

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：23657014

研究課題名（和文） 水生植物の地下部の呼吸コストの定量

研究課題名（英文） Estimation of respiratory cost in the roots of hydrophytes

研究代表者

野口 航 (NOGUCHI KO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：80304004

研究成果の概要（和文）：本研究では、水生植物の低酸素環境への適応機構を理解することを目的として、地下部組織内の酸素濃度や地下部の呼吸速度を、酸素の給気能力の異なる水生植物種で比較した。拡散型の種では根の量が少なく、根あたりの酸素消費速度は換気型の種よりも低かった。根への酸素供給能力が低い拡散型の種では、根の呼吸速度を抑えることにより根の酸素濃度の低下を防いでいると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined the strategies of hydrophytes for root O_2 consumption in relation to the aeration capacity. In the low-aeration-capacity species, the root dry mass was small and thereby the O_2 consumption rate of the whole roots was low. This characteristics consequently compensated for the low aeration capacity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：水生植物、呼吸系、低酸素環境、地下部、通気組織

1. 研究開始当初の背景

水生植物が生育する環境は低酸素状態である。水生植物は地下部の酸素不足を回避するため、地上部から地下部への酸素の給気機能を持つ。その機能として、換気（能動的な酸素の輸送）と拡散（受動的な酸素の輸送）があり、拡散よりも換気の給気能力が高い。これまで、水生植物の低酸素環境への適応機構に関する研究では、地上部における給気様式と給気能力の関係や給気様式のメカニズムについての研究が中心で、給気能力と生育地の低酸素環境との間に相関があることが指摘されている。

しかし、給気能力が異なる種が低酸素環境において同所的に分布する場合も多く、給気

能力だけでは低酸素環境への適応は十分に説明できない。一方、地下部では、組織内の酸素濃度が給気能力の違いや地下部の呼吸活性の違いにより変化する。そのため、水生植物の地下部では、低酸素環境に適応するために給気に応じた効率的な酸素消費（呼吸）を行っていると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、地下部組織内の酸素濃度、地下部の呼吸系を、酸素の給気能力の異なる水生植物で比較し、水生植物の低酸素環境への適応機構を理解することを目的とした。

3. 研究の方法

給気能力の異なる植物種として、換気型のヨシ (*Phragmites australis*)、拡散型マコモ (*Zizania latifolia*) とイネ (*Oryza sativa*) を用いた。0.2 mM NH_4NO_3 の窒素条件で水耕栽培を行い、窒素ガスを水耕液中にバブリングすることにより低酸素条件を設定した。

根の呼吸速度を液相型酸素電極で測定した。液相内の酸素濃度を制御し、酸素濃度に対する呼吸速度の依存性を求めた。測定したサンプルを乾燥させ、乾燥重量を求めて、呼吸速度 (酸素消費速度) を乾燥重量あたりで求めた。また、根の全体の乾燥重量も測定した。

ニードル式微小酸素電極 (PreSens ニードル式マイクロ酸素濃度計) を購入し、給気能力の異なる植物の地下部内部の酸素濃度を直接比較した。

4. 研究成果

ヨシ (換気型) とマコモ (拡散型) の換気能力について、文献値を用いて比較をした。それぞれの種のシュートあたりの拡散速度 ($\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$) は、ヨシは 0.07-0.12、マコモは 0.33-0.42 であり、マコモの方が高い (Yamasaki (1987) *Aquat Bot* 29:205-215)。しかし、ヨシの換気速度は 3.20-5.29 ($\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$) となり、ヨシの方が圧倒的に根への酸素供給速度は高い。計算した結果として、地上部と根の間の組織内の酸素濃度は、ヨシが 15.1-18.7% O_2 であり、マコモは 8.1-15.1% O_2 となった。つまり同じ水生植物でも換気型ヨシに比べて、拡散型マコモの方が低酸素ストレスを受けていることになる。

そこで、2種の乾燥重量あたりの呼吸速度 (酸素消費速度) の、酸素濃度への依存性を比較した。ヨシ (換気型) とマコモ (拡散型) では、乾燥重量あたりの根の呼吸速度 (酸素消費速度) が異なり、拡散型マコモの方が高い値を示した (図1)。つまり、同じ酸素濃度のときにも、拡散型マコモの方がより多くの酸素を消費してしまうことが明らかになった。

しかし、根全体の乾燥重量は拡散型マコモでは、換気型ヨシよりも少なく、根あたりの酸素消費速度を計算すると、換気型ヨシよりも拡散型マコモの酸素消費速度は低いことが明らかになった (図2)。結果として、図2のように根の乾燥重量と根あたりの酸素消費速度には、種を超えて良い相関が得られた。

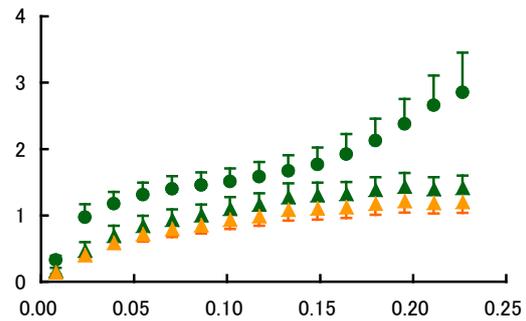


図1 溶存酸素濃度 (x 軸, $\text{mmol O}_2 \text{L}^{-1}$) に対する根の乾燥重量あたりの酸素消費速度 (y 軸, $\text{mmol O}_2 \text{g DW}^{-1} \text{d}^{-1}$). ●は拡散型マコモ, ▲は換気型ヨシのデータ. 黄色のデータは NO_3^- のみの水耕液のデータを示す。

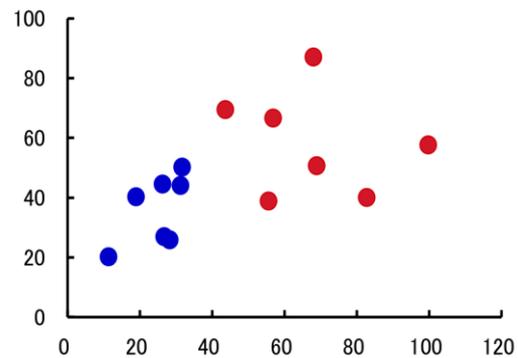


図2 根の乾燥重量 (x 軸, mg) に対する根あたりの酸素消費速度 (y 軸, $\mu\text{mol O}_2 \text{root}^{-1} \text{d}^{-1}$). 赤丸は拡散型マコモ, 青丸は換気型ヨシのデータ。

根への酸素供給能力が低い拡散型のマコモでは、根の乾燥重量あたりの酸素消費速度は高いのだが、根への物質分配量を低下させることにより、根全体の酸素消費速度を抑える。根組織内部での酸素濃度の低下を防いでいると考えられる。

一方、換気型ヨシの根呼吸速度は、根圏がほぼ酸素飽和状態 ($250 \mu\text{M O}_2$) で $1.5 \mu\text{mol O}_2 \text{g}^{-1} \text{root DW min}^{-1}$ を示したのに対し、低酸素状態 ($20 \mu\text{M O}_2$) で $0.5 \mu\text{mol O}_2 \text{g}^{-1} \text{root DW min}^{-1}$ まで低下した。この結果から、給気能力の高い換気型の水生植物においても、地下部の呼吸による酸素消費に応じて、地下部組織内の酸素濃度は大きく変化することが示唆された。

根の内部の酸素濃度は根の周囲よりも大きく低下する。換気型ほど通気組織の発達していない拡散型の根では、根の内部の酸素濃度は給気能力の高い換気型よりも低いと考えられる。水生植物の地下部への給気は、地上部との接合部分から根の主軸に沿って、酸素濃度の低い根端に向かって酸素が拡散移動することによる。そのため、根端の呼吸活性の変動に伴って、根の組織内の酸素濃度が大きく変化する。したがって、換気型であっても、根端の活性が著しく高い場合には、拡散型よりも根の組織内の酸素濃度が低い場合もありうる。そこで、ニードル型の微小酸素電極を地下部組織内に直接差し込み、根内酸素濃度の概況について測定を行った。この酸素電極はニードル内部の 100 μm 以下のファイバー先端部分が周囲の酸素濃度を正確に感知するため、組織にダメージを与えずに目的部位の酸素濃度を測定できた。

また、本研究の基礎となる呼吸速度の温度依存性についても検討した。呼吸速度は温度により大きく変動し、温度上昇とともに指数関数的に増加する。そのために、水生植物においても、根圏の水温は根組織内部の酸素濃度に大きく影響を及ぼす。そのために、周りの温度環境に対して、呼吸速度が馴化することは重要となる。呼吸速度の温度依存性曲線を解析し、異なる栽培温度における曲線を比較した結果、呼吸速度の温度依存性自体も栽培温度によって大きく変化することを明らかにした。

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 5 件)

1) Fujita, T., Noguchi, K., Terashima, I. (2013) Aqueous mesophyll signals induce rapid stomatal responses to CO₂ in *Commelina communis*. *New Phytologist*, in press. DOI:10.1111/nph.12261 (査読あり)

2) Nakamura, M., Nakamura, T., Tsuchiya, T., Noguchi, K. (2013) Functional linkage between N acquisition strategies and aeration capacities of hydrophytes for efficient oxygen consumption in roots. *Physiologia Plantarum*, 147(2): 135-146. DOI:10.1111/j.1399-3054.2012.01643.x (査読あり)

3) Hachiya, T., Watanabe, C., Fujimoto, M., Ishikawa, T., Takahara, K., Kawai-Yamada, M., Uchimiya, H., Uesono, Y., Terashima, I., Noguchi, K. (2012) Nitrate addition alleviates ammonium toxicity without lessening ammonium accumulation, organic acid depletion and inorganic cation depletion in *Arabidopsis thaliana* shoots. *Plant and Cell Physiology*, 53(3): 577-591. DOI: 10.1093/pcp/pcs012 (査読あり)

4) Toda, T., Fujii, S., Noguchi, K., Kazama, T., Toriyama, K. (2012) Rice *MPR25* encodes a pentatricopeptide repeat protein and is essential for RNA editing of *nad5* transcripts in mitochondria. *Plant Journal*, 72(3): 450-460. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2012.05091.x (査読あり)

5) Hachiya, T., Noguchi, K. (2011) Integrative response of plant mitochondrial electron transport chain to nitrogen source. *Plant Cell Reports*, 30(2): 195-204. DOI: 10.1007/s00299-010-0955-0 (査読あり)

[学会発表] (計 3 件)

1) 野口 航、矢守 航「植物の葉における呼吸系の低温馴化機構の熱力学的解析」日本植物生理学会第 54 回大会、岡山大学津山キャンパス (岡山) (2013 年 3 月 21-23 日)

2) 蜂谷卓士、寺島一郎、野口 航「シロイヌナズナにおける地上部/地下部比の CO₂ 応答性の解析」日本植物学会第 76 回大会、兵庫県立大学書写キャンパス (姫路) (2012 年 9 月 15-17 日)

3) 中村元香、野口 航、寺島一郎「低酸素ストレスに対する水生植物の根の呼吸応答」日本植物学会第 75 回大会、東京大学駒場キャンパス (東京) (2011 年 9 月 18 日)

[その他]

ホームページ等

http://www.biol.s.u-tokyo.ac.jp/users/seitaipl/personal/noguchi/noguchi_menu.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 航 (NOGUCHI KO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：80304004

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：