マングローブ気根のガス交換機能に関する研究 (1)

矢吹万寿・北宅善昭・杉 二郎*

大阪府立大学農学部・*東京農業大学総合研究所

Studies on the Function of Mangrove Pneumatophores (1)

Kazutoshi YABUKI, Yoshiaki KITAYA and Jiro SUGI*

College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Sakai 591, Japan

*Nodai Research Institute, Tokyo University of Agriculture, Setagaya-ku, Tokyo 156, Japan

The function of the elected pneumatophores of two mangrove species, *Avicennia marina* and *Sonneratia alba*, was investigated. Experiments were carried out with detached samples from the habitat in order to clarify that the photosynthetic reaction takes place at the surface of the pneumatophore and plays an important role in the gas exchange between the pneumatophore and the root in the subsoil.

As a result, the gross photosynthetic rates of the pneumatophores of *A. marina* and *S. alba* were 3 and 11 mgCO₂/dm²/hr, respectively, at the light intensity of 0.45 cal/cm²/min. Their light compensating points were at 0.02–0.03 cal/cm²/min and similar to that of a shaded leaf. The diffusion rates of O₂ from the pneumatophores to the roots in the light condition were higher than those in the dark condition. In addition, O₂ diffusion rates increased when the pneumatophores were supplied with CO₂ through their cut surfaces.

These facts show that O₂ is produced by the photosynthetic reaction in the pneumatophores during daytime. Then O₂ diffuses to the root in the subsoil where it is used for the root respiration. In addition, the respiratory induced CO₂ diffuses to the pneumatophore and is used for the photosynthesis in the pneumatophore.

(Received February 23, 1990)

1990年2月23日受付

緒 言

マングローブの多くの種は、気根をもっている。気根の機能に関する研究は、Goebel¹⁾, Karsten²⁾ に始まり、最近では Scholander らの論文³⁾ が代表的である。それらによると、気根は泥土中の根に O₂ を供給する器官であり、気根表面の皮目と内部の通気組織を通じて、根の内部と大気中とのガス分圧の差により、ガス交換が行われるとしている。Scholander ら³⁾ によると、気根が水没すると皮目が塞がれるため、根内の O₂ 濃度は 5~10% となるが、干潮になると 10~18% まで回復する。これは皮目 (lenticel) と気道 (aerenchyma passage) を通じて、外界との空気の交換が行われていることを示し、気根が水中から出たときの急激な空気の交換を助けている。こ

のようなガス交換と潮の干満との関係は、昼夜の別なく同様である。また気根の皮目をグリースで封じて空気の交換を妨げると、根内の空気の O₂ 含有率は急速に低下し、2 日間で 1% になったことを報告している。この気根の機能に関する実験が明快なため、彼らの説明が今日まで信じられてきた。

一方、著者らは、タイ国ラノーン (Ranong) でマングローブ林調査を行った際に、*Avicennia* 属や *Sonneratia* 属の直立気根の表皮の下に葉緑素を含む層があることを見いだした。このことは気根が光合成反応を行い、CO₂ を固定し O₂ を生成していることを意味するものである。よって日中には、気根の光合成反応によって生じた O₂ が通気組織を通して泥土中の根に拡散し、根の呼吸に利用されることが考えられる。

本研究ではこのような気根の機能に関する仮説を実証

するために、まず直立気根が光合成反応を行っていることを確かめた。次に、光合成反応により生成した O_2 が根に拡散し、根の呼吸に利用され、またその呼吸により生成した CO_2 が気根に拡散し、光合成反応に再利用されることも考えられるので、これについても確かめ、根と気根との間に O_2 と CO_2 の循環系が成立していることを明らかにした。

材料および方法

1. 気根の光合成

Avicennia marina および *Sonneratia alba* の直立気根について光-光合成曲線を求めるため、供試材料を沖縄県西表島で採取し大阪府立大学農学部（大阪府堺市）の研究室に持ち帰り、採取5日後に光合成を測定した。光合成速度は、人工気象室内で開放型同化箱法により測定した。測定システムの概要を Fig. 1 に示す。同化箱は透明アクリル樹脂でできており、同化箱流入空気および流出空気中の CO_2 濃度差から光合成速度を算定した。 CO_2 濃度差の測定には、差型赤外線 CO_2 分析計（ZFP-5, 富士電機）を用いた。気根は同化箱内に寝かせて並び、上方から光を照射した。光源には陽光ランプ（DR400/TL）を用いた。同化箱内温度は試料採取時の気温とほぼ同様、 $30^\circ C$ に制御した。

2. 気根から根への O_2 の拡散

気根の光合成により生成した O_2 が根に拡散することを確認するため、気根から根部に向かう O_2 の拡散を調査した。

上述と同様、西表島で採集した直立気根を用いて、制御環境下で測定を行った。Fig. 2 に示すように気根の下部切口にガラス容器（容量 300 ml）を取り付け、容器内部を 100% N_2 ガスで充たした。その後、容器内の O_2 濃度の時間変化を光照射下（光強度 $0.33 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ ）および暗黒下で測定した。

次に、根の呼吸により生成した CO_2 が、気根に拡散し、光合成に使われると考えられるので、気根下部の CO_2 濃度を高めるために、下部容器に CO_2 濃度 8%， N_2 濃度 92% の混合ガスを充填し、下部容器内の O_2 濃度の変化を調べた。容器内空気の O_2 濃度はガスクロマトグラフ（モデル 663, 日立製作所製）を用いて分析した。試料空気の採取にはマイクロシリンジを用い、試料量は 0.2 ml とした。

なお、実験中は気根上部にも同様なガラス容器を取り付け、急激な乾燥を防止した。また下部容器は光照射による温度上昇を防ぐため、アルミ фольで覆い遮光した。

Fig. 1 Apparatus for measuring the photosynthetic rate of a pneumatophore.

Fig. 2 Equipment for measuring the O_2 exchange rate of a pneumatophore.

結 果

1. 気根の光合成

Fig. 3 に気根の光合成速度と光強度との関係を示す。*Avicennia marina* では 12 個、*Sonneratia alba* では 3 個の供試体をそれぞれ同時に測定し、その平均値を図に示した。それぞれの気根は地際で切除したものであり、*Avicennia marina* の気根の長さの平均は 11.1 cm 、切口の直径は 0.6 cm 、また *Sonneratia alba* の気根の長さの平均は 8.7 cm 、切口の直径は 1.1 cm であった。また図には参考として、*Rhizophora stylosa* の支柱根の光合成速度、呼吸速度も示した。

図の横軸に示した光強度は水平面での値であるので、円錐形に近い気根の光合成速度を算出する場合、単位面積の取扱いが問題となる。ここでは光線方向に対して直角な受光面積と考えられる気根の投影面積、すなわち光線方向に直角となる気根の断面積で CO_2 吸収速度を除した。なお呼吸速度については、暗黒下での測定値であるので、試料の CO_2 放出速度をその全表面積で除して

Fig. 3 Net photosynthetic rate of pneumatophores.

求めた。

光強度 $0.45 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ の時の *Sonneratia alba* および *Avicennia marina* 気根の正味光合成速度はそれぞれ $6.4 \text{ mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ および $2.1 \text{ mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ 、総光合成速度はそれぞれ $11.3 \text{ mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ および $2.8 \text{ mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ であり、明らかに気根が光合成反応を行っていることが実証された。両種の気根の光補償点は $0.02 \sim 0.03 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ とかなり低く、陰葉的な特性をもっていた。また *Rhizophora stylosa* の支柱根も光合成を行っていたが、その速度は前2種に比べて小さかった。

2. 気根から根への O_2 の拡散

Avicennia marina の気根の切口を $100\% \text{ N}_2$ ガスの入った下部容器 (Fig. 2) に入れ、上部に光を照射した場合または暗黒下に置いた場合、下部容器内の O_2 濃度の変化を Fig. 4 に示す。*Avicennia marina* の気根表面には皮目があるため、暗黒でも気根を通して O_2 が大気中から容器内に拡散してくるが、明期には暗期の約2倍の O_2 が拡散することがわかる。これは明期に気根の光合成により O_2 が生成され、それが気根下部に拡散することを実証するものである。

この実験では切除した気根を供試しているの、光合成に利用される CO_2 の供給源は大気と気根の呼吸のみであるが、実際には泥土中の根の呼吸作用によって生成される CO_2 が気根に拡散することが考えられる。そこで次に *Avicennia marina* の直立気根について、気根下部から CO_2 の供給がある場合とない場合の O_2 拡散量を比較した。その結果を Fig. 5 に示す。測定開始から2時間40分後までの暗条件下では、気根下部容器内を8

Fig. 4 Oxygen diffusion by the pneumatophore of *Avicennia marina* under the conditions of dark or light.

The values on the ordinate indicate the concentration and quantity of O_2 in the lower receptacle shown in Fig. 2.

Fig. 5 Oxygen diffusion by the pneumatophore of *Avicennia marina* under different CO_2 concentrations.

The values on the ordinate indicate the concentration and quantity of O_2 in the lower receptacle shown in Fig. 2. The receptacle contained $100\% \text{ N}_2$ ($\text{CO}_2 0\%$), or $8\% \text{ CO}_2$ and $92\% \text{ N}_2$ at the beginning of the experiment.

$\% \text{ CO}_2$, $92\% \text{ N}_2$ で充たした区と、 $100\% \text{ N}_2$ で充たした対照区では、気根から下部容器内に拡散する O_2 量は等しかった。その後光を照射すると両区とも O_2 拡散量は増加し始めたが、 CO_2 処理区の増加速度は対照区に比べて約25%大きくなった。Fig. 6 は *Sonneratia alba* の直立気根を用いて、同様の実験を明条件下のみで行った結果である。処理開始1時間後から、 CO_2 処理区の O_2 拡散量が対照区より多くなった。これらのことから、明期には根から拡散した CO_2 が気根の光合成に利用され、光合成速度が高くなり、 O_2 発生速度が増加することが明らかとなった。

Fig. 6 Oxygen diffusion by the pneumatophore of *Sonneratia alba* under different CO₂ concentrations.

The values on the ordinate indicate the concentration and quantity of O₂ in the lower receptacle shown in Fig. 2. The receptacle contained 100% N₂ (CO₂ 0%), or 8% CO₂ and 92% N₂ at the beginning of the experiment.

考 察

以上の結果から、*Avicennia* 属および *Sonneratia* 属の直立気根のように葉緑素をもつ気根では、従来からいわれている気根表面の皮目および気根中の通気組織を通したガス交換に加えて、日中には光合成反応を行い、それにより生成した O₂ が泥土中の根に拡散して呼吸に利用されることが明らかになった。

気根が陰葉的な光合成特性をもっていることは、気根

が林床にあることに関係していると考えられる。すなわち日射量が比較的少ない林床では、低い光強度で高い光合成活性を維持することが重要となるからである。さらに気根はほぼ鉛直に立っているので、太陽高度の高いときに直達日射の受光量が著しく小さくなることも、陰葉的な特性と関連しているかもしれない。

光合成に使われる CO₂ として、大気から拡散してくるもの、気根自身の呼吸によるものおよび根から気根へ拡散してくるものが考えられる。根から気根に拡散する CO₂ の多くは根の呼吸によるものであろう。このように気根で光合成により発生した O₂ は、根で呼吸に利用され、その呼吸で発生した CO₂ が気根に拡散して再び光合成の材料として使われる。根と気根の間には、このようなガスの循環系が成り立っており、この機能が塩分濃度が高く、浸透圧が高い土壌中から水分を吸収するための重要な役割を担っているものと考えられる。

本研究では気根のガス交換機能を明らかにするため、切除した気根を用いて実験を行ったが、このような気根の機能を実証するためには、さらに生育現場において気根のガス交換の測定を行う必要がある。

文 献

- 1) GOEBEL, K. 1886. The ecology of the Aberdeen creek mangrove swamp. J. Ecol. 51: 639-703.
- 2) KARSTEN, G. 1893. Über die Mangrovevegetation im Malayischen Archipelago. Biol. Bot. 5: 56-64.
- 3) SCHOLANDER, P.F., L. Van DAN and S.I. SCHOLANDER. 1955. Gas exchange in the roots of mangroves. Am. J. Bot. 42: 92-98.