

氏名	中村 方哉		
学位の種類	博 士 ( 学 術 )		
学位記番号	博 甲 第 9325 号		
学位授与年月日	令和元年11月30日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	グリーンタイドを構成するアオサ2種の生理生態学的特性と生存戦略に関する研究		
主査	筑波大学教授 (連携大学院)	農学博士	中嶋信美
副査	筑波大学教授	博士 (農学)	鈴木石根
副査	筑波大学教授 (連携大学院)	博士 (理学)	河地正伸
副査	国立環境研究所 室長	博士 (農学)	玉置雅紀
副査	国立環境研究所 主任研究員	博士 (理学)	矢部 徹

## 論 文 の 要 旨

アオサは潮間帯に生息する大型の緑藻類である。近年、世界中の富栄養化した内湾で大繁殖し、グリーンタイドという現象を引き起こしている。谷津干潟はラムサール条約に登録され、国内外にとって重要な湿地とされているが、年間を通してグリーンタイドの発生がみられている。これまでの研究により、谷津干潟ではミナミアオサとアナアオサが生育しており、優占種はミナミアオサであること、ミナミアオサは干潟内の潮間帯に生育しているのに対し、アナアオサは滞(水路)に生育していることが明らかとなっている。谷津干潟は、干出時に太陽光の直接照射や乾燥に加えて、夏期には高温、冬期には低温の大気に暴露され、環境変動の激しい生息場となっている。アオサがこのような環境下で生存するためにどのような生理生態学的特性をもっているのかを検討することは、グリーンタイドの発生メカニズムを考える上で不可欠である。本研究ではミナミアオサとアナアオサの環境応答性を比較し、谷津干潟における両種の生存戦略を明らかにすることを目的とした。

第2章において著者は、両種について水温 10、20、30℃、光強度 0、50、100、250、500、750、1000  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の実験条件下での最大光合成速度や呼吸速度、光補償点、光飽和点を求めた。その値は他の大型藻類と比べて、光補償点及び光飽和点が低いことを明らかにした。このことは、両種は低い光条件下でも高い一次生産を有し、アオサが層状に堆積した環境条件下でも光合成できることを示唆していた。次に著者は両種の量子収率を上記と同様の水温条件下で測定を行い、両種のストレス応答性を調べた。光強度 50-1000  $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の光を2時間照射し、暗所で最大量子収率の回復を試みたところ、ミナミアオサでは20、30℃の条件下で最大量子収率の回復が見られた。一方、アナアオサは光強度 1000  $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の実験区では、どの水温においても回復が見られなかった。さらに、同様の条件下で7日間の培養を行い、成長阻害を調べた。ミナミアオサはどの光条件でも成長速度に差がなかったが、アナアオサは 1000  $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の光条件下で成長速度が低下することを明らかにした。以上のことから著者は、ミナミアオサは強光に耐性があり、アナアオサは強光で成長阻害を受けることを示した。

第3章において著者は両種の硝酸態およびアンモニア態窒素の吸収速度と成長速度を評価した。両種とも窒素吸収速度は窒素濃度の上昇に伴い増加し、硝酸態窒素よりもアンモニア態窒素の吸収速度が高かった。ミナミアオサはアナアオサより硝酸態窒素の吸収速度は1.2倍高く、アンモニア態窒素の吸収速度は2.0倍高かった。両種とも成長速度は窒素濃度の上昇に伴い増加し、ミナミアオサはアナアオサより1.5-2.6倍高かった。以上のことから、一般的な海水の窒素濃度において、ミナミアオサの成長速度はアナアオサより高いことが示された。

第4章において著者はミナミアオサは効率の高い活性酸素種の消去能を持つことを想定し、両種における強光暴露時の活性酸素種の蓄積、アスコルビン酸含量の変動ならびに活性酸素消去酵素群の測定を行った。その結果、12時間の強光暴露により、ミナミアオサよりアナアオサの方が多くの活性酸素種を蓄積していた。さらに、アナアオサではアスコルビン酸が増加し、スーパーオキシドジスムターゼやカタラーゼ、アスコルビン酸ペルオキシダーゼなどの活性酸素消去酵素群が高い値を示した。一方、ミナミアオサではアスコルビン酸や活性酸素消去酵素群の増加がみられなかった。以上の結果から著者は、アナアオサは強光ストレスを受けた結果、ストレスを緩和する系の活性化が起こったと考えた。一方、ミナミアオサでは同じ強度の光をストレスとして受容していないと考えた。

第2章から第4章の結果を踏まえ、総合考察において著者は、Grime (1977)のC-S-R戦略仮説に当てはめて谷津干潟に生育するアオサの分布について考察した。アナアオサは環境条件の変化に対して敏感であり、アスコルビン酸の増加や活性酸素消去酵素群の活性化によりストレスを回避しており、中間的なストレス・攪乱(SR)型に分類された。これに対しミナミアオサは高い一次生産および速い成長速度を示し、アナアオサよりも競争(C)型戦略を選択しており、中間的なCR型に分類された。このように生存戦略が異なることで両種はそれぞれ異なるニッチに棲み分け、共存できると考察した。これらの性質は谷津干潟でミナミアオサは環境ストレスを受ける干潟の大部分に分布しており、アナアオサは環境ストレスを受けにくい滞筋に限定的に分布していることをよく説明するものであると結論した。

## 審 査 の 要 旨

本論文で著者は、谷津干潟におけるグリーンタイドを構成しているアオサにはミナミアオサとアナアオサの2種あるにも関わらず圧倒的にミナミアオサが優先していることに疑問を持ち、その原因がそれらの生理特性にあるのではないかと考え、ミナミアオサとアナアオサの呼吸速度、光補償点、光飽和点、強光ストレスからの回復、溶存窒素の吸収特性などの各種成長パラメータおよびストレス時の活性酸素種の蓄積と活性酸素消去酵素群の活性変動を調べ、ミナミアオサが谷津干潟の過酷なストレス環境下に適応した種であることを明らかにした。さらに両種の谷津干潟における分布をC-S-R戦略仮説を用いて明確に説明した。これらの成果は、干潟におけるアオサ種の消長をその生理特性から説明する、生理生態学分野における非常に質の高い研究であると言える。さらに本研究の成果は、グリーンタイドという世界中で発生している環境問題解決の糸口となる研究であり、当該分野の発展に大きく貢献したと評価できる。

令和 元年10月15日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（学術）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。