

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：11201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660012

研究課題名(和文)新概念：根から葉までのCO<sub>2</sub>輸送コンダクタンスの確立研究課題名(英文)CO<sub>2</sub> conductance from roots to leaves of plants

研究代表者

下野 裕之(Shimono, Hiroyuki)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：70451490

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)：根圏のCO<sub>2</sub>濃度は大気中のCO<sub>2</sub>濃度に比べて非常に高く、植物が利用できるCO<sub>2</sub>源として考えられる。しかし、根圏CO<sub>2</sub>の利用動態を明らかにした例はほとんどない。本研究では、根圏のCO<sub>2</sub>がどのような経路で植物に利用されているかを明らかにする目的で試験を行った。根圏CO<sub>2</sub>はpHが低い可溶性のCO<sub>2</sub>の場合には、植物の葉で数分後に光合成測定装置にて検出することができた。しかし、根から蒸散流に乗って吸収されたのち、その多くは、直接大気に放出され、近接した植物にCO<sub>2</sub>を供給することを明らかにした。このような根圏からのCO<sub>2</sub>の供給が近接した植物へのCO<sub>2</sub>供給の役割を持つことを初めて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：CO<sub>2</sub> concentration in root-zone of plants is substantially higher than atmosphere, and this CO<sub>2</sub> source would potentially contribute to leaf photosynthesis of plants and carbon cycle on the earth. Very limited information is available for pathway of CO<sub>2</sub> from roots to leaves in short-term. We examined the effects of feeding CO<sub>2</sub> to root-zone on leaf gas exchange, and also we traced the <sup>13</sup>C labeled CO<sub>2</sub> feeding on plant use using sunflower and bean. We found that plants can absorb bicarbonate from roots, but they cannot transport it to aboveground in an hour. However, plants can absorb dissolved CO<sub>2</sub> and diffuse very quickly toward atmosphere, and re-fixed the CO<sub>2</sub> by themselves and neighbors in an hour.

研究分野：作物学

キーワード：根圏CO<sub>2</sub> 光合成 蒸散流

### 1. 研究開始当初の背景

植物の光合成において、葉緑体への CO<sub>2</sub> 供給は、大気から気孔を介して行われることが知られている。その経路の抵抗として、気孔の開閉に依存する気孔コンダクタンス (Willmer & Fricker, 1996; Shimono & Bunce, 2009; Shimono ら 2009; Shimono ら 2010) と葉内に入った CO<sub>2</sub> が葉緑体に至る抵抗、葉肉コンダクタンス (Evans ら 1986; Evans & Loreto 2000; Flexas ら 2008) がある。それに加えて、あまり着目されていないものの、根圏からも葉の Rubisco への CO<sub>2</sub> 供給がなされることが知られている (Cramer & Richards, 1999; Hibberd & Quick, 2002)。根圏の CO<sub>2</sub> 濃度は微生物や根の呼吸により、非常に高く、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度は 1 万 ppm にも上り、葉での光合成への寄与は小さくないものと考えられる。しかし、その根圏から供給された CO<sub>2</sub> がどのように移動するのか、短時間 (数分 ~ 1 時間) の動きは不明である。

### 2. 研究の目的

本研究では、根圏から供給される CO<sub>2</sub> がどのような経路で葉での光合成に利用されているのか、その応答時間を明らかとすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

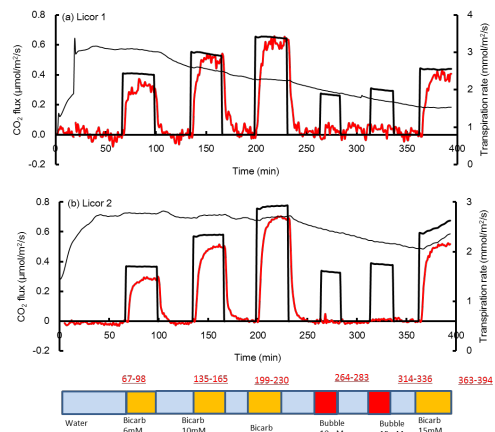
試験 1 として、導管内の CO<sub>2</sub> の輸送速度と輸送量を明らかにする目的で、切り取ったヒマワリの個葉の基部 (葉柄の先端) に高濃度 CO<sub>2</sub> 溶液に浸し、携帯型光合成測定装置 (LI-6400, LI-COR, 2cm x 3cm) で CO<sub>2</sub> flux を 1 分間隔もしくは 2 分間隔でモニターした。CO<sub>2</sub> の供給源としては、pH を調整し、Bicarbonate (pH8.0) と Dissolved CO<sub>2</sub> (pH5.0) の 2 種類を用いた。加えて、付与した Bicarbonate の体内での動態を明らかにするため、葉の基部 (個葉での試験) に安定同位体 13C-Bicarbonate (13C 濃度 (98%), 12C 濃度 (1%)) の溶液を用いて、葉で 13C と 12C を分別して測定した。なお、暗黒条件かつ大気 CO<sub>2</sub> ゼロの条件で測定した。蒸散速度と溶液中の CO<sub>2</sub> 濃度から期待される CO<sub>2</sub> flux を算出した。

試験 2 として、Intact なインゲンマメを用いて、根圏に高濃度 CO<sub>2</sub> 溶液を付加し、同様に葉での CO<sub>2</sub> flux の測定を行った。

### 4. 研究成果

試験 1 として、導管内の CO<sub>2</sub> の輸送速度をみるため、ヒマワリの葉を葉柄から切り落とし、その切り口から異なる CO<sub>2</sub> 濃度の溶液を吸わせた時の変化をみた (第 1 図)。切り口から携帯型光合成測定装置が取り付けられた葉からまで 15cm の長さがあった。

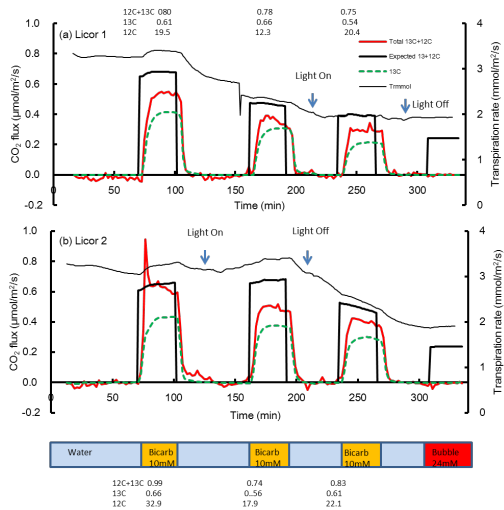
Bicarbonate として 1 ~ 3 回目にそれぞれ 6mM, 10mM, 15mM を供給すると、切り口に高濃度 CO<sub>2</sub> 溶液につけてから、3 ~ 4 分後に葉で検出が開始され、安定したピーク (最大値の 85% 以上) に達するまでさらに 4 分必要であり、その後は安定した値をとった。その最大値は、蒸散速度と溶液の CO<sub>2</sub> 濃度から期待される CO<sub>2</sub> flux の 9 割以上が認められた。処理を終了して水に戻すと、4 ~ 6 分後に CO<sub>2</sub> flux が低下を開始し、その後、さらに 6 分後にゼロに戻った。一方、高濃度 CO<sub>2</sub> を Dissolved CO<sub>2</sub> (10mM, 15mM) としてヒマワリの葉の切り口から供給する場合 (4 回目と 5 回目) CO<sub>2</sub> flux が検出できなかった。その後、6 回目に 15mM の Bicarbonate に戻すと検出できた。



第 1 図. ヒマワリ個葉の葉柄の切り口から異なる濃度の CO<sub>2</sub> 溶液を Bicarbonate として吸わせた時の CO<sub>2</sub> flux. 赤線が実測値、黒太線が期待値、黒細線が蒸散速度を示す。

導管内での Bicarbonate は導管からそのまま CO<sub>2</sub> flux として気孔または表皮を通じて放出されるのか、それとも内部にある CO<sub>2</sub> のプールに一度入ったのち、放出されるのか、同位体 13C の Bicarbonate を付加してその応答を評価した (第 2 図)。その結果、1 回目の 10mM の 13C-Bicarbonate の付加において 13C-CO<sub>2</sub> のみならず、12C-CO<sub>2</sub> を検出することができた。それは期待値の 19.5 倍もみられ、葉の内部の CO<sub>2</sub> を押し出していることを明らかにした。これは 2 回目、3 回目でも同様に認められた。

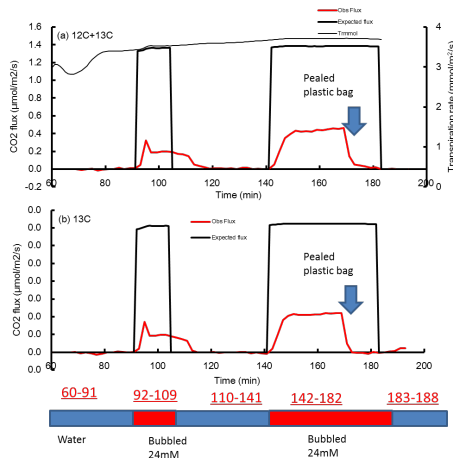
また、検出される CO<sub>2</sub> が光合成に利用されるかをみるため、葉の光条件を暗黒と明期の 2 段階で行った。その際に、12C+13C の期待値に対する比率をみると、暗黒では 0.78-0.80 だったのに対し、明期では 0.75 に低下することから、この低下分が光合成による利用であることを示唆した。一方、Dissolved CO<sub>2</sub> で供給した場合は、CO<sub>2</sub> flux を検出することができなかった。



第2図．ヒマワリ個葉の葉柄の切り口から異なる濃度のCO<sub>2</sub>溶液を13C Bicarbonateとして吸わせた時のCO<sub>2</sub> flux．赤線が13C+12C実測値，緑線が13C実測値，黒太線が期待値，黒細線が蒸散速度を示す．

Dissolved CO<sub>2</sub>が検出できない理由として，葉と茎からの大気中への揮発が原因と考え，次に，葉と茎をビニル袋で覆い完全にシールすることで大気との避けた状況で葉にDissolved CO<sub>2</sub>溶液を供給する試験を実施した．結果，葉においてCO<sub>2</sub> fluxが約10分後に検出でき，ピークにその後3分で達した(第3図)．そのピークは期待されるfluxの30%以下と非常に低かった．処理を終了後について10分後に低下が開始し，さらに5分後にゼロとなった．

また，2回目にDissolved CO<sub>2</sub>を付加している最中に，ビニル袋を切り裂く処理を行うと，CO<sub>2</sub> fluxが急激に低下した．このことからDissolved CO<sub>2</sub>は植物に吸われたのち，急速に大気中に揮発されることを示した．



第3図．ヒマワリ個葉の葉柄の切り口から高濃度CO<sub>2</sub>をDissolved CO<sub>2</sub>として供給した時のCO<sub>2</sub> flux．

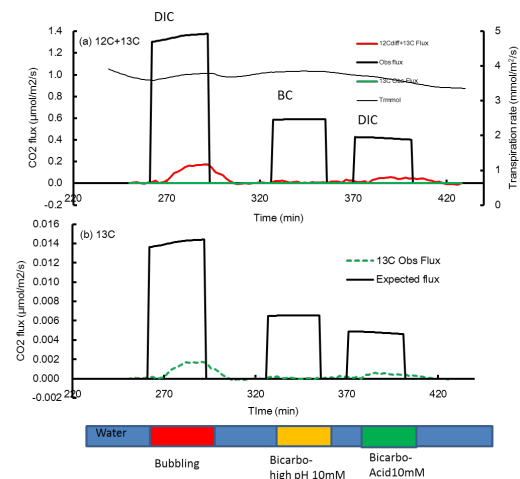
赤線が実測値，黒太線が期待値，黒細線が蒸散速度を示す．

以上，個葉を用いた試験1の結果から，Bicarbonateは植物体の導管中で安定して移動し，一度，吸収されたBicarbonateは葉の内部にあるCO<sub>2</sub>のプールに入ってから押し出されることを見出した．一方，Dissolved CO<sub>2</sub>は非常に短時間で大気中に揮発することを明らかにした．

試験2として，Intactなインゲンマメの根圏に高濃度CO<sub>2</sub>溶液に植物体全体をビニル袋でシールした環境で暴露する試験を行った．根にBicarbonateとして付与する場合は，葉で検出することができなかったが，Dissolved CO<sub>2</sub>として付与する場合は検出できた(第4図)．検出開始までの時間が10分後と遅く，ピークの値も期待値の10%以下にとどまった．

これらより，Dissolved CO<sub>2</sub>は根から吸収できるが，すぐに揮発することを示した．一方，Bicarbonateは根から吸収できない，もしくは吸収できるが地上部まで達さないことを示した．

以上，根圏から供給されるDissolved CO<sub>2</sub>は植物体を通じて，その多くが大気への揮発を介して隣接する個体にCO<sub>2</sub>を供給し，群落光合成に寄与することを示唆した．



第4図．インゲンマメの根圏に異なるCO<sub>2</sub>溶液(Bicarbonate=BC, Dissolved CO<sub>2</sub>=DIC)にさらしたときの葉からのCO<sub>2</sub> fluxの変化．

## 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 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

下野裕之・近藤始彦・John R. Evans (2015)

植物は根圏 CO<sub>2</sub>を葉での光合成に利用しているか？第 56 回日本植物生理学会年会 2015 年  
3月17日 東京都 世田谷 東京農業大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

下野裕之 (SHIMONO, Hiroyuki)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：70451490