

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26850157

研究課題名(和文)植物工場環境調節に資する植物個体における物質輸送機能の環境反応モデルの構築

研究課題名(英文) Modeling the absorptive function of intact roots in response to environments for effective environmental control in plant factories

研究代表者

佐合 悠貴 (Sago, Yuki)

山口大学・創成科学研究科・助教(テニュアトラック)

研究者番号：20648852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、植物の物質輸送現象を中心とした環境生理反応を評価・モデル化する手法を開発し、植物工場における環境制御技術に応用することを目的としている。葉菜類のチップバーンの回避を目標として、環境要素や生長速度とチップバーン発生との関係を解析・モデル化した。さらに、蒸散に影響されるCa吸収速度が葉内Ca含量に与える影響を評価し、葉内Ca含量とチップバーン発生との関係を明らかにした。葉内硝酸態窒素含量の低減を目的として、根の窒素吸収速度に対する環境要素および蒸散速度の影響を評価した。吸収モデルに基づいて植物の成長に必要な窒素量を与えることにより、葉内の硝酸態窒素含量が低減できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：For profitable and sustainable production of vegetables in plant factories, methods for environmental control based on the physiological activity of intact plants that respond to change in environmental conditions are essential. We quantified and modeled the effects of environmental conditions and transpiration rate on calcium and nitrate absorption and partitioning in roots and leaves of butterhead lettuce. The model was successfully applied for quantification of tipburn resistance in cultivars by estimating the model parameters of each cultivars. In additions, the model could be applied to reduce nitrate accumulation in leafy vegetables by estimating nitrate absorption and amount of nitrate required for growth based on the model, and supplying the estimated amount of nitrate.

研究分野：生物環境調節学

キーワード：モデル化 養水分吸収 チップバーン 硝酸態窒素 高付加価値化 人工光型植物工場

1. 研究開始当初の背景

植物工場や施設園芸などの先端的農業においては、植物の生理機能を評価・モデル化し、その情報に基づいた生産性の高い植物生産技術の確立が進められてきている。例えば、植物生理機能の内、生長や光合成生体ストレス反応などの植物体地上部における現象の評価法については多く研究され、これらの情報に基づいた環境制御技術を植物工場へ応用する試みなどが進められている。一方、根の物質吸収を中心とした地下部の物質輸送現象は、チップバーンの発症、硝酸態窒素含量および機能性成分含有量などの課題と関係するため、植物工場などにおける植物生産性の向上において重要である。

根における物質輸送現象は、膜輸送タンパク質の活性や環境応答に関する研究が展開されてきた。植物体の根系はアプローチの困難な地下部に広く分布するために、植物生産場の多様な環境条件下においてインタクトの根系の物質吸収機能の定量的に評価することが難しい。そのため、インタクトの根系の物質吸収機能の評価法は十分に検討されておらず、植物生産場における養水分動態に関する情報が不足している。

2. 研究の目的

本研究では、植物の物質輸送現象を中心とした環境生理反応を評価・モデル化する手法を開発するとともに、これらの情報に基づいた環境制御法・栽培管理法の構築を目指す。具体的には、植物工場におけるチップバーン (Ca 欠乏) の回避、野菜中の硝酸態窒素含量低減および野菜の高付加価値化などの技術開発を目的とする。

3. 研究の方法

様々な環境下において植物を育成し、植物の物質輸送現象の環境反応の評価システムやモデルを用いて植物の物質輸送現象を中心とした生理反応を評価・解析し、新たな環境制御法・栽培管理法の提案を試みる。

本研究は以下の2課題から構成される。

(1) 葉菜類のチップバーンの回避

植物における Ca イオンの吸収と分配は、葉からの蒸散に支配されており、ひいては地上部および地下部の環境要素に影響を受ける。また、個葉におけるチップバーンの発症は植物の生長速度と関係する。そこで、様々な環境条件に設定した人工光型植物工場において、環境要素や生長速度とチップバーン発生との関係を解析する。同様に、根における Ca 吸収速度および植物体中の個葉への Ca 分配に対する環境要素の影響を評価する。Ca 吸収・分配に対する環境要素および蒸散速度の影響は栽培液および植物体個葉中の Ca 濃度の変化を測定することで評価する。

(2) 葉内硝酸態窒素含量の低減

植物工場での葉菜類生産における葉内硝酸態窒素含量を低減する手法の確立を目的として、根の窒素吸収速度、生長速度および葉内の硝酸態窒素含量と環境要素との関係性を解析する。そのため、これまでに開発してきた根の物質吸収評価システムおよび蒸散統合型イオン吸収モデルなどの手法を応用し、様々な環境条件に設定した植物工場において根の窒素吸収速度、生長速度および葉内の硝酸態窒素含量に対する環境要素の影響を評価する。

4. 研究成果

(1) 葉菜類のチップバーンの回避

光強度がチップバーン発生に与える影響を品種ごとに評価した。光強度が高くなるほど新鮮重およびチップバーン発生葉数は増加した (図1)。新鮮重とチップバーン発生葉数との関係性を打ち切り回帰モデルにより解析したところ、新鮮重とチップバーン発生葉数との間に高い相関が見られた (図2)。さらに、品種によってモデル定数は異なっており、このモデルパラメータを用いて品種の障害耐性を評価可能であることが示唆された。

さらに、根の Ca 吸収速度に対する光強度の影響を評価した。光強度が高いほど根の Ca 吸収速度は高くなった (図3)。また、植物体中の個葉の Ca 含量に対する光強度の影響を外葉および内葉にわけて評価した (図4)。外葉では光強度が高くなるほど Ca 含量は高くなったが、内葉では低いままであった。このことから、光強度を高めることによって Ca 吸収速度は増加するものの、チップバーン発生が増加したことから、光強度の増加は Ca 供給の増加よりも生長促進への影響が大きいことが示唆された。さらに、光強度が高くなるほど生長が促進され、葉先における Ca 要求量も高まったためチップバーンが発生したと考えられた。

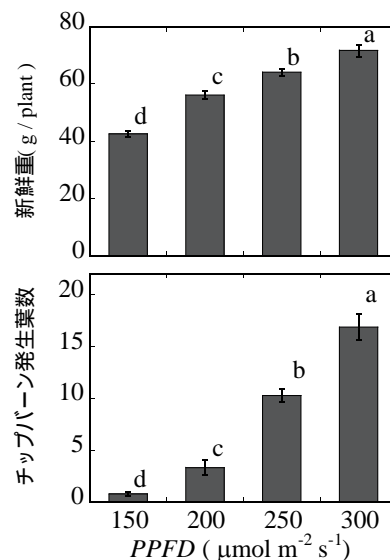


図1 異なる光強度で栽培したサラダナの新鮮重およびチップバーン発生葉数

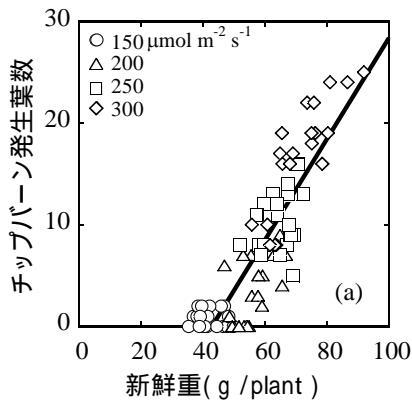


図2 異なる光強度で栽培したサラダナの新鮮重とチップバーン発生葉数との関係

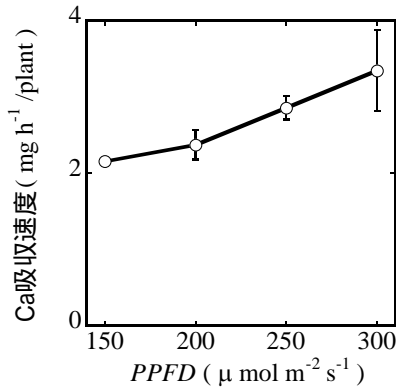


図3 異なる光強度におけるサラダナ根のCa吸収速度

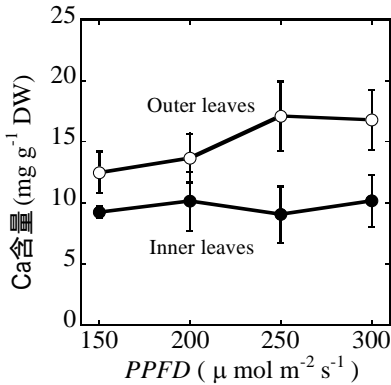


図4 異なる光強度におけるサラダナ外葉および内葉のCa含量

(2) 葉内硝酸態窒素含量の低減

葉内硝酸態窒素 (NO_3^-) 含量は、根の窒素吸収速度、光合成速度(光合成産物生産量)、生長速度および窒素代謝関連酵素活性に影響される。そこで、根の窒素吸収速度に対する養液濃度および蒸散速度の影響を評価した。根の NO_3^- 吸収速度は養液の NO_3^- 濃度が低い条件においても高く維持されており、植物は NO_3^- を積極的に吸収していることが示唆された(図5)。

さらに、光強度および養液濃度と葉内硝酸態窒素含量との関係を解析した。植物の成長速度は光強度と養液濃度が高いほど高くなったが、硝酸態窒素含量は光強度が低く養液

濃度が高いほど高くなった(図6および図7)。これは、養液濃度が高いほど窒素吸収速度が増加し、炭素同化速度を上回った為と考えられる。すなわち、収量を維持しつつ硝酸態窒素含量を低減する為には、植物体の窒素炭素比の調整が必要である。これらの知見を元に、硝酸態窒素含量が低減する養液管理法として、吸収モデルに基づいて硝酸態窒素吸収量を求め、植物の成長に必要な窒素量を栽培開始時に一括して与えた。その結果、葉内の硝酸態窒素含量が低減できることを明らかにした(図8)。

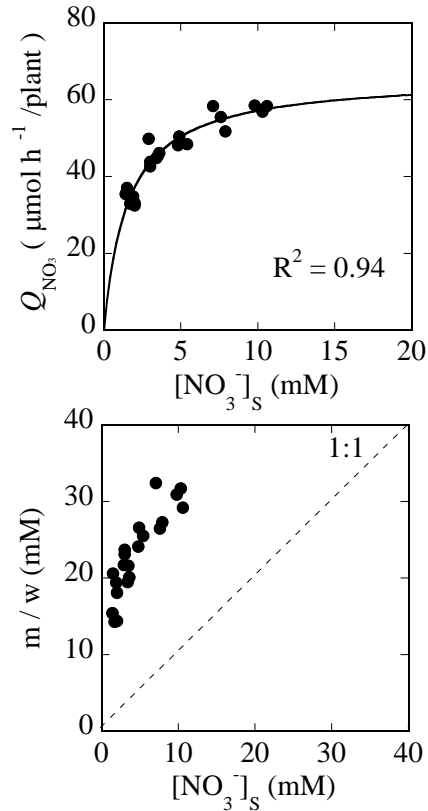


図5 異なる養液濃度におけるCa吸収速度(Q_{NO_3})および見かけの吸収濃度(m/w)

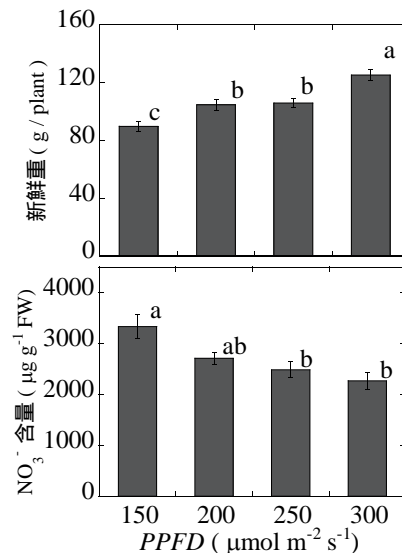


図6 異なる光強度で栽培した播種後35日目のサラダナの新鮮重および NO_3^- 含量

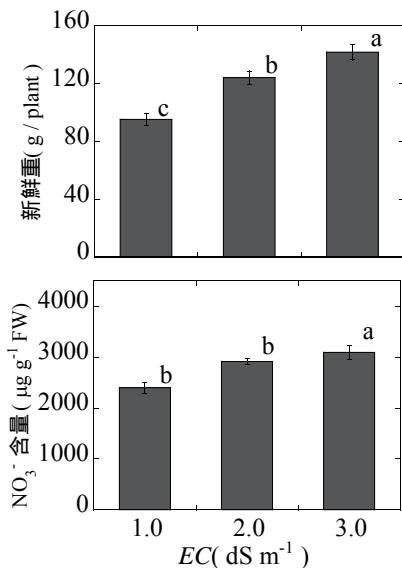


図 7 異なる養液濃度で栽培した播種後 35 日目のサラダナの新鮮重および NO₃⁻ 含量

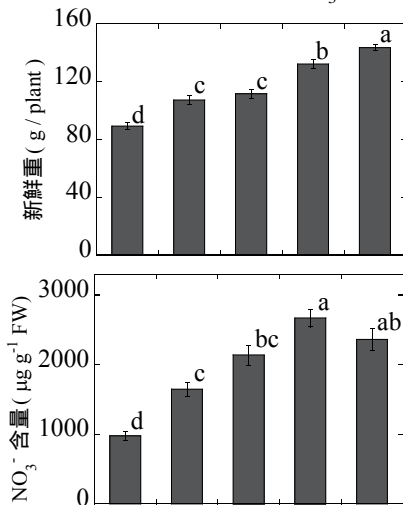


図 8 異なる初期養液濃度で栽培した播種後 35 日目のサラダナの新鮮重および NO₃⁻ 含量

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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Sago Y. Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. HortScience, 査読有, 51(9), 1087-1091, 2016.

〔学会発表〕(計 17 件)

永塚仁司, 佐合悠貴, 渡邊尚也, 濱邊寿美代, 人工光型植物工場での根域低温ストレスによるスイスチャードの高品質化, 日本農業気象学会中四国支部 2016 年大会, 2016 年 12 月 1-2 日, 高知大学 (高知県高知市)

渡邊尚也, 佐合悠貴, 永塚仁司, 濱邊寿美代, 水耕養液中の微量要素に起因するリー

フレタスの生理障害 肥料塩の種類と施用方法および栽培環境の検討, 日本農業気象学会中四国支部 2016 年大会, 2016 年 12 月 1-2 日, 高知大学 (高知県高知市)
濱邊寿美代, 佐合悠貴, 渡邊尚也, 永塚仁司, 人工光型植物工場でのサラダナ栽培におけるチップバーンの回避 成長速度を考慮した障害レベル解析手法の確立と応用, 日本農業気象学会中四国支部 2016 年大会, 2016 年 12 月 1-2 日, 高知大学 (高知県高知市)

Sago Y., Tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce affected by environmental factors and calcium absorption, Hortimodel 2016, 19-22 September, 2016, Avignon, France.

佐合悠貴, 田中健, 重村愛理, 南雄大, 植物工場での根域低温ストレスによる葉菜類の高品質化, 日本生物環境工学会 2016 年大会, 2016 年 9 月 12-14 日, 金沢工業大学 (石川県金沢市)

佐合悠貴, 重村愛理, 田中健, 南雄大, 植物工場での養液中窒素濃度制御によるサラダナの硝酸塩含量低減, 日本生物環境工学会 2016 年大会, 2016 年 9 月 12-14 日, 金沢工業大学 (石川県金沢市)

Sago Y., and Yamamoto H. Fundamental experiments on effective control of water temperature for land-based aquaculture of seaweed in greenhouse. International Symposium on Agricultural Meteorology 2016, 14-17 March, 2016, Okayama, Japan.

佐合悠貴, 重村愛理, 田中健, 南雄大, 植物工場におけるサラダナのチップバーン回避法の検討 障害発生と生長速度との関係解析, 日本農業気象学会中四国支部 2015 年大会, 2015 年 12 月 3-4 日, 農研機構近畿中国四国農業研究センター四国研究センター (香川県善通寺市)

重村愛理, 佐合悠貴, 田中健, 南雄大, 植物工場産サラダナの硝酸態窒素含量の低減 光強度および養液中窒素濃度の制御効果, 日本農業気象学会中四国支部 2015 年大会, 香川, 2015 年 12 月 3-4 日, 農研機構近畿中国四国農業研究センター四国研究センター (香川県善通寺市)

田中健, 佐合悠貴, 重村愛理, 南雄大, 植物工場での根域低温ストレスによるリーフレタスの高品質化 処理期間・時期および品種の検討, 日本農業気象学会中四国支部 2015 年大会, 香川, 2015 年 12 月 3-4 日, 農研機構近畿中国四国農業研究センター四国研究センター (香川県善通寺市)

佐合悠貴, 山本晴彦, 光強度および根域温度が根のイオン吸収速度に与える影響, 2015 年生物環境工学会全国大会, 2015 年 9 月 8-11 日, シーガイアコンベンションセンター (宮崎県宮崎市)

Sago Y., and Yamamoto H. Effects of calcium

concentration and temperature in root zone on tipburn development in leaf lettuce. International Symposium on Agricultural Meteorology 2015, 16-19 March, 2015, Tsukuba, Japan.

佐合悠貴, 山本晴彦, 根域の Ca 濃度および温度がサラダナのチップバーン発生に与える影響, 日本農業気象学会中四国支部 2014 年大会, 2014 年 12 月 4-5 日, 山口大学 (山口県山口市)

Sago Y., Baba M., Nomura K. and Yamamoto H. Effects of light conditions on tipburn development in leaf lettuce. Plant Factory Conference 2014, 10-12 November, 2014, Kyoto, Japan.

佐合悠貴, 清水政仁, 西澤美秋, 山本晴彦, 山内直樹, 執行正義, LED 赤青光の交互照射によるリーフレタスの生長促進に対する水耕栽培方式の影響, 2014 年 9 月 27-28 日, 佐賀大学 (佐賀県佐賀市)

佐合悠貴, 馬場雅之, 野村和輝, 山本晴彦. 光環境がサラダナのチップバーン発生と葉中 Ca 濃度に与える影響. 2014 年生物環境工学会全国大会, 2014 年 9 月 8-11 日, 明治大学 (東京都千代田区)

佐合悠貴, 馬場雅之, 野村和輝, 山本晴彦. 光環境がサラダナのチップバーン発生に与える影響, 2014 生態工学会年次大会, 2014 年 6 月 27-28 日, プラサヴェルデ (静岡県沼津市)

〔図書〕(計 0 件)

該当なし

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

該当なし

取得状況 (計 0 件)

該当なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐合 悠貴 (SAGO, Yuki)

山口大学・創成科学研究科農学系学域・助教 (テニユアトラック)

研究者番号: 20648852