

(様式第 1 3 号)

学 位 論 文 要 旨

氏名: 蕪木 絵実

題目: 好塩性植物フダンソウ (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) のナトリウム応答に関する研究
—ナトリウムが硝酸の吸収と代謝、および生育に及ぼす影響—

(A study on the response of halophilic Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) to external sodium—The effect of sodium on nitrate uptake, nitrate metabolism, and growth—)

塩類集積土壌は多種の穀物の収量を大幅に低減させる原因となっており、世界の陸地面積の7%に当たる9.3億ヘクタールが塩類集積の影響を受けている。さらに耕作地15億ヘクタールの5%に当たる770万ヘクタールが塩による影響を受けている。特に高濃度のNaClは、多くの中生植物の吸水や養分吸収阻害、またナトリウムイオン(Na⁺)や塩化物イオン(Cl⁻)による直接害を引き起こし、生育を低下させる主な原因となっている。一方で、ヒユ科の*Salicornia bigelovii*、フダンソウ、レッドビートは、培地のNaClによって生育が促進する好塩性植物である。我々はこれまで、培地NaClによってこれら好塩性植物の生育促進メカニズムを明らかにするために研究を行ってきた。そしてこれまでに、フダンソウでは高NaCl培地でも窒素(N)欠乏を呈することなく生育が促進することが分かっている。しかしながら一般的な植物では、高NaCl培地において高濃度のCl⁻による硝酸イオン(NO₃⁻)の拮抗的な吸収阻害を受けるため、N欠乏を呈し生育が低下する。そこで本研究では、Na⁺によるNO₃⁻吸収促進がフダンソウの生育促進要因であると仮説を立て、NaClの添加とNO₃⁻の吸収・移行、および生育促進との関係を調査した。

NO₃⁻の長距離輸送を促進させる随伴イオンとしての役割を主にカリウムイオン(K⁺)が担っていることは、トマトやトウモロコシなどいくつかの植物種で報告されている。そこで、それぞれK処理とNa処理を加えた時の葉と根のNO₃⁻濃度及び導管液中のNO₃⁻濃度を測定し、Na⁺によるNO₃⁻の吸収促進がNa⁺による直接的な効果であるのかを明らかにすることを第2章の目的とした。葉のNO₃⁻濃度は、処理濃度に関係なくNa処理区でK処理区よりも有意に高い値を示した。一方、葉のCl⁻濃度は処理濃度に関係なく、K処理区でNa処理区よりも有意に高かった。NO₃⁻の葉/根比はK処理区とNa処理区でそれぞれ0.24と1.02だったことから、K処理下ではNO₃⁻は根に蓄積され、Na処理下ではNO₃⁻は葉へと積極的に移

行していることが示唆された。また、導管液中の Na^+ 濃度と NO_3^- 濃度との間には有意な正の相関関係がみられたが、 K^+ 濃度と NO_3^- 濃度との間に有意な相関関係はなかった。以上から、フダンソウの NO_3^- 吸収促進効果は Na^+ による直接的なものであり、 NO_3^- の根から葉への導管輸送に Na^+ が関与している可能性が示唆された。

次に、耐塩性の強い植物と、塩を生育促進に利用する好塩性植物において Na^+ が NO_3^- の代謝に及ぼす影響の違いを比較検討することを第 3 章の目的とした。供試植物には耐塩性が強とされるオオムギ (*Hordeum vulgare* L.) を用いた。フダンソウの葉の搾汁中における NO_3^- 濃度は、 Na^+ 濃度と高い正の相関関係があり、NR 活性は NaCl 80 mM 区で最大となった。NR は細胞質の NO_3^- 濃度に応じて誘導されるため、フダンソウでは Na^+ 添加によって NO_3^- の吸収が促進し、NR 活性も上昇したと考えられる。一方オオムギでは、培地の NaCl 濃度の上昇に伴って NO_3^- の吸収および NR 活性が有意に低下した。これらの結果から、 NaCl 下における NO_3^- 吸収メカニズムとその代謝過程は、好塩性植物フダンソウと耐塩性強のオオムギで大きく異なっていることが明らかとなった。

葉緑体中の N 化合物の 25% が単一タンパク質である Rubisco に含まれる。さらに、好塩性植物の *Salicornia europaea* は、 NaCl 処理によって光合成に関わる遺伝子を特異的に発現させる。このことから、 NO_3^- の吸収促進による光合成の上昇がフダンソウの生育を促進させる一因であると考え、第 4 章では Na^+ が光合成に及ぼす影響を明らかにした。DW、葉の NO_3^- 濃度、クロロフィル含有率、および光合成速度は K 処理区よりも低 Na 濃度処理区で高い値を示し、葉の NO_3^- 濃度はクロロフィル含有率、および DW との間に有意な正の相関関係を示した。また、 NO_3^- 濃度が最も高かった低 Na 濃度処理区で同様に光合成速度が最も高かった。これらのことから、フダンソウにおいて、葉に蓄積された NO_3^- がクロロフィルの合成や光合成速度を上昇させ、生育促進要因となったことが分かった。また、高 Na^+ 濃度処理下では、 NO_3^- 濃度、クロロフィル含有率、光合成ともに低 Na 濃度処理区より低下したにも関わらず、高い WC を示し良好な生育を維持した。塩生植物の多くは、 NaCl を液胞に蓄積して浸透圧調節を行い、高い WC を保つことで膨圧を維持し細胞伸張を行う。そのため、高塩濃度下ではフダンソウにおいても同様の生育促進メカニズムが働いている可能性がある。

本研究において、培地の Na^+ によってフダンソウの根から葉への NO_3^- 輸送が促進されることが明らかとなった。そして、低 NaCl 濃度培地では葉に蓄積された NO_3^- が NR 活性、Rubisco の合成、光合成速度を上昇させ、それらが原因となってフダンソウの生育が促進することが分かった。また、高 NaCl 濃度培地では、液胞に多量の NaCl を蓄積することで細胞伸張していることが考えられた。以上から、 Na^+ による NO_3^- 吸収、および生育促進における有用性が明らかとなり、培地 NaCl 濃度によって生育促進メカニズムは異なることが示唆された。