



|              |                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Responses of photosynthetic properties and efficiencies to low growth light and low instantaneous light in leaves of a C4 plant, <i>Amaranthus cruentus</i>                                                        |
| Author(s)    | 田副, 雄士                                                                                                                                                                                                             |
| Citation     | 大阪大学, 2006, 博士論文                                                                                                                                                                                                   |
| Version Type |                                                                                                                                                                                                                    |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/47706">https://hdl.handle.net/11094/47706</a>                                                                                                                                |
| rights       |                                                                                                                                                                                                                    |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について <a href="#">ご参照ください</a> 。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名 田 副 雄 士

博士の専攻分野の名称 博 士 (理 学)

学 位 記 番 号 第 20673 号

学 位 授 与 年 月 日 平成 18 年 9 月 27 日

学 位 授 与 の 要 件 学位規則第 4 条第 1 項該当

理学研究科生物科学専攻

学 位 論 文 名 Responses of photosynthetic properties and efficiencies to low growth light and low instantaneous light in leaves of a  $C_4$  plant, *Amaranthus cruentus*  
( $C_4$  植物 (*Amaranthus cruentus*) の弱光環境に対する光合成特性の応答および弱光下における光合成効率について)

論 文 審 査 委 員 (主査)

教 授 長谷 俊治

(副査)

東京大学教授 寺島 一郎 助教授 柿本 辰男

## 論 文 内 容 の 要 旨

$C_4$  植物は、葉肉細胞と維管束鞘細胞からなる  $CO_2$  濃縮機構を持ち、 $CO_2$  を Rubisco の周りに濃縮して効率の良い光合成を行なうことができる。これにより、 $C_4$  植物は強光環境下で高い光合成速度を実現している。実際、自然環境下において、 $C_4$  植物は開けた裸地などに多く群生している。しかし、 $C_4$  植物は、林床のような弱光環境下ではほとんど見かけられない。このような知見から、 $C_4$  植物は弱光に対する馴化能力が低いと一般的に考えられてきたが、これまでに定量的に評価されてこなかった。

本研究では、異なる光条件下で栽培した  $C_4$  植物 *Amaranthus cruentus* を用いて、弱光馴化能力の評価を行なったところ、弱光環境下で栽培した *A. cruentus* においては、面積当たりのクロロフィル量を増やし、少ない光をより多く集めていたが、量子収率の増加には寄与しなかった。また、主要な  $C_4$  光合成酵素 (Rubisco、PEPC、PPDK) への窒素投資量や酵素活性は、栽培光環境によってあまり変わらなかった。以上の結果から、 $C_4$  植物の弱光馴化能力は  $C_3$  植物と比べて非常に低いと考えられる。また、炭素安定同位体分別の測定により、弱光下においては  $CO_2$  濃縮機構がうまく働いておらず、濃縮した  $CO_2$  の 5 割強が Rubisco で使われずに漏れていることがわかった。

$CO_2$  の漏れは、 $C_4$  回路 ( $CO_2$  濃縮経路) の  $CO_2$  固定と、 $C_3$  回路 (カルビン-ベンソン回路) による  $CO_2$  再固定のバランスが崩れた時に増大する。 $CO_2$  の漏れ率の結果より、 $150 \mu \text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下の弱光下では、 $C_4$  回路と  $C_3$  回路の活性バランスが大きく崩れていると予想された。そこで、 $CO_2$  の漏れ率を測定した葉をサンプリングした後、Rubisco と PPDK、PEPC の *in vivo* の活性を調べた。Rubisco と PPDK の *in vivo* 活性 (初期活性) は  $CO_2$  の漏れと良い対応関係を示した。 $500 \mu \text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上の光強度では、Rubisco と PPDK の活性化率はほぼ一定であったが、 $250 \mu \text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下の光強度では活性化率が低下した。一方で、PEPC の活性化状態 (PEPC のリン酸化率) は、Rubisco の活性化率の光依存性とは大きく異なった。リン酸化 PEPC の割合は光が弱くなるに従って直線的に低下し、 $200 \mu \text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の光強度では、すでに 2 割程度にまで減少していた。

以上の結果より、 $C_4$  植物にとって最適な条件である強光下では、常に Rubisco の周りの  $CO_2$  濃度が飽和に達した

状態になるように、PEPC による CO<sub>2</sub> 固定が盛んに行なわれていると考えられる。しかし、光が弱くなると、PEPC のリン酸化が大きく低下し、PEPC による CO<sub>2</sub> 固定速度の低下が起こる考えられる。それによって、維管束鞘細胞の CO<sub>2</sub> 濃度が下がるために、Rubisco のオキシゲネーション反応が大きくなり、Rubisco による CO<sub>2</sub> 固定速度が低下した結果、最終的に CO<sub>2</sub> の漏れが増加する、と考えられる。

本研究により、C<sub>4</sub> 植物 *A. cruentus* の弱光馴化能力が低いこと、また弱光下において CO<sub>2</sub> の漏れ率が增大することにより、弱光下で C<sub>4</sub> 光合成効率が大きく低下することが定量的に明らかとなった。

## 論文審査の結果の要旨

田副雄士君の学位論文「Responses of photosynthetic properties and efficiencies to low growth light and low instantaneous light in leaves of a C<sub>4</sub> plant, *Amaranthus cruentus* (邦題：C<sub>4</sub> 植物 (*Amaranthus cruentus*) の弱光環境に対する光合成特性の応答および弱光下における光合成効率について)」は、なぜ C<sub>4</sub> 植物が弱光環境下にほとんど見られないのかという大きな問題を、主として生理生態学的手法を用いて解明しようとしたものである。

強光と弱光環境で栽培した *A. cruentus* の葉の光合成コンポーネントへの窒素分配を詳細に調べたところ、弱光条件栽培植物ではクロロフィルへの窒素分配が相対的に多くなるものの、炭酸濃縮系および再固定系の酵素への窒素分配は光条件によってほとんど変化しなかった。これらは、C<sub>3</sub> 植物において典型的に見られるような光環境への馴化的応答が、*A. cruentus* に見られないことを意味している。また、C<sub>3</sub> 植物葉において見られる陽葉と陰葉分化も顕著でないこと、葉の乾物の炭素安定同位体比 (<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C) は弱光栽培葉の方が小さくなることも明らかにした。

次に、炭素安定同位体比の栽培光環境による違いが、弱光環境下で CO<sub>2</sub> 濃縮系とカルビン・ベンソン再固定系とのバランスが崩れ、濃縮された CO<sub>2</sub> が再固定されずに漏れるためである可能性を検討した。光合成による CO<sub>2</sub> 固定と固定される炭素の安定同位体比を同時に測定するシステムを用いて、弱光条件では炭素の漏れ率が上昇することを示す明確なデータを得た。さらに濃縮系の酵素および再固定系の酵素の活性または活性化レベルの光強度依存性の詳細な検討から、漏れ率の上昇は光エネルギー量低下による濃縮系の律速のためであると推論した。また、C<sub>4</sub> 植物では、漏れ率が光強度の低下とともに上昇するので、照射光量に対する光合成速度の勾配によって量子収率を計算する方法には問題があることも指摘した。

これらの結果は、C<sub>4</sub> 植物の弱光環境への馴化能力が乏しいこと、弱光下では、濃縮した CO<sub>2</sub> が漏れやすくエネルギーの損失が大きいことを明確に示しており、この分野の知見に大きな進歩をもたらした。したがって、審査委員会はこの論文が博士論文として十分の内容を持つものであると判断した。