

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22580158

研究課題名(和文) 湿地生樹木の湛水耐性機構 - 二次通気組織の発達と樹体内酸素の動態

研究課題名(英文) Submergence tolerance of swamp forest tree. Development of aerenchyma and oxygen dynamics

研究代表者

益守 眞也 (Masumori, Masaya)

東京大学・農学生命科学研究科・講師

研究者番号：50282702

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯アジア地域の湿地に分布する高木性樹種の *Melaleuca cajuputi* の実生を実験対象として、全身が水中に没しても生存し伸長成長を維持できる耐性機構を調べた。水中でも周囲に溶存する二酸化炭素を基質とした光合成を続けることができること、また体内に連続的に発達した通気組織を介して、光合成によって産生された酸素が根系に移動できることが明らかになり、日中は根系での好気的な内呼吸が続けられていることを示唆する結果が得られた。

研究成果の概要(英文)： *Melaleuca cajuputi* is a tree species distributed in tropical swamp, seedlings of which can survive under flooding water for prolonged period of rainy season. Tolerant mechanism of the seedlings under submerged condition was investigated. Several experiments imply that capability of photosynthesis using the dissolved CO₂ in the water and the internal conduction system of the evolved oxygen into non-photosynthetic organs may facilitate the survival and growth of *M. cajuputi* seedlings in swamp habitat, where dissolved CO₂ concentration of water is sometime higher than atmospheric equilibrium.

研究分野：森林科学

科研費の分科・細目：造林

キーワード： *Melaleuca* 通気組織 湿地生樹木 湛水耐性 沈水耐性 低酸素ストレス

1. 研究開始当初の背景

水の酸素溶解量が少なくガス拡散速度も極めて低い場合、土壌が水で飽和すると根への酸素供給が著しく抑えられ好気呼吸ができなくなり、根の生理活性が低下して養水分の吸収が妨げられ、植物にとって致命的な害をもたらす。また植物根や微生物の酸素消費により土壌中の酸素濃度が低下すると有害な金属が還元されて溶出してくることも湛水に伴う植物の傷害の要因となる。種によってはこのような湛水条件に対する耐性を持ち根の活性を維持し成長し続けることができる。湛水耐性種の適応的反応としては、好気呼吸に拠らずにエネルギーを産生する代謝経路の誘導(例えば醗酵系の賦活化)と共に、通気組織の形成が知られている(Drew 1997に総説)。湛水条件においたときの茎や根での通気組織の形成は湛水耐性種の多くで見られ、気中にある地上部から根系への酸素輸送を容易にする反応であると説明されている。この考えは、根からの漏出酸素を詳細に測定するという手法により多くの傍証が得られているが、根自身による消費量や根からの酸素漏出抵抗を無視した根外の酸素濃度の測定では、実際に通気組織が酸素輸送にどの程度寄与しているかは必ずしも明らかにならない。

陸生植物が完全に水没する沈水状態はガス拡散速度が気中に比べて非常に低く、多くの植物種にとって酸素を欠乏させ枯死を引き起こす原因となる。熱帯の泥炭湿地に分布する高木性の樹種 *Melaleuca cajuputi* の実生は、雨季の水位上昇により沈水しても、生存し成長を続ける。これは沈水条件下においても光合成することができるためであると考えられる。

生きた組織内の酸素濃度を測る技術として微小なクラーク型酸素電極が医学分野で発達してきた。近年、比較的硬い細胞壁を持つ植物組織にも応用できるような電極が作製されている。湛水耐性種の根内酸素濃度測定も試みられており、通気組織の酸素輸送への寄与が示されつつあ

るが(Armstrong et al. 2000, Pedersen et al. 2006 など)、いずれも対象としているのはイネやヨシなどの草本種が大多数である。

研究代表者らは本研究課題で供試したタイ南部の湿地に生育する *Melaleuca cajuputi* が極めて高い湛水耐性を持ち(Yamanoshita et al. 2001)、水中でも高いエネルギー充足率を維持していることを示し(Yamanoshita et al. 2005)、特に代謝的な適応反応について研究されてきた(Kogawara et al. 2006)。同じフトモモ科の *Syzygium* についても、周皮内に二次通気組織が形成されることや、実験的な湛水に対する耐性と組織の空隙率に関連があることを明らかにしてきた(江崎ら 2005)。さらに自作したクラーク型酸素電極を用いて根内酸素濃度の測定に成功し、耐性種では地上部から根系への酸素輸送が周皮の中を通しておこなわれていることなどを実証してきた(柳澤ら 2009)。

2. 研究の目的

本研究課題は、湿地での造林手法の開発を目標として、湿地に生育する樹種を対象に、根系が低酸素にさらされても生育できる耐性機構を解明しようとするものである。

本研究では *M. cajuputi* の光合成とそれに伴い生産される酸素の動態を明らかにするため、実験室内で植物体の内部及び周囲の酸素濃度を実測した。また *M. cajuputi* 実生が生育する湿地では、光合成基質である CO_2 の水中の溶存量が高いことが報告されている。水中の高濃度 CO_2 環境が成長に及ぼす影響を調べた。

3. 研究の方法

まず、自作の微小酸素センサーを使って植物体内2か所の酸素濃度の変化を同時に長時間記録できる実験系を開発し、水中に固定した実生の茎内部の酸素濃度を計測した。

4. 研究成果

1) 沈水環境下における根内部と根圏の酸素濃

度の同時測定

微小酸素センサーを用いて、沈水させたM. cajuputi実生の根内部及び根圏の酸素濃度を同時に計測した。3週間以上の沈水条件下での栽培を行った実生を実験に用いた。透明の容器に寒天を用いて地際部付近が寒天の壁に埋まるよう固定し、容器を培養液で満たすことで植物体全体を沈水させた。植物体のシュート周囲と根圏の培養液は寒天の壁で分断した。酸素センサーを主根内部と根から約5mm離れた外部の水中に設置し、根内部と根圏それぞれの酸素濃度を測定した。植物育成用の蛍光灯を、16時間点灯/8時間消灯の周期でシュートへ照射した。

光が消えている暗期には根圏の酸素濃度が根内部の酸素濃度よりも高かったが、光の照射が始まると根内部と根圏の両方の酸素濃度が上昇し、根内部の酸素濃度が根圏よりも高くなった(図1)。光照射が終わると根内部と根圏の両方の酸素濃度が低下した。

明期に根内部の酸素濃度が上昇し、暗期に低下したことは、沈水したM. cajuputi実生が光合成し根に酸素を供給していることを示している。明期の根内部の酸素濃度は気中と同等で、好気呼吸を維持するには十分だった。根圏の酸素濃度も明期に上昇し暗期に低下したが、明期の酸素濃度は根内部の方が根圏よりも高かった。植物体のシュート周囲と根圏の培養液は寒天の壁で分断して計測を行ったため、この結果から光合成由来の酸素が植物体外部ではなく内部を通じて根に供給され、根圏に放出されたことが示唆される。

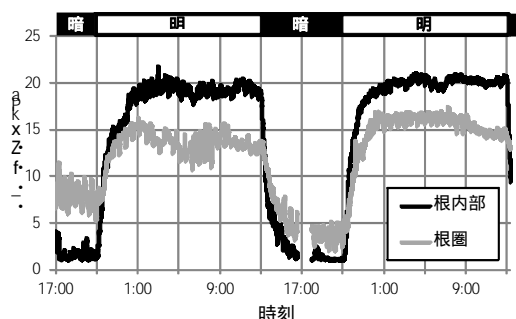


図1 根内部及び根圏の酸素濃度に及ぼす光条件の影響



図2 成長に及ぼす高濃度CO₂空気の影響(21日目)
両処理区の供試体を一つの水槽に移し替えて撮影

2) 高濃度CO₂の沈水環境が与える成長への影響

沈水させたM. cajuputi実生を、容器底から高濃度CO₂空気(CO₂:5%、O₂:21%、N₂:balance)を気泡状に通気しつつ21日間育成した。実験室内の空気を通気する対照区も設けた。

実験開始から7日ごとに苗高と葉数を記録した。苗高は7日目以降、葉数は21日目の時点で、高濃度CO₂空気を通気した方が有意に大きかった(図2)。

21日目の乾重量は葉、茎、根の全てにおいて高濃度CO₂ガスを通気した方が有意に大きかった。

沈水条件において、水中の酸素濃度を空気と同等にした状態でCO₂濃度を高めるとM. cajuputi実生の成長が促進されることが示された。

3) 植物体周囲のCO₂濃度が与える沈水環境下における茎と根内部の酸素濃度への影響

沈水させたM. cajuputiの茎内部及び根内部の酸素濃度を同時計測した。3週間以上沈水させて栽培した実生を実験に用いた。シュート周囲と根圏の培養液が分断されるように植物体を沈水状態で固定し、16時間点灯/8時間消灯の周期で光を照射した。また実験室内の空気または高濃度CO₂空気を培養液に通気して、シュート周囲あるいは根圏のCO₂濃度を变化させた。

茎内部の酸素濃度も根内部と同様、明期に上昇し暗期に低下した。酸素濃度の値は常に茎内部の方が根内部よりも高かった(図3)。

茎及び根内部の酸素濃度が明期に上昇し、また酸素濃度は常に茎内部>根内部となったこと

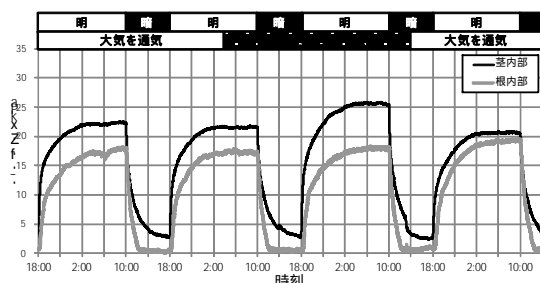


図3 周期的な光条件下での茎内部及び根内部の酸素濃度と地上部周囲の高濃度CO₂の影響

から、茎から根内部に光合成由来の酸素が供給されていることがより強く示された。

シュート周囲のCO₂濃度を高めたとき、明期の茎内部の酸素濃度のみが増加した(図3)。一方、根圏のCO₂濃度を高めても、明期の酸素濃度は茎内部と根内部のどちらも増加しなかった。

シュート周囲の高濃度CO₂のみが、茎内部の光合成由来の酸素を増加させることが示唆された。

4) 結論

沈水条件下において、M. cajuputi実生の内部酸素濃度は光照射の有無に合わせて上下した。ガス拡散速度の低い沈水環境では実生が外部から酸素を取り入れた可能性は低く、この結果はM. cajuputi実生が沈水しても光合成していることを示している。

光照射時の酸素濃度の大小関係は茎内部>根内部>根圏となり、茎内部の酸素濃度は空気中よりも高かった。この結果からM. cajuputi実生が沈水条件下で光合成により生産した酸素が植物体内部を通じて根に供給されている動態が推察できる。

CO₂濃度のみが高い環境における成長の促進と、シュート周囲の高濃度CO₂環境による茎内部の酸素濃度の増加は、沈水条件下においてCO₂が光合成の制限要因であることを示唆している。

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1件)

Tanaka, K., Masumori, M., Yamanoshita, T., Tange, T., Morphological and anatomical changes of *Melaleuca cajuputi* under

submergence. *Trees* 25:695-704 (査読有)

〔学会発表〕(計4件)

中村隆俊, 新田矩譜流, 中村元香, 益守眞也, 田中一生.(2014) 湿生植物における根の呼吸特性と根内酸素濃度. 第61回日本生態学会大会 2014年3月14日~3月18日 広島国際会議場

Tanaka Kazuo, Ube Masahiro, Masumori Masaya, Tange Takeshi. (2013) Submergence tolerance in *Melaleuca cajuputi* seedlings. The 4th International Workshop on Wild Fire and Carbon Management in Peat-Forest in Indonesia 2013年9月24日~9月26日 インドネシア Palangka Raya

田中一生・宇部真広・益守眞也・丹下健. 沈水した *Melaleuca cajuputi* のシュートにおける水中での光合成と根への酸素供給. 第124回日本森林学会大会 2013年3月27日 岩手大学

田中一生・益守眞也・山ノ下卓・丹下健. 沈水環境下における *Melaleuca cajuputi* の通気組織の発達. 第123回日本森林学会大会 2012年3月28日 宇都宮大学

〔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〕

6 . 研究組織

(1)研究代表者

益守 眞也 (MASUMORI Masaya)
東京大学大学院農学生命科学研究科・講師
研究者番号: 50282702