

2.5 博士論文・修士論文・卒業論文・卒業生の進路状況

(1) 博士論文

生物生産部門

Xiangwei Han

Effects of simulated nitrogen deposition on grassland in the northern Loess Plateau region of China

中国黄土高原北部の草地に及ぼす模擬窒素降下の影響

要約：本研究は、中国黄土高原北部の自然草地を対象とした窒素降下のシミュレーション実験により、乾燥が制限要因となる自然草地においても植物の成長が窒素降下の影響を受けること、マメ科植物が窒素降下に対して負の反応を示すこと、および微地形がバイオマス変化の閾値に影響することを明らかにした。

曾野部 香里

水ストレス下のソルガムにおける吸水能の改善に関わるケイ酸の作用機作

要約：ケイ酸の施用は、作物の環境ストレス耐性を向上させることが知られている。近年、乾燥地の主要作物のひとつであるソルガム [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] において、ケイ酸施用による耐乾性向上効果が新たに認められた。この耐乾性向上効果は、ケイ酸の施用によって水ストレス下のソルガム葉身の水分状態が改善された結果、気孔コンダクタンスと光合成速度が高く維持されることに起因していた。既往の研究では、生育期間中の一時期および日中の特定の時間帯を対象とした水分生理学的形質についてのみ検討されてきた。しかし、これらの形質は日中あるいはストレス期間中に変動し、また相互に作用するため、ケイ酸施用による水分状態の改善に関する生理的機作に関しては断片的な情報しか得られていない。本研究では、水ストレス下のソルガムを対象として、日中および水ストレス期間中の水分生理に関連する諸形質の挙動を詳細に調査することで、ケイ酸施用効果に関わる一連の生理的機作を明らかにすることを目的とした。主要な結果は以下の通りである。

- 1) 水ストレス下のソルガムにおける光合成速度、気孔コンダクタンスおよび葉身の水状態の日変化に及ぼすケイ酸施用の影響

異なるケイ酸処理（無施用・施用）および水ストレス処理（ポリエチレングリコール 6000の有・無）条件下でソルガム（品種 Gadambalia）を水耕栽培し、光合成速度、気孔コンダクタンスおよび葉身の水状態の日変化を調査するとともに、水ストレス期間の長期化に伴う上記生理的形質の挙動を調査した。水ストレス処理は、播種後 10 日目から開始し、ソルガムの生育に合わせて、徐々にその強度を増加させた。播種後 15 日目に水ストレスによる乾物重の減少が認められ、播種後 23 日目にはその減少程度が顕著になった。しかしケイ酸施用によりその程度は有意に軽減されていた。光合成速度および気孔コンダクタンスについても乾物重と同様の結果が得られた。すなわち、ストレス期間およびストレス強度の増加により減少し、その減少程度はケイ酸施用により軽減された。光合成速度と気孔コンダクタンスの日中の変化を調査した結果、ケイ酸施用個体は、日中を通して、無施用個体よりも高い値を維持していたことが明らかとなった。一方で、葉身水ポテンシャルは水ストレスにより低下したが、一日を通してほぼ一定の値で推移し、ケイ酸施用による有意な差異は認められなかった。気孔コンダクタンスと葉身水ポテンシャルの関係性に着目したところ、ケイ酸無施用個体は、葉身水ポテンシャルを維持するために気孔コンダクタンスを低下させていたのに対し、ケイ酸施用個体では、一日を通じて葉身水ポテンシャルを高く維持したままでも、気孔コンダクタンスを低下させなかった。また、水ストレスによる日中の吸水速度の低下は、ケイ酸施用により軽減されていた。これらの結果は、ケイ酸施用によって水ストレス下でも吸水速度が高く維持され、葉身への水供給が継続的かつ円滑に行われていたことを示しており、すなわち、ケイ酸施用によってソルガム体内の通水性が改善されていたことを示唆するもの

であった。さらに、こうしたケイ酸施用効果は水ストレスに曝した初期段階（播種後 15 日目）において既に兆候が認められていたことも明らかとなった。

2) 水ストレス下のソルガムの根の吸水能力に関連する形質に及ぼすケイ酸施用の影響

上記と同様の栽培条件および処理条件下で栽培したソルガムを用いて、ケイ酸施用による水ストレス下のソルガムの吸水速度の改善に関わる生理的機作を明らかにするために、根の吸水能力に関連する根内の成分変化および解剖学的形質を詳細に調査した。本試験においても、水ストレスによる乾物重の減少を、水吸収の改善によって軽減するというケイ酸施用効果が確認された。同時に、水ストレス下において、ケイ酸施用個体の根の浸透ポテンシャルが無施用個体と比較して有意に低下するという新たな現象を見出した。根の浸透ポテンシャルの低下は根の含水量の低下と同調していなかったことから、ケイ酸施用によってソルガムの根で浸透調節が誘導されたことが示唆された。ケイ酸により誘導された根の浸透調節には、カリウムなどの無機イオンではなく、可溶性の糖およびアミノ酸が関与していることが明らかになった。またアミノ酸の中でも、主にアラニンおよびグルタミン酸が関与していた。一方で、根の導管数や導管直径など、根の水輸送に関連する解剖学的形質に対しては、ケイ酸施用の影響は認められなかった。本研究により、ケイ酸施用による水吸収の改善がみられた時期と、浸透調節が誘導されたと考えられる時期とが一致していることが明らかになり、この結果は、ケイ酸施用による水ストレス下のソルガムの水吸収の改善には、根における浸透調節が関与していることを示唆するものであった。

以上の結果から、ケイ酸を施用したソルガムでは、水ストレス下での吸水速度の低下が軽減され、日中を通して高い気孔コンダクタンスが維持されることで、高い乾物生産を示すことが明らかとなった。このような水吸収の改善に関わるケイ酸施用の主な効果は水ストレス下での通水性の改善であると考えられ、それには可溶性糖およびアミノ酸（アラニンおよびグルタミン酸）による根での浸透調節が関与していることが示唆された。

殷 俐娜

活性酸素と過酸化脂質由来アルデヒド消去によるアルミニウム耐性の改善

要約：アルミニウム障害は、酸性土壌における植物の成長や生産性を制限する最大の要因である。アルミニウムイオンは酸化的障害を引き起こし、植物の成長を阻害する。この酸化的障害は活性酸素種により促進され、抗酸化能の向上により軽減される。アスコルビン酸 (AsA) およびグルタチオン (GSH) は植物の主要な抗酸化物質であり、モノデヒドロアスコルビン酸レダクターゼ (MDAR)、デヒドロアスコルビン酸レダクターゼ (DHAR)、グルタチオンレダクターゼ (GR) の作用によって再生されることが明らかにされている。しかし、アルミニウム耐性における DHAR, MDAR および GR の機能は未解明のままである。そこで本研究では、アルミニウムストレス期間中の AsA および GSH の再生における DHAR, MDAR および GR の役割を明らかにすることを目的とした。供試材料として、AtMDAR もしくは AtDHAR を過剰発現させた遺伝子組換えタバコ（それぞれ MDAR-OX 株もしくは DHAR-OX 株）、および AtGR を過剰発現させた遺伝子組換えシロイヌナズナ (GR-OE 株)を用い、対照植物であるタバコ野生株 SR-1 およびシロイヌナズナ野生株 Columbia (Col) と比較した。

寒天培地上で 14 時間 AlCl_3 に曝したところ、DHAR-OX 株は野生株 SR-1 よりも根の成長が早かったが、MDAR-OX 株では同等であった。水耕培地で 24 時間 AlCl_3 処理 (500 μM) したところ、根端におけるアルミニウムの分布や集積について、SR-1, DHAR-OX 株および MDAR-OX 株の間に差異は認められなかった。しかし、DHAR-OX 株は SR-1 よりも過酸化水素含量が少なく、脂質過酸化や酸化的 DNA 障害レベルが小さかった。一方、MDAR-OX 株は SR-1 と同程度の障害を示した。SR-1 と比較したところ、DHAR-OX 株はアルミニウムの有無に関わらず AsA レベルをより高く維持していたが、MDAR-OX 株はアルミニウム不在の場合のみ AsA レベルを高く保った。また、DHAR-OX 株はアルミニウムストレス下でアスコ

ルビン酸ペルオキシダーゼ (APX) 活性を高く維持した。これらの結果より、DHAR-OX 株の高い抗酸化能およびアルミニウムストレス耐性は、AsA レベルおよび APX 活性の維持に起因していることが明らかとなった。また、アルミニウム耐性の付与には MDAR ではなく DHAR の過剰発現が関与しており、また AsA レベルを高く維持することが重要であることが示された。

GR を過剰発現させたシロイヌナズナも、野生株 Col に比べて高いアルミニウムストレス耐性を示した。アルミニウムストレス下において、GR-OE 株は野生株 Col に比べて根の伸長も良好に保たれ、過酸化水素含量および脂質過酸化が少なかった。アルミニウムを 24 時間処理したところ、根におけるアルミニウムの蓄積およびスーパーオキシドディスムターゼ (SOD)、カタラーゼ (CAT)、デヒドロアスコルビン酸レダクターゼ (DHAR) の活性について、GR-OE 株と野生株 Col との間に差異は認められなかった。しかし、GR-OE 株は Col よりも GR および APX の活性がともに高く、GSH および AsA のレベルも高かった。GR の過剰発現はアルミニウム蓄積やその他の抗酸化酵素の活性には影響しなかった。これらの結果より、シロイヌナズナで GR を過剰発現させると細胞中の GSH および AsA レベルが増加し、これにより抗酸化能が向上して過酸化水素の生成と脂質の過酸化が抑制され、最終的にアルミニウムストレス耐性が高まることが明らかとなった。

活性酸素の下流で生じる脂質過酸化はアルミニウム障害の共通した反応であり、これはアルミニウム濃度が高まるにつれて増加する。動物細胞における研究では、現在のところ、脂質過酸化 (LOOH) 障害の大部分はそれに由来するアルデヒドに起因すると考えられている。植物では、高温、低温、紫外線-B、塩、重金属およびアルミニウムによって生じる環境ストレス条件において、LOOH 由来アルデヒドのレベル (チオバルビツール酸反応性物質として測定される) と細胞障害との間に密接な関係があることが報告されている。したがって、LOOH 由来アルデヒドがアルミニウム障害と関係している可能性がある。本実験では、LOOH 由来アルデヒド、特に高求電子性の α, β -不飽和アルデヒド (2-アルケナール) がアルミニウム障害に関与しているという仮説を実証することを目的とした。*Arabidopsis thaliana* 2-アルケナールレダクターゼを過剰発現した遺伝子組換えタバコ (AER-OE 株)、野生株 SR-1 および空ベクター導入株 (SR-Vec) の根をアルミニウムに曝した。その結果、2つの対照株に比べ、AER-OE 株はアルミニウム処理による根の伸長の遅延の程度が小さく、アルミニウムが除去された後の再伸長も早かった。また、アルミニウム処理によって AER-OE 株の根においてもアルミニウムが蓄積し、その程度は過酸化水素に感受的な対照株と同等であったが、対照株よりもアルデヒドの蓄積量や細胞死が少なかった。SR-1 の根では、アルミニウム処理によって高活性 2-アルケナールであるアクロレイン、4-ヒドロキシ-(E)-2-ヘキセナール、4-ヒドロキシ-(E)-2-ノネナール、およびマロンジアルデヒドやホルムアルデヒドのようなその他のアルデヒドの量が顕著に増加した。一方、AER-OE 株の根ではこれらのアルデヒドの蓄積が有意に少なかった。4-ヒドロキシ-(E)-2-ヘキセナールおよび(E)-2-ヘキセナールに曝された根の成長阻害は、SR-1 よりも AER-OE 株のほうが小さかった。これらの結果より、活性酸素の下流で産生される LOOH 由来アルデヒドは直接に根の細胞を損傷することが明らかとなった。また、AER による損傷の抑制はアルミニウム障害に対する新たな防御機構と考えられた。

本研究の結果、タバコおよびシロイヌナズナでは、アルミニウム障害が不可逆的な酸化的障害を引き起こすことが明らかとなった。抗酸化酵素遺伝子である DHAR および GR を過剰発現させたタバコおよびシロイヌナズナではアルミニウム耐性が高まることが示された。しかし、タバコにおいて MDAR を過剰発現させたところ、アルミニウム耐性を向上させる効果は認められなかった。DHAR-過剰発現タバコおよび GR-発現シロイヌナズナは野生種に比べ、根における AsA レベルおよび APX 活性が高く、これらがアルミニウム耐性において非常に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。さらに、AER 遺伝子を過剰発現させたタ

バコもアルミニウム耐性が向上することが示された。AER 過剰発現タバコは野生種よりも LOOH 由来アルデヒド、特に 2-アルケナールの蓄積が少なかった。LOOH 由来アルデヒドはアルミニウム障害の要因であり、アルデヒド消去能はアルミニウム障害を軽減することが分かった。以上の結果、活性酸素および LOOH 由来アルデヒドによって生じた酸化損傷はアルミニウム障害の重要な要因であることが明らかとなった。本研究によって植物のアルミニウム障害の新たな機構が解明されるとともに、アルミニウム耐性植物の育成に対する新たな研究戦略が示された。これらは世界の酸性土壌地域の植物生産性の向上に寄与すると考えられる。

緑化保全部門

Zhang Qing Tao

節水のためのマルチング効果と灌漑時期の評価に関する研究

本研究では、持続的な節水農業のために、種々のマルチング効果を評価し、灌漑時期開始点（灌漑閾値）を評価することを目的とした。

乾燥地では良質の水が少なく節水が重要である。そこで、希釈海水を灌漑に使用し、さらに、灌漑後の土壌面蒸発を軽減するためにマルチングを行い、供試作物には耐塩性のあるフダンソウを用いた。1/2000a のワグネルポット内に東伯土壌（粘土 54%）を充填し、いずれも厚さ 3cm の砂利マルチ、松葉マルチ、稲ワラマルチとマルチなしの条件で、冬期にポット栽培試験を行った。電気伝導度（EC）が 4.8dS/m と 7.4dS/m の希釈海水を用いた塩水灌漑条件下で、砂利による保温効果もあり、砂利マルチが水利用効率、乾物量ともに高く、マルチング効果が認められた。

地下水位を初期に 50cm に保ち、希釈海水（EC=6.9dS/m）による地下灌漑条件下で、東伯土壌にいずれも厚さ 3cm の砂利マルチ、稲ワラマルチを施し、11 月から 2 月の冬、3 月から 6 月の春にウェイイングライシメータを用いたフダンソウの栽培試験を行った。いずれの時期でも、マルチなしは積算蒸発散量と土壌中の塩分濃度が高いこと、マルチなしと比較して乾物重は稲ワラマルチが 113%、砂利マルチが 64%高いこと、稲ワラマルチはマルチなしと比較して水利用効率が 143%高く、砂利マルチと比較しても水利用効率が 10%高いことがわかった。以上の結果から、稲ワラマルチを用いたマルチングは塩を含んだ浅い地下水面の条件下で、塩類集積を軽減し水利用効率の向上に貢献することが認められた。

乾燥地ではブドウは高収入が期待される果樹であるが不適切な灌漑による水資源の枯渇が問題となり節水栽培が急務である。上述の実験で効果が認められた稲ワラマルチを用いて、東伯土壌に浸潤型多孔質チューブを地上と地中深さ 15cm に設置し、6 月から 9 月にウェイイングライシメータを用いたブドウ（*Vitis vinifera* L.）栽培試験を行った。マルチなしと比較して稲ワラマルチは水利用効率が高いこと、稲ワラマルチと多孔質チューブを地上に設置した場合が水利用効率、新鮮重、果粒径、果粒糖度ともに高いことから、節水と品質向上が期待できた。

さらに節水を考える場合、灌漑時期の判定が重要となる。温湿度を制御したグロースチャンパー内に鉢植えのブドウを置いて、2 台の高性能デジタルカメラを用いた画像解析で果粒径とテンシオメータで根群域の土壌水分ポテンシャルを測定した。ブドウの成長期において、果粒は昼に縮小し夜に肥大する日変化を示し、灌漑後に果粒は徐々に肥大し、さらに、土壌水分ポテンシャルがある閾値を過ぎると水分ストレスによって果粒が縮小することが明らかになった。ブドウの果粒径と土壌水分ポテンシャルの関係が、灌漑開始時期を評価する判断材料になることがわかった。

同様に、グロースチャンパー内で、葉の光合成と気孔抵抗の変化を測定して、ブドウの成熟期の栽培試験を行った。深さ 10cm の土壌水分ポテンシャルが -13.2kPa から -14.7kPa に減少したときから、光合成と気孔コンダクタンスが著しく減少し、回復しなかった。その後、土壌水分ポテンシャルが -16.2kPa に減少したときに果粒径が減少した。このように、ブドウの

成熟期の場合、光合成などの反応が果粒径の変化よりも水分ストレスに敏感であることを明らかにした。

本研究は、いくつかのマルチ資材の中から、塩を含む水で灌漑した場合の稲ワラマルチによる節水効果と塩類集積軽減効果を示したこと、稲ワラマルチと灌漑強度の低い浸潤型多孔質チューブを用いた栽培実験でブドウの収量と品質に対するマルチング効果を示したこと、灌漑開始時期を判定する方法に新たにデジタルカメラを用いた画像解析を採用し、その有効性を示したことなどの新しい知見は、乾燥地農学に貴重な情報を提供したものであり、乾燥地の持続的農業に貢献するものと期待されるであろう。

(2) 修士論文

緑化保全部門

貴堂 史子

砂質土壌における節水型野菜栽培のための浸透抑制層に関する研究

藤井 尚

塩類集積防止のための毛管遮断に関する研究

源 実恵

Responses of plant communities to several ecological and anthropogenic factors -case of the Matmata Mountains, Southern Tunisia

宮崎 まどか

中国黄土高原に生育する樹木の浸透調節メカニズム

(3) 卒業論文

気候・水資源部門

加藤 綾子

モンゴルの野生草食獣モウコガゼルの移動時期と植生指数の関係

緑化保全部門

岡野 晃子

果樹・野菜の根域制限下における毛管ウィック水位制御栽培法の開発

山本 有美

コナラ属樹種における常緑樹と落葉樹の生理生態学的研究

(4) 卒業生の進路状況

UCC 上島珈琲株式会社, グローバルCOEプロジェクト研究員, 共和薬品工業株式会社, 鳥取大学農学部博士研究員, 株式会社コメリ, 北京大学深 圳研究生院, エイトコンサルタント, 農薬会社, 鳥取大学大学院修士課程進学, 青年海外協力隊, 造園業