園芸 環境調節 光合成 転流 水分生理 昼寝現象

### 1. 研究開始当初の背景

作物生産の最適化には、成長の基幹プロセスである光合成と作物体内での光合成産物の移行(転流)の潜在力を発揮させることが肝要である。とくに国内外の施設生産においては、各種の高度な環境調節技術(CO<sub>2</sub>施用など)を駆使した光合成の強化が精力的に試みられている(野口ら, 2012)。一方で、光合成は主に午前中に活発であり、午後にはその活性(光合成速度)が衰退して転流も抑制され得ることが良く知られている(Yasutake et al., 2006)。それゆえ、環境調節技術は活性状態にある午前の光合成の潜在力を引き出す事に特に重点を置き、午後の光合成は科学的根拠が乏しいまま最適化の対象として軽視されることが少なくなかった。

そこで代表者らが、主要園芸作物(ピーマン)を用いて午後の光合成に対する高度環境調節(CO<sub>2</sub>施用)の効果とその機作を調べたところ、CO<sub>2</sub>施用による光合成促進の効果は午前よりも午後に大となる、午後の葉の炭素固定能力は午前よりも衰えない、午後の光合成速度は午前よりも低下し、その主要因は葉の局所的な水分ストレスによる気孔閉鎖である、ことを初めて明らかにした(安武ら, 2013)。すなわち、光合成の潜在力は午後にも低下せず午後の光合成には最適化の余地があること、および午後に光合成が潜在力を発揮できないのは葉の水分ストレスに起因することを指摘した(Yasutake et al., 2014)。

この知見を受けて、午後の空気湿度を上昇(加湿)させることで、午後の光合成の制限要因である葉の局所的な水分ストレスを緩和し気孔開度を増加させることを試みたが、目的を達成することは出来なかった(安武ら, 2014)。午後の葉の水分状態は、午前からの環境が引き起こす水分損失(蒸散)の履歴を積み上げた結果であることは明白である。したがって、午後に衰退する光合成とそれに伴う転流の潜在力を引き出すためには、午後だけでなく午前からの履歴環境をも対象にした新しい環境調節技術の理論構築が必須である。

### 2. 研究の目的

代表者らは、施設内作物生産の律速要因である午後に衰退する光合成・転流に関して、それらの潜在力は午後にも低下せずに最適化の余地があることを見出した。そこで、午後の光合成・転流の潜在力を引き出すために、午前中の作物の水分生理に着目した「履歴積み上げ型環境調節」を新たに提案する。その理論構築と効果検証のために、研究期間内に以下3つの観点からの研究を行うことを目的とした。

- (1) 午前の超高湿度の履歴環境が午後の作物水分状態・気孔開度に及ぼす影響とその機作の解明
- (2) 午前の超高湿度の履歴環境が午後の光合成速度に及ぼす影響とその機作の解

### 明

- (3) 午前の超高湿度の履歴環境が午後の転流特性に及ぼす影響とその機作の解明

### 3. 研究の方法

前述の3つの観点の目的を達成するため、以下の様な調査研究を実施した。

(1) 温室において午前は高湿度環境(極小の飽差)、午後は適湿環境に管理することを、細霧加湿器(現有設備)を用いて試みた。次に、申請者らが開発した根の養水分吸収速度評価システム(安武・北野ら, 2004)(現有設備)で材料植物(初年度はキュウリを対象とする)を栽培し、上記湿度環境の下での蒸散速度(吸水速度)の日変化を調べた。さらに、作物の水ポテンシャルと膨圧の日変化を既存方法(サイクロメータ)で調べた。とくに、気孔開度と密接関与する膨圧が午後まで高い状態で維持できるかについて、上記で調べる蒸散速度(水分損失)と関連付けて解析した。さらに、気孔開度を表す気孔コンダクタンスおよび葉コンダクタンスの午後の低下を緩和・回避可能かポロメータ(現有設備)およびYasutake et al. (2009)の手法を用いて調べた。

(2) 超高湿度環境に基づく履歴環境調節の効果、植物個体のガス交換特性(蒸散速度、光合成速度、リーフコンダクタンス)に着目した実験を行った。とくに、超高湿度環境をより容易に創出する方法として、ミストを用いて植物体を直に濡らす手法を採用した。その効果を検証するために、葉が濡れた条件下でもガス交換特性が計測可能な作物個体チャンバシステムを構築した(図1)。当該システムは開放型であり、個体チャンバ(0.5 × 0.6 × 1.2 m)、CO<sub>2</sub>分析計(LI-820, Li-cor)、温湿度計(HMP60, Vaisala)、茎内流量センサ(SGB16-WS, Dynamax)、熱電対、データロガー(CR1000, Campbell Scientific)、およびLED光源(LLM031, スタンレー)などで構成されている。葉が濡れている時の蒸散速度は、茎基部に取り付けた茎内流量センサによって計測可能である。ポット栽培した10葉期のトマトにおいて2処理区を設けた。1つは10時から14時まで毎時1回ミストで濡らした区(濡れ区)、もう1つは濡らさない区(濡れ無し区)とした。これらの処理区のトマト個体のガス交換特性を、作物個体チャンバシステムで晴天日の11時と14時に計測した。

(3) 超高湿度環境に基づく履歴環境調節の効果について、異なる季節(春, 夏, 秋, 冬)において植物個体のガス交換特性(蒸散速度、光合成速度、リーフコンダクタンス)に着目した実験を行った。超高湿度環境をより容易に創出する方法として、ミストを用いて植物体を直に濡らす手法を採用した。葉が濡れた植物体のガス交換特性の計測については、前

年度に構築したオリジナルの作物個体チャンバシステムを利用した .ポット栽培した 10 葉期のトマトにおいて 2 処理区(1 つは 10 時から 14 時まで毎時 1 回ミストで濡らした濡れ区, もう 1 つは濡らさない対照区)を設けた. これらの処理区のトマト個体のガス交換特性を, 前述の作物個体チャンバシステムで晴天日の 11 時と 14 時に計測し, これを異なる季節(春, 夏, 秋, 冬)に実施した. さらに, 転流の駆動力となる葉の水ポテンシャルについても併せて計測した.

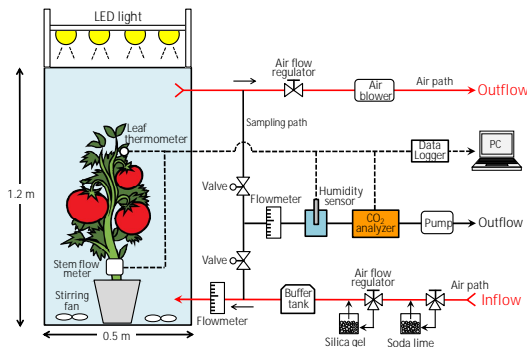


図 1 葉が濡れた条件下でもガス交換特性が計測可能な作物個体チャンバシステムの模式図.

#### 4. 研究成果

(1) 温室に導入した細霧冷房装置を午前中(9~12 時)に稼働させることで, 葉(材料植物はキュウリ)と空気中との湿度差(葉面飽差)を減少させた. その際に, 代表者らが開発した根の養水分吸収速度評価システムを用いて植物の蒸散速度(=吸水速度)の日変化を調べた結果, 当該時間帯の蒸散速度を約 3 割抑制出来たことが示された(図 2). しかしながら, 高湿度環境の創出処理を終えた午後の蒸散速度には抑制効果を見出すことは出来なかった. 次に, 植物の水分状態の指標として, リーフコンダクタンスと葉の水ポテンシャルを計測した. 有意差は見られなかったものの, リーフコンダクタンスはとくに午後において減少する傾向が観察された. また, 水ポテンシャルについても, 高湿度処理によって午後の値が午前よりも上昇し(ただし有意差は無し), 植物の水分ストレスが緩和された可能性が示唆された.

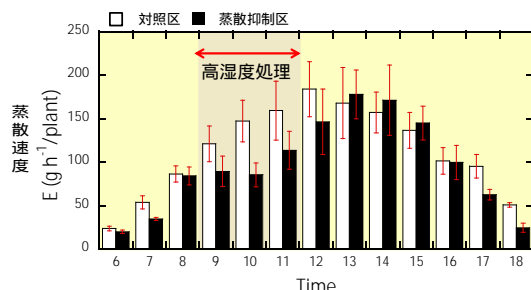


図 2 高湿度による蒸散抑制区と対照区における蒸散速度の日変化.

さらに, 高湿度環境の創出に伴う根の養分吸収への影響を調べたところ, いくつかの必須栄養素( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )について吸水と同程度の減少が見られた(14-16%). 以上のように, 温室において午前の高湿度環境を細霧冷房装置を用いて創出し, それが作物の水関係に及ぼす影響を明らかにした.

(2) 超高湿度環境に基づく履歴環境調節の効果, 植物個体のガス交換特性(蒸散速度, 光合成速度, リーフコンダクタンス)に着目した実験を行った. その結果, 濡れ無し区における 14 時のリーフコンダクタンスと光合成速度が 11 時より優位に低下したことに對して, 濡れ区においては, 11 時と 14 時のリーフコンダクタンスと光合成速度は同程度であった(図 3). 結果として, 14 時の光合成速度は, 濡らすことによって 11 時の値より 13%有意に増加した. 以上のように, 超高湿度の履歴環境が作物個体のガス交換特性に及ぼす影響を明らかにした.

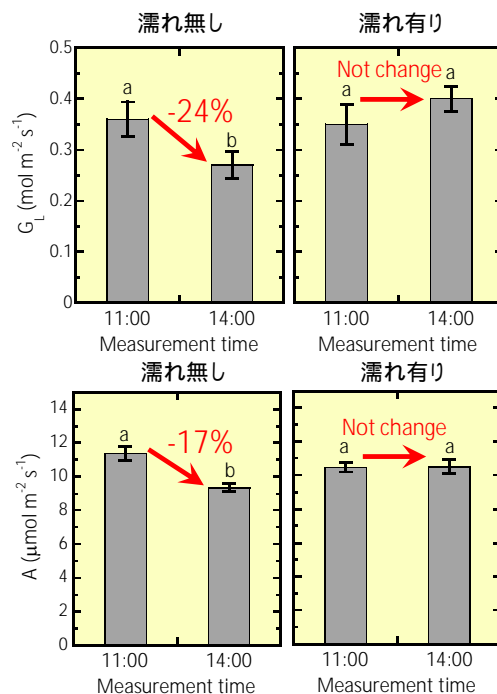


図 3 濡れ無し区と濡れ区のトマト個体における 11 時と 14 時のリーフコンダクタンス( $G_L$ )と光合成速度( $A$ ).

(3) 超高湿度環境に基づく履歴環境調節の効果における季節性に着目した実験を行った. 春, 秋, 冬においては, 対照区における 14 時のリーフコンダクタンスと光合成速度が 11 時より優位に低下した. これは作物成長の律速になる昼寝現象が発生したことを意味する. 一方, 濡れ区においては, 11 時と 14 時のリーフコンダクタンスと光合成速度は同程度であり, 結果として, 14 時の光合成速度は 11 時より有意に増加し, (2)と同様に昼寝現象を回避することが出来た. 夏については, 計測上のトラブルがあり, 十分なデータが得られなかった. また, 転流への効果

の調査については、転流の駆動力となる水ポテンシャルが、葉の濡れによって優位に増加することを示した(図4)。以上のように、超高温湿度の履歴環境が作物個体のガス交換特性と転流に關する水ポテンシャルに及ぼす影響を明らかにした。

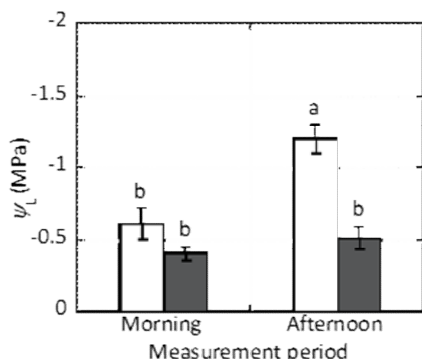


図4 濡れ無し区( )と濡れ有り区( )における午前と午後のトマトの葉の水ポテンシャル( )。

以上の様に、履歴的な環境調節の積み上げ(履歴積み上げ型環境調節)が光合成をはじめとする葉のガス交換に対する効果を中心に解明した。得られた成果は、従来の環境調節に新たな視点を加えるものである。しかしながら、当初計画に予定していたCO<sub>2</sub>施用との組み合わせの効果や、転流による糖輸送速度への影響を解明するには至らなかった(転流に関しては、その駆動力となる葉の水ポテンシャルへの影響のみ調査した)。これらについては今後の課題となる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

Yokoyama G., Yasutake D. and Kitano M. (2018) A preliminary experiment on the effects of leaf wetting on gas exchange in tomato leaves. *Environmental Control in Biology*, 56, 13-16, 査読有, DOI: 10.2525/ecb.56.13.

Miyoshi Y., Hidaka T., Hidaka K., Okayasu T., Yasutake D. and Kitano M. (2017) Dynamics of photosynthate loading in strawberries affected by light condition on source leaves. *Environmental Control in Biology*, 55, 53-58, 査読有, DOI: 10.2525/ecb.55.53.

Yasutake D., Miyauchi K., Mori M., Kitano M., Ino A. and Takahashi A. (2016) Multiple effects of CO<sub>2</sub> concentration and humidity on leaf gas exchanges of sweet pepper in the morning and afternoon. *Environmental*

*Control in Biology*, 54, 177-181, 査読有, DOI: 10.2525/ecb.54.177.

〔学会発表〕(計29件)

安武大輔・作物生産の最適化に向けた個葉～群落スケールの熱・物質輸送プロセス研究とその展望・日本農業気象学会2018年全国大会,2018年3月13日(火)～17日(土),九州大学伊都キャンパス,福岡県福岡市。

安武大輔,徐慧キョウ,高橋昭彦,北野雅治,宮内樹代史・CO<sub>2</sub>施用がピーマン果実への転流速度の日変化に及ぼす影響・日本生物環境工学会2017年松山大会,2017年8月30日(水)～9月4日(月),愛媛大学樽味キャンパス,愛媛県松山市。

Yasutake D., Yokoyama G., Kitano M., Kimura K. and Mori M. Leaf wetting can improve daytime depression in photosynthesis of a tomato plant. *The International Symposium on Agricultural Meteorology 2017*, 27-30 March, 2017, Kitasato University, Towada, Towada, Aomori, Japan.

安武大輔,北野雅治,丸尾恭輔,横山岳,森牧人・乾燥地の作物生産における葉面結露の灌水効果・日本農業気象学会2017年全国大会,2017年3月27日(月)～30日(木),北里大学十和田キャンパス,青森県十和田市。

安武大輔,丸尾恭輔,田代碧,横山岳,北野雅治・葉の濡れによる作物個体のガス交換特性の改善効果・日本生物環境工学会2016年金沢大会,2016年9月12(月)～15日(木),金沢工業大学野々市キャンパス,石川県野々市市。

安武大輔,山中麻有,船岡高史,森牧人,石川勝美,野見山陵介,北野雅治・CO<sub>2</sub>施用がサラダナの養水分吸収特性に及ぼす影響・日本生物環境工学会2015年宮崎大会,2015年9月8-11日,宮崎県宮崎市。

〔その他〕

<http://www2.bpes.kyushu-u.ac.jp/~www-me/t/index.html>

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

安武 大輔 (YASUTAKE, dAISUKE)  
九州大学・大学院農学研究院・准教授  
研究者番号: 90516113

(2)研究分担者

北野 雅治 (KITANO, Masaharu)  
九州大学・大学院農学研究院・教授  
研究者番号：30153109

森 牧人 (MORI, Makito)  
高知大学・教育研究部自然科学系農学部  
門・准教授  
研究者番号：60325496

宮内 樹代史 (MIYAUCHI, Kiyoshi)  
高知大学・教育研究部自然科学系農学部  
門・准教授  
研究者番号：80253342  
(平成 27 年度のみ)