

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：16401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25850173

研究課題名(和文)植物が吸収したCとNの分配・集積プロセスの環境応答とその生産性へのインパクト

研究課題名(英文) Responses of allocation and accumulation processes of absorbed C and N in plant to environment and their impact on productivity

研究代表者

安武 大輔 (Yasutake, Daisuke)

高知大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90516113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：環境調節を駆使した植物生産の向上を目的として、植物による炭素と窒素の吸収プロセス(葉の光合成と根の養分吸収)、およびそれらの植物体内における分配・集積プロセスの環境応答と生産性への影響を解明するための基礎研究を実施した。温室のCO₂収支に基づいて、CO₂施用が群落光合成に及ぼす長期的影響を明らかにした。また、光合成産物(糖)の果実への転流速度は、CO₂施用によって午後の時間帯に増加する可能性が示唆された。さらに、CO₂施用下の根の養水分吸収と窒素の体内分布の特異性が定量的に示された。以上、環境調節温室において、植物による炭素と窒素の吸収とその後の分配・集積プロセスに関する基礎データが得られた。

研究成果の概要(英文)：For effective plant production based on environmental control in greenhouses, fundamental studies on evaluating and controlling absorption processes of carbon (C) and nitrogen (N) by plant and following transport processes of them in plant body were conducted. Long-term effect of CO₂ enrichment on canopy photosynthetic rate was evaluated on the basis of CO₂ balance in greenhouse-scale. CO₂ enrichment also enhanced flux of sugar as photoassimilate into sweet pepper fruit in afternoon. Furthermore, characteristics of root absorption function and following allocation of nitrogen in plant organs affected by CO₂ enrichment was revealed quantitatively. Thus, fundamental information on absorption of carbon and nitrogen by plants and following transport of them in plant body in response to environment was obtained in greenhouse with controlled environment.

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 根の養水分吸収 転流 窒素 炭素 分配

1. 研究開始当初の背景

植物にとって炭素(C)および窒素(N)は最重要の代謝・栄養成分であり、植物体の主要な構成要素となっている。Cは主に葉によって吸収(光合成)された後、その代謝物が篩管経路で体内に分配されて各器官へ集積する(転流)。Nは根によって水とともに吸収(養分吸収)された後、蒸散流によって導管経路で各器官に分配・集積される。このようなCとNに関する(1)吸収プロセスと、吸収された後の各器官への(2)分配・集積プロセスが、植物の生長・生産を決定づける重要な要因であると言える。

そこで、各種の環境調節を駆使して上記(1)(2)のプロセスを最適化し、生産性の飛躍的向上を実現することが施設園芸分野(温室、植物工場)で強く求められており、国内外において多数の試みがなされている(野口ら、2012)。当該研究の代表者もその一環として、生産性向上に寄与する環境調節に関する研究(CO₂施肥、肥培管理など)さらにそのために必要となる植物生体情報の計測・モデル化に関する研究(光合成・蒸散反応、気孔運動、根の養水分吸収特性など)を行ってきた。

しかしながら、研究代表者の研究を含めたこれまでの国内外の取り組みは、上記で述べたCとNの「吸収プロセス」(光合成や養分吸収)のみに着目したものが多く、吸収された後の「分配・集積プロセス」を十分に考慮していたとは言い難い。生産性の向上を追求する上では、「吸収プロセス」だけでなく、「分配・集積プロセス」にも着目した環境調節の実践が不可欠なことは明白である。そのためには、植物が吸収したCとNの分配・集積プロセスの環境応答(とくに温室の高度な環境調節因子に対して)とその生産性へのインパクトに関する基礎研究を実施する必要がある。

2. 研究の目的

以上の背景から、代表者が従事してきた「吸収プロセス」研究の次のステップとして、本研究課題では、環境調節温室(CO₂施肥、肥培管理)において植物が吸収したCとNの分配・集積プロセスの評価と制御に関する以下2つの研究課題を実施する。これは、当該分野の基盤的な研究(分配・集積プロセスにも着目した環境調節技術の確立)に発展し得る位置付けにある。

(1) 課題 「CO₂施肥下において葉が吸収した後のCの分配・集積プロセスの解明」

(2) 課題 「異なる肥料濃度管理下において根が吸収した後のNの分配・集積プロセスの解明」

3. 研究の方法

(1)課題 では、CO₂施肥を行ったピーマン土耕温室におけるCO₂収支解析に基づいて、作

物群落の光合成によって吸収されるCを定量評価するとともに、他器官へのその定期的な集積量を示す。とくに、果実へ流入するC(糖)フラックスの詳細な特性(日変化)も評価する。それによって、生育過程において葉が吸収した後のCの分配・集積プロセスの動態と、それに対する環境調節因子(空気のCO₂濃度)と光合成(Cの吸収)の影響を明らかにする。

(2)課題 では、異なる肥料濃度(低濃度、高濃度)で管理されたキュウリおよびサラダナの養液栽培において、根群によって吸収されるNを定量評価するとともに、Nの器官別の集積量を示す。それによって、生育過程において根が吸収した後のNの分配・集積プロセスの動態と、それに対する環境調節因子(CO₂施用、根域培養液のN濃度)と養分吸収(Nの吸収)の影響を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 葉群によるCの吸収(群落光合成速度)を把握するために、ピーマン栽培の温室(1,000 ppm程度)におけるCO₂の各収支項(施用速度、損失速度、土壌呼吸速度)の評価システムを確立した。収支式の残差として植物によるCO₂の吸収速度すなわち群落光合成速度のモニタリングを行い、CO₂施用による光合成速度の促進効果を長期間に渡って明らかにした(図1)。その結果、光合成速度の動態と環境作用の評価が可能であることを示した。

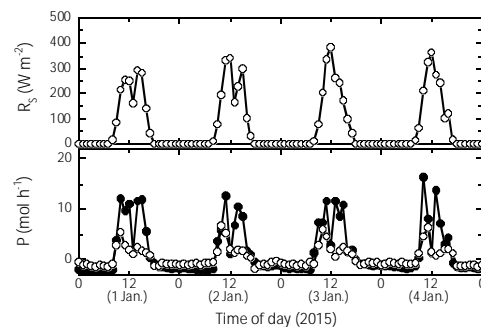


図1 CO₂施用と無施用のピーマン土耕温室における日射量(R_g)と群落光合成速度(P; ●、CO₂施用温室; ○、無施用温室)の経時変化(2015年1月1日~4日)

次に、葉に吸収されたCがどのような割合で各器官に分配され集積するのかを明らかにするために、栽培1ヶ月後の植物体を採取し、器官別(葉、茎、根)の乾物重とC含量を調べた。その結果、CO₂施用による光合成の増加と関連して、とくに葉におけるCの集積が高い傾向にある事が示された。

さらに、CO₂施用がピーマン果実への転流(糖の流入)に及ぼす影響を、EDTA法(果柄を切断しその切断面を濃度10 mMのEDTA溶液に浸漬することで、切断面におけるか

ース形成が抑制され、師管液を採取する方法)を用いて調べた。果実へ流入する糖としてはスクロースが最も多く、グルコースとフルクトースを含めた全糖のフラックスは、CO₂ 施用によって有意差は見られなかったものの、施用をしなかった場合よりもとくに午後において増加傾向が見られた(図2)。全糖フラックスの日積算値は、CO₂ 施用によって約20%増加したが、これは果実収穫量の増加率と概ね一致していた。

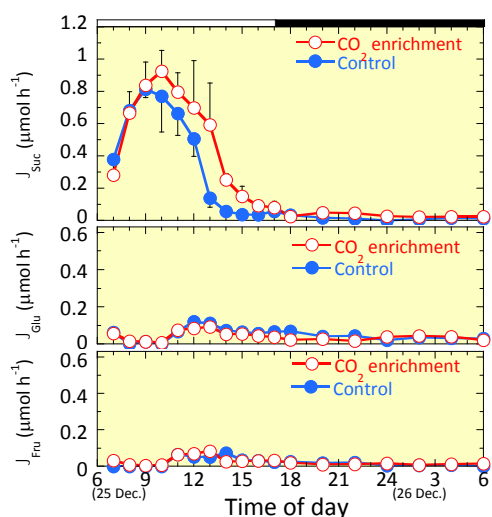


図2 CO₂ 施用(○)と無施用(●)のピーマン土耕温室におけるスクロース、グルコース、フルクトースの果実への流入速度(J_{suc} , J_{glu} , J_{fru})の経時変化(2014年12月25日6:00~26日6:00)

(2) 根群によるNの吸収(養分吸収)を把握するために、キュウリ根の養水分吸収速度の評価システムを用いて、異なる肥料濃度条件下(低濃度、高濃度)におけるN吸収の動態を長期的に評価した。その結果、栽培期間全の積算値としては、CO₂ 施用によって根の吸水量が増加し、そのために硝酸態窒素(NO₃⁻)やカリウム(K⁺)などの必須栄養素の吸収量が増加することが明らかになった(表1)。

表1 CO₂ 施用および無施用のキュウリにおける根の吸水量および硝酸態窒素(NO₃⁻)、カリウム(K⁺)の吸収量

	CO ₂ 施用	無施用
吸水量(L/plant)	25.0	22.5
NO ₃ 吸収量(mmol/plant)	137.5	120.4
NO ₃ 吸収量/吸水量	5.5	5.4
K 吸収量(mmol/plant)	138.6	119.8
K 吸収量/吸水量	5.5	5.3

次に、根に吸収されたNが、その後、生長に伴いどのような割合で各器官に分配され集積するのかを明らかにするために、栽培1ヶ月後の植物体を採取し、器官別(葉、莖、根)の乾物重とN含量を調べ、さらにC含量

との関係を明らかにした。とくに、CO₂ 施用をした葉においてはN濃度の減少傾向が見られ、CO₂ 施用に応じた養分管理の必要性が示唆された。

また、CO₂ 施用による成長・生産促進効果を最大限に発揮させるために、肥料濃度の組み合わせの効果を調べた。なお、材料植物としては実験の効果を明確に観察し、さらに限られた期間で栽培を行うために成長が早い葉菜類のサラダナを用いた。CO₂ 施用によって吸水量はCO₂ 無施用時と比べて減少したもののN吸収量は増加し、CO₂ 施用による植物の養分要求が増加したことが観察された。この効果は、肥料濃度が低濃度よりも高濃度条件下においてより顕著にみられた。植物体内におけるCとNの分配については、処理区間で有意な差は見られなかった。

以上のように、環境調節温室(CO₂ 施用、肥培管理)において、植物によるCとNの吸収とその後の分配・集積プロセスに関する基礎的データが得られた。これらは、温室の効率的な環境調節を実現する基盤技術の構築に寄与する有益な情報であると考えられる。

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)

[雑誌論文](計8件)

Yasutake D., Yu X., Asano T., Ishikawa M., Mori M., Kitano M. and Ishikawa K., Control of greenhouse humidity and airflow with fogging and circulation systems and its effect on leaf conductance in cucumber plants, *Environmental Control in Biology*, 査読有, Vol.52, No.2, 2014, 101-105

DOI: 10.2525/ecb.52.101

Yasutake D., Kiyokawa C., Kondo K., Nomiyama R., Kitano M., Mori M., Yamane S., Maeda M., Nagare H. and Fujiwara, T., Characteristics of nutrient salt uptake associated with water use of corn as a catch crop at different plant densities in a greenhouse, *Pedosphere*, 査読有, Vol.24, No.3, 2014, 339-348

DOI: 10.1016/S1002-0160(14)60020-5

Yasutake D., Okada E., Hosokawa T., Takahashi N., Takahashi A., Kubai K., Mori M., Yamane S., Miyachi K., An open-flow chamber with a multiple CO₂-gas analyzing system for continuous measurement of soil respiration in a greenhouse, *Environmental Control in Biology*, 査読有, Vol.52, No.1, 2014, 7-12

DOI: 10.2525/ecb.52.7

Nomiyama R., Yasutake D., Sago Y. and Kitano M., Transpiration integrated model for root ion absorption under salinized condition, *Biologia*, 査読有, Vol.68, No.6,

〔学会発表〕(計 42 件)

Yasutake D., Tanioka H., Mori M., Miyauchi K., Kitano M., Ino A. and Takahashi A., Continuous measurement of CO₂ efflux from greenhouse soil using the chamber method and concentration gradient method, International Symposium on Agricultural Meteorology ISAM 2015, 16-20 March, 2015, MEXT Tsukuba Center for Institutes (Tsukuba, Ibaraki, Japan)

安武大輔, 谷岡紘巨, 森牧人, 宮内樹代史, 猪野亜矢, 高橋昭彦, CO₂ 施用土温室における CO₂ 収支と群落光合成の動態の長期解析, 日本農業気象学会中国・四国支部大会, 2014 年 12 月 4-5 日, 山口大学吉田キャンパス (山口県山口市)

安武大輔, 猪野亜矢, 高橋昭彦, 島崎一彦, 北野雅治, 森牧人, 宮内樹代史, 炭酸ガスと湿度の制御が午前と午後の光合成能に及ぼす複合的影響 - 個葉チャンバの計測に基づく解析 -, 日本生物環境工学会 2014 年大会, 2014 年 9 月 9-11 日, 明治大学駿河台キャンパス (東京都千代田区)

安武大輔, 猪野亜矢, 高橋昭彦, 島崎一彦, 北野雅治, 森牧人, 宮内樹代史, 異なる CO₂ 濃度区画を創出する温室栽培システムの構築とその特性, 日本農業気象学会 2014 年全国大会, 2014 年 3 月 17-21 日, 北海道大学学術交流会館 (北海道札幌市)

安武大輔, 岡田栄一, 猪野亜矢, 高橋昭彦, 玖波井邦昭, 細川卓也, 高橋尚之, 森牧人, 宮内樹代史, CO₂ を施用した土耕温室における CO₂ 収支解析, 日本農業気象学会 2014 年全国大会, 2014 年 3 月 17-21 日, 北海道大学学術交流会館 (北海道札幌市)

安武大輔, 岡田栄一, 猪野亜矢, 細川卓也, 高橋尚之, 高橋昭彦, 玖波井邦昭, 島崎一彦, 北野雅治, 森牧人, 山根信三, 宮内樹代史, 温室内炭酸ガス施用による光合成の促進効果は午前よりも午後になる, 日本農業気象学会中国四国支部会, 2013 年 12 月 5-6 日, 愛媛大学城北キャンパス (愛媛県松山市)

安武大輔, 野見山綾介, 北野雅治, 水ストレス下のキュウリ根の養分吸収に対する蒸散統合型イオン吸収モデルの適用, 日本生物環境工学会 2013 年高松大会, 2013 年 9 月 2-5 日, 香川大学幸町キャンパス (香川県高松市)

安武大輔, 岡田栄一, 猪野亜矢, 細川卓也, 高橋尚之, 高橋昭彦, 玖波井邦昭, 島崎一彦, 森牧人, 山根信三, 宮内樹代史, 午後の CO₂ 施用は光合成促進に有効か? - 個葉のガス交換特性に基づく考察 -, 日本生物環境工学会 2013 年高松大会, 2013 年 9 月 2-5 日, 香川大学幸町キャンパス (香川県高松市)

安武大輔, 岡田栄一, 猪野亜矢, 細川卓也, 高橋尚之, 高橋昭彦, 玖波井邦昭, 森牧人, 山根信三, 宮内樹代史, 温室内の土壌呼吸速度をモニタリングする通気式チャンバシステムの確立, 日本生物環境工学会 2013 年高松大会, 2013 年 9 月 2-5 日, 香川大学幸町キャンパス (香川県高松市)

Yasutake D., Kiyokawa C., Kondo K., Nomiyama R., Kitano M., Mori M., Yamane S., Maeda M., Nagare H. and Fujiwara T., Characteristics of salt absorption by roots of corn catch crop at different densities in a greenhouse, The 3rd BioHydrology Conference, 21-24 May, 2013, University of Koblenz (Landau, Germany)

〔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

<http://www.cc.kochi-u.ac.jp/~yasutake/iinde.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安武 大輔 (YASUTAKE, Daisuke)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 90516113