

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05683

研究課題名（和文）熱帯荒廃地における土壌高温が樹木の養水分吸収能に与える影響

研究課題名（英文）Effects of high soil temperature in tropical degraded lands on tree water and nutrient uptake

研究代表者

則定 真利子（Norisada, Mariko）

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・准教授

研究者番号：00463886

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：土壌高温が熱帯造林候補樹種の窒素吸収に与える影響を、*Melaleuca cajuputi* と *Acacia mangium* を対象に水耕栽培系を用いた窒素安定同位体標識実験により調べた。両種とも、30℃で生育した個体の窒素吸収が40℃で阻害されず、また1日4時間の40℃処理を7日間継続すると窒素吸収速度が促進されるなど、40℃の高温ストレスに対して高い耐性を有することが明らかとなった。*M. cajuputi* と *Syzygium* 属3種を対象に35℃の高温と根圏低酸素との複合ストレスへの応答を調べ、*M. cajuputi* と *S. kunstleri* では低酸素条件下でも高温耐性が維持されることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯荒廃地に森林を再生する際、植生が疎なために太陽光が直接土壌表面に到達しがちで土壌温度が上昇しやすくなり、植栽木の根に高温ストレスがかかりやすい。また低湿地では根圏低酸素ストレスが主要な植物の生育阻害要因となるため、荒廃熱帯低湿地では、低酸素ストレスと高温ストレスが複合的に植栽木に負荷される。土壌高温に対する樹木の応答や耐性に関する知見は限られており、本研究課題により得られた熱帯荒廃地の造林候補樹種の根の窒素吸収能の高温応答ならびに根圏低酸素ストレスと高温ストレスとの複合ストレスに対する応答性の樹種間差に関する知見は、熱帯荒廃地における森林再生のための有用な基礎的知見となる。

研究成果の概要（英文）：The effects of high soil temperature on the nitrogen uptake in tropical planting candidate tree species, *Melaleuca cajuputi* and *Acacia mangium*, have been investigated using the hydroponic system and stable nitrogen isotope labeling procedure. Both species exhibited high tolerance to the high temperature stress of 40℃, showing no reduction of nitrogen uptake at 40℃ in 30℃-grown seedlings and an enhancement of nitrogen uptake after 7 days of daily 4-hour high temperature stress at 40℃. Investigations of responses of *M. cajuputi* and three *Syzygium* species to the combined stresses of high temperature and rhizospheric hypoxia revealed that *M. cajuputi* and *S. kunstleri* maintain their high temperature tolerance even under the hypoxic condition.

研究分野：樹木環境生理学、造林学

キーワード：土壌高温 熱帯荒廃地 森林再生 窒素吸収 根圏低酸素ストレス *Melaleuca cajuputi* *Acacia mangium* *Syzygium*

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

熱帯地域における森林の減少・劣化による荒廃地の拡大がいまだに続いており、荒廃地を再森林化する方策の模索が続いている。熱帯荒廃地における森林再生技術の開発のためには、熱帯樹木の環境ストレス応答の理解を深めることが肝要である。

熱帯の荒廃地において植物の生育を阻害している環境ストレスにはさまざまなものがあるが、裸地化している場合、土壌表面が被覆されていないために日射が直接届き、日中に土壌温度が上がりやすいため、植物に土壌高温ストレスがかかりやすくなる。

これまで、植物の高温ストレスに対する応答や耐性機構については、地上部、特に葉を対象に研究が進められてきており、根の高温ストレスに対する応答については、知見が限られている。低温ストレス下では、根の通水性が低下して吸水機能が阻害され、地上部に乾燥ストレスがかかることが知られている。高温ストレス下でも、根の養水分の吸収機能が阻害される可能性が考えられる。高温ストレスによる根の養水分の吸収機能の阻害が樹種によりどのように異なるのか、長期的にある程度の馴化応答があるのか、他の環境ストレスが共存する場合にどのような相互作用が生ずるのかといった点については、荒廃地における造林を考える際に重要であるが、知見がない。

2. 研究の目的

熱帯の荒廃地において植物の生育を阻害している環境ストレスにはさまざまなものがあるが、本研究では、裸地化している場合に問題となってくる土壌高温に着目し、高温ストレスが熱帯荒廃地の造林候補樹種の根の養水分の吸収機能に与える影響に関する知見を蓄積することを目的とした。植物の生育への影響が大きく、また荒廃地で不足しがちな窒素に着目し、窒素吸収の高温応答特性を調べるとともに、高温馴化特性についても明らかにした。また、高温ストレスと他のストレスとの複合ストレスに対する造林候補樹種の応答に関して、低湿地や土壌透水性の低い立地で問題となる根圏低酸素ストレスに着目し、根圏低酸素条件が高温耐性に与える影響を調べ、樹種特性を明らかにした。対象樹種は、窒素吸収の高温応答に関しては、フトモモ科の *Melaleuca cajuputi* Powell とマメ科の *Acacia mangium* Willd.、複合ストレス応答に関しては、*Melaleuca cajuputi*, *Syzygium cinereum* (Kurz) Chantar. & J.Parn., *Syzygium grande* (Wight) Walp., *Syzygium kunstleri* (King) Bahadur & R. C. Gaur である。

3. 研究の方法

【高温ストレスが根の窒素吸収能に与える影響】

・根の窒素吸収能の高温応答特性

Melaleuca cajuputi と *Acacia mangium* の窒素吸収能の高温応答特性を明らかにするために、水耕栽培系を用いた窒素安定同位体標識実験を行った。両種とも、無機態窒素としては硝酸イオンよりもアンモニウムイオンを主に吸収したため、アンモニウムイオンの吸収能(以下、窒素吸収能)の高温応答特性を調べた。植物育成装置(30/25°C, 16h/8h (L/D), 2mM NH₄NO₃, pH 5.8)で水耕栽培した実生を実験に供した。30、35、40、45における窒素吸収能を以下の方法により調べた。明期2時間目から20分間、各温度に制御した1mM ¹⁵NH₄⁺と1mM ¹⁴NO₃⁻を含む培養液(pH 5.8)に実生の根系全体を浸した後、根系を洗浄してから30に制御した¹⁵Nを含まない培養液(窒素源は2mM NH₄NO₃)に移し、暗期終了時に供試個体を回収して器官ごとに80で乾燥した。各器官の¹⁵N濃度を安定同位体比質量分析装置で測定し、非標識個体の¹⁵N濃度との差から標識により取り込まれた¹⁵N量を算出し、窒素吸収速度と地上部への転流量を求めた。

・根の窒素吸収能の高温ストレスに対する短期的応答

Melaleuca cajuputi の窒素吸収能の高温ストレスに対する短期的応答を明らかにするために、前項と同様の実験環境において、明期の半ばに40の高温ストレスを4時間負荷し、その直後の窒素吸収能を30と40とでそれぞれ調べた。¹⁵N標識液に20分間根系を浸した後、¹⁴Nの培養液に移し、暗期終了時に供試個体を回収して前述と同様の方法で窒素吸収速度と地上部への転流量を求めた。

・根の窒素吸収能の高温ストレスに対する馴化応答

Melaleuca cajuputi と *Acacia mangium* の窒素吸収能の高温に対する馴化応答の有無を明らかにするために、明期の半ばに40の高温ストレスを4時間負荷する処理を7日繰り返した後、窒素吸収能の高温応答特性を測定し、高温ストレス処理をしていない供試個体と比較することにより馴化応答性の有無を調べた。

・高温ストレスがアンモニウムの同化・転流に与える影響

Melaleuca cajuputi を対象に、吸収されたアンモニウムのその後の同化・転流に高温ストレスが与える影響を明らかにするために、¹⁵N 標識後に根系を 30°Cあるいは 40°Cに制御した ¹⁴N の培養液に移して短時間(3h40m)あるいは長時間(17h40m)処理し、暗期終了時に供試個体を回収し、地上部への転流量を比較した。

【根圏低酸素ストレスが土壤高温耐性に与える影響】

Melaleuca cajuputi, *Syzygium cinereum*, *Syzygium grande*, *Syzygium kunstleri* を対象に、根圏低酸素ストレスが土壤高温耐性に与える影響を明らかにするために、自然光の環境制御温室(30 /25)において水耕栽培系を用いて、培養液の温度(30 /35)と溶存酸素濃度(好気条件[6.6–7.5 mg/L] / 低酸素[0.4 mg/L 以下])の組み合わせで4処理区を設定し、4日間の処理に対する成熟葉の光飽和光合成速度と気孔コンダクタンスと根のエネルギー状態の応答を調べた。根のエネルギー状態については、高速液体クロマトグラフにより細根のアデニル酸量を測定し、エネルギー充足率を算出した。

4. 研究成果

【高温ストレスが根の窒素吸収能に与える影響】

・根の窒素吸収能の高温応答特性

Melaleuca cajuputi の窒素吸収能は、30 下よりも 40 や 45 下のほうが高く、本種の窒素吸収能に高い高温耐性があることが明らかとなった。地上部への転流量にも温度による影響はなく、吸収時の高温ストレスがその後の地上部への転流を阻害することがないことも明らかとなった。*Acacia mangium* においても、高温下で吸収能が阻害されることはなかったが、*Melaleuca cajuputi* のような高温下での吸収能の増大は認められなかった。*Acacia mangium* でも、吸収時の高温ストレスがその後の地上部への転流を阻害することはなかった。

・根の窒素吸収能の高温ストレスに対する短期的応答

40 の高温ストレスを4時間施した直後の *Melaleuca cajuputi* の窒素吸収能は、40 下では対照個体と同様であったが、30 下では対照個体に比べて低下した。地上部への転流量についても、30 下で吸収された窒素の転流は高温処理により阻害される傾向が認められた。

・根の窒素吸収能の高温ストレスに対する馴化応答

Melaleuca cajuputi においては、4時間の高温処理を7日繰り返した個体では、高温処理を施していない対照個体に比べて各温度における窒素吸収能が増大する傾向が認められ、高温に対する馴化応答が認められた。*Acacia mangium* においては、30、35 下での吸収能には高温処理による影響は認められなかったが、40、45 下での吸収能が増大し、高温馴化応答が認められた。両種とも、地上部への転流量には高温処理の影響は認められなかった。

・高温ストレスがアンモニウムの同化・転流に与える影響

Melaleuca cajuputi において、アンモニウムの同化・転流に対する高温ストレスの影響は短時間(3h40m)でも長時間(17h40m)でも認められなかった。

Melaleuca cajuputi および *Acacia mangium* では、40、45 というかなり高い高温ストレス下でも窒素吸収能が阻害されず、*Melaleuca cajuputi* では吸収能がむしろ増大することが明らかとなった。また1週間の高温処理に対して窒素吸収能が馴化応答を示すことも明らかとなった。*Melaleuca cajuputi* については、アンモニウムの同化・転流も高温ストレスにより阻害されないことが明らかとなった。*Melaleuca cajuputi* では短期的には高温ストレスにより30 下での窒素吸収能が阻害されたが、40 下での吸収能には影響がなく、また馴化応答があることを踏まえると、実際の野外では、日中の土壤高温が繰り返されることにより、土壤高温による窒素吸収や地上部への転流の阻害は起きにくい可能性がある。しかしながら、本研究課題では、1 mM NH₄⁺ という比較的高い濃度のアンモニウムに対する吸収のみを評価しており、より低濃度のアンモニウムイオンの吸収に対する高温ストレスの影響は異なる可能性があり、今後、調べる必要がある。また、本研究課題では、窒素十分条件で育成した個体について調べたが、窒素欠乏状態にある樹木では高温ストレスの窒素吸収能への影響が異なる可能性があり、これも今後明らかにしていく必要がある。

【根圏低酸素ストレスが土壤高温耐性に与える影響】

供試した4種はいずれも好気条件では35 の高温ストレスによる気孔コンダクタンスおよび光合成速度への影響が認められず、根のエネルギー状態にも影響は認められなかった。いずれの種も好気条件では35 の高温ストレスに対して耐性があり、根の吸水機能も阻害されないと考えられる。根圏低酸素条件では、*Melaleuca cajuputi* では、好気条件と同様に高温耐性が示された。*Syzygium kunstleri* においては、低酸素ストレスによる根のエネルギー状態の悪化は認められたものの、低酸素ストレスと高温ストレスの複合ストレスにより付加的にエネルギー状態が悪化する

ることはなく、葉の気孔コンダクタンスや光合成速度にも影響は認められなかった。*Syzygium kunstleri* は、*Melaleuca cajuputi* に比べて根圏低酸素ストレスの耐性は弱いものの、35 °C の高温ストレスに対する耐性は低酸素ストレス下でも発揮されると考えられる。しかしながら、低酸素環境がより長い期間継続した場合や個体が窒素欠乏状態にある場合などに、低酸素条件により高温耐性が弱まる可能性はあり、これらについて今後明らかにしていくことが荒廃地での森林再生という現場への知見の還元という面では重要であろう。*Syzygium cinereum* では、低酸素ストレスによる根のエネルギー充足率の低下が複合ストレス下で助長された。*Syzygium grande* では、複合ストレス下で根のアデニル酸量が減少した。これらの2種では、低酸素条件では好気条件ほどには高温ストレス耐性がない可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 則定真利子・山ノ下卓・小島克己
2. 発表標題 高温ストレス下でのMelaleuca cajuputiの窒素の吸収と転流
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 川江萌々香・則定真利子・山ノ下卓・小島克己
2. 発表標題 根圏低酸素と高温の複合ストレス下での熱帯フトモモ科樹木の根の呼吸応答
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 則定真利子、山ノ下卓、小島克己
2. 発表標題 Melaleuca cajuputiの窒素吸収の高温応答
3. 学会等名 第134回日本森林学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 則定真利子、山ノ下卓、小島克己
2. 発表標題 根圏低酸素および低pHのストレスがMelaleuca cajuputiの窒素吸収に与える影響
3. 学会等名 第133回日本森林学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------