

学位論文題名

Water status of plants growing
in saline soils under foliar application of glycinebetaine

（グリシンベタイン葉面散布と塩類土壤に生育する植物の水分挙動）

学位論文内容の要旨

土壤への塩類集積は世界の半乾燥地で共通して見られる現象である。この塩類土壤地帯は農地や草地として利用されている場合が多く、砂漠化現象とともに半乾燥地における地域環境劣化の主な原因となっている。このような塩類土壤地帯には土壤中の高い塩濃度に適応するための生理特性を獲得した植物が生育している。

植物の耐塩生理特性には塩分が植物体内に吸収されるのを防ぐ、あるいは吸収された物質の濃度を薄めるために水分を多く吸収するなど多様なメカニズムが存在する。耐塩性植物が浸透圧調節物質を自らの体内に生成し体内水分の移動と利用を容易にすることも耐塩生理特性の一つである。

本研究で取り上げたグリシンベタインは浸透圧調節物質の一つで、ビートや棉などに多く含まれているベタインの一種である。ヒユやコンギクの仲間など塩類土壤地帯に生育する塩生植物内に多く蓄積する。glycinebetaine は環境的に全くの無害で合成も可能のため、農業分野では葉面施用により作物の増収をはかる試みがなされている。しかし、グリシンベタインの施用により植物の水分生理がどのように変化するかを体系的に研究した例は極めて少なく、Makela ら（1998）によるトマトを供試植物とした研究が見られるにすぎない。

そこで本研究では耐塩性がほとんどないインゲン（*Phaseolus vulgaris*）を供試植物としてグリシンベタインの葉面施用がインゲンの生長・光合成・蒸散量・気孔コンダクタンス・植物水分含量・葉内金属イオン含量などインゲンの水分生理にかかわる諸要因におよぼす影響を明らかにするとともに浸透圧調節物質が植物の耐塩性を増大させるメカニズムを明らかにすることを目的とする。

実験は中国河北省南皮県にある中国科学院石家荘農業現代化研究所南皮生態実験站所属試験圃場内の土壤塩類集積レベルが異なる 2 圃場を使った野外実験（1998 年、1999 年の 4 月～5 月）と北大農学部附属農場内のビニール温室内における土壤塩分をコントロールした精密実験（2000 年 6 月～9 月）を組み合わせで行なった。

圃場実験は塩集積レベルが高い王寺区とやや高い南皮区の 2 区で行なった。インゲンは播種後 15 日まで苗床で育てその後それぞれの実験区に移植した。インゲンへのグリシンベタイン施用は濃度 10 mM と 30 mM の溶液と対照としてグリシンベタインを含んでいない水を各個体全部の葉面に噴霧して行なった。施用は 1998 年には移植直後から 3 日間隔で、1999 年には気孔コンダクタンス測定後 1 週間後から 3 日間隔で行なった。供試個体数は各処理とも 45 個体である。植物個体に対して行なった測定は気孔コンダクタンス、純光合成速度、葉面積、葉内水分量である。

温室内精密実験は 2000 年 6 月から 9 月にかけて行なった。供試植物は十分に水分をあ

たえた苗床で10日間育て、その後面積1/2000 aのプラスチック製ポットに移植した。ポット内の土壌としてマーミュキュライトとピートモスを1:1で配合したものを、肥料として液肥(Hyponex, N-P-K, 5-10-5)を灌漑水とともに7日間隔で施用した。土壌中の塩分濃度は灌漑水中にNaClを混入し、その量を変えることにより0(対照)、30、50、100 mMの4段階に分けた。グリシンベタインの施用濃度は野外実験と同様に0(対照)、10、30 mMの3段階とし、ポットへのNaCl施用直前に植物個体全体に噴霧し処理した。供試個体は各処理に5個体、合計60個体である。植物体の測定項目は気孔コンダクタンス、金属含量、純光合成速度、葉面積、葉内水分量、蒸発散量である。

野外実験および温室内精密実験の結果、耐塩性が極めて低いとされるインゲンにおいてもグリシンベタイン溶液の葉面施用がインゲン体内水分状態の改善をもたらし、光合成速度を増加させることが明らかとなった。このような結果は耐塩性が比較的高いトマトやコムギでは得られていたが、インゲンの様に耐塩性が最も低いとされる植物で確認されたのは初めてである。

また、グリシンベタインの施用濃度に上限があること、すなわち塩分ストレス環境下で生育するインゲンにたいしては10 mM濃度の溶液を施用すると体内水分状態の改善をもたらすが、30 mMでは10 mMほど効果が期待できないことが明らかとなった。さらに、グリシンベタイン施用が効果をもたらす塩分ストレスには下限もあり、30 mM塩分ストレス(電気伝導度 $EC=4\text{ mS cm}^{-1}$ 相当)の塩分ストレスで生育するインゲンには効果が認められなかったが50 mM($EC=6.6\text{ mS cm}^{-1}$ 相当)の塩分ストレスでは効果が明らかに認められた。塩分ストレスが高すぎても施用の効果は減少し100 mM塩分ストレスで生育したインゲンでは施用の効果はほとんど認められなかった。原因としては細胞質内のイオン濃度が高すぎるかあるいは原形質分離を起こしているグリシンベタインの浸透圧調節機能が作用する余地がなかったためと考えられる。

グリシンベタイン施用の効果は気孔コンダクタンスの増加、光合成速度の上昇、葉内水分の増加、葉面積の増大、蒸散量の増加としてあらわれた。気孔コンダクタンスすなわち気孔の開閉は孔辺細胞の膨圧によって制御されているが、その孔辺細胞の膨圧は葉内の金属イオン濃度に影響を受ける。NaCl処理により葉内の乾物重あたりの Na^+ 濃度は増加の傾向をしめしたが、その濃度はグリシンベタイン施用によって変化はしなかった。しかし、葉内水分がグリシンベタイン施用により増加するため、葉内の Na^+ 濃度は減少することになり、気孔コンダクタンスの増加をもたらした。すなわち、グリシンベタイン施用が塩ストレス下で生育するインゲンの気孔コンダクタンス増加に寄与するプロセスには根による水分吸収の増加が孔辺細胞の膨圧を増大させることと、葉内の Na^+ 濃度が薄くなることにより気孔コンダクタンスが増加すると言う少なくとも二つのメカニズムがあることが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小 野 有 五
副 査 教 授 甲 山 隆 司
副 査 助 教 授 高 橋 英 紀
副 査 教 授 山 崎 素 直 (長崎大学環境学部)

学 位 論 文 題 名

Water status of plants growing in saline soils under foliar application of glycinebetaine

(グリシンベタイン葉面散布と塩類土壤に生育する植物の水分挙動)

土壤への塩類集積は世界の半乾燥地で共通して見られる現象である。この塩類土壤地帯は農地や草地として利用されている場合が多く、砂漠化現象とともに半乾燥地における地域環境劣化の主な原因となっている。このような塩類土壤地帯には土壤中の高い塩濃度に適応するための生理特性を獲得した植物が生育している。

植物の耐塩生理特性には塩分が植物体内に吸収されるのを防ぐ、あるいは吸収された物質の濃度を薄めるために水分を多く吸収するなど多様なメカニズムが存在する。耐塩性植物が浸透圧調節物質を自らの体内に生成し体内水分の移動と利用を容易にすることも耐塩生理特性の一つである。

本研究で取り上げたグリシンベタインは浸透圧調節物質の一つで、ビートや棉などに多く含まれているベタインの一種である。ヒユやコンギクの仲間など塩類土壤地帯に生育する塩生植物内に多く蓄積する。glycinebetaine は環境的に全くの無害で合成も可能のため、農業分野では葉面施用により作物の増収をはかる試みがなされている。しかし、グリシンベタインの施用により植物の水分生理がどのように変化するかを体系的に研究した例は極めて少なく、Makelaら (1998) によるトマトを供試植物とした研究が見られるにすぎない。

そこで本研究では耐塩性がほとんどないインゲン (*Phaseolus vulgaris*) を供試植物としてグリシンベタインの葉面施用がインゲンの生長・光合成・蒸散量・気孔コンダクタンス・植物水分含量・葉内金属イオン含量などインゲンの水分生理にかかわる諸要因におよぼす影響を明らかにするとともに浸透圧調節物質が植物の耐塩性を増大させるメカニズムを明らかにすることを目的とする。

実験は中国河北省南皮県にある中国科学院石家荘農業現代化研究所南皮生態実験站所属試験圃場内の土壤塩類集積レベルが異なる 2 圃場を使った野外実験 (1998 年、1999 年の 4 月～5 月) と北大農学部附属農場内のビニール温室内における土壤塩分をコントロールした

精密実験（2000年6月～9月）を組み合わせで行なった。

野外実験および温室内精密実験の結果、耐塩性が極めて低いとされるインゲンにおいてもグリシンベタイン溶液の葉面施用がインゲン体内水分状態の改善をもたらし、光合成速度を増加させることが明らかとなった。このような結果は耐塩性が比較的高いトマトやコムギでは得られていたが、インゲンの様に耐塩性が最も低いとされる植物で確認されたのは初めてである。

また、グリシンベタインの施用濃度に上限があること、すなわち塩分ストレス環境下で生育するインゲンにたいしては10 mM濃度の溶液を施用すると体内水分状態の改善をもたらすが、30 mMでは10 mMほど効果が期待できないことが明らかとなった。さらに、グリシンベタイン施用が効果をもたらす塩分ストレスには下限もあり、30 mM塩分ストレス（電気伝導度 $EC=4 \text{ mS cm}^{-1}$ 相当）の塩分ストレスで生育するインゲンには効果が認められなかったが50 mM ($EC=6.6 \text{ mS cm}^{-1}$ 相当) の塩分ストレスでは効果が明らかに認められた。塩分ストレスが高すぎても施用の効果は減少し100 mM塩分ストレスで生育したインゲンでは施用の効果はほとんど認められなかった。原因としては細胞質内のイオン濃度が高すぎるかあるいは原形質分離を起こしているグリシンベタインの浸透圧調節機能が作用する余地がなかったためと考えられる。これらの結果よりグリシンベタイン施用量には適正量があり、その適正量は生育する土壌の塩濃度により変動することなどの新しい知見がえられた。

グリシンベタイン施用の効果は気孔コンダクタンスの増加、光合成速度の上昇、葉内水分の増加、葉面積の増大、蒸散量の増加としてあらわれた。気孔コンダクタンスすなわち気孔の開閉は孔辺細胞の膨圧によって制御されているが、その孔辺細胞の膨圧は葉内の金属イオン濃度に影響を受ける。NaCl処理により葉内の乾物重あたりのNa⁺濃度は増加の傾向をしめしたが、その濃度はグリシンベタイン施用によって変化はしなかった。しかし、葉内水分がグリシンベタイン施用により増加するため、葉内のNa⁺濃度は減少することになり、気孔コンダクタンスの増加をもたらした。すなわち、グリシンベタイン施用が塩分ストレス下で生育するインゲンの気孔コンダクタンス増加に寄与するプロセスには根による水分吸収の増加が孔辺細胞の膨圧を増大させることと、葉内のNa⁺濃度が薄くなることにより気孔コンダクタンスが増加すると言う少なくとも二つのメカニズムがあることが示唆された。これらの新しい知見は塩類土壌地帯の土地利用を進める上で極めて有効な情報を提供するものである。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。