

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20380178

研究課題名(和文)

土壌不均一系における植物パフォーマンス

研究課題名(英文)

Plant performance in soil as a heterogeneous system

研究代表者：

矢野 勝也 (YANO KATSUYA)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：00283424

研究成果の概要(和文)：本研究では、不均一な系である土壌でこそ起きる植物応答を調査し、土壌ストレス緩和への応用を探索した。土壌中で移動しにくいリンを作物に効率的に吸収させるには、分散させるよりも局所的に供与するのが有利であることを明らかにした。一個体の根系が湿潤・乾燥土壌の両方に遭遇すると湿潤から乾燥土壌へ相当量の水を放出し、この現象を利用した塩類濾過の可能性を示唆した。酸性土壌ストレスの主因である Al 毒性は土壌を硬く圧縮することで軽減されうることを示した。

研究成果の概要(英文)：In the current studies, plant performances just occurring in soil as a heterogeneous system were investigated and considered their applications to alleviate soil stress. Localized supply rather than uniformly supply of phosphate, which is immobile in soil, was shown to be effective for plant growth. When a root system encounters spatially heterogeneous soil moisture, water efflux can occur from the root into dry soil. By using the process, some root system had a potential to reduce salinity level of saline water. It was found that Al toxicity, which is a major factor of acid soil stress, could be alleviated by soil compaction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	11,300,000	3,390,000	14,690,000
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：作物生態生理学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：水、リン、アルミニウム、塩類、気孔、土壌、hydraulic lift

1. 研究開始当初の背景

移動の自由を持たない植物には、変化する環境に柔軟に対応する能力が動物以上に要求される。植物の地下部が遭遇する土壌は、地上部が経験する大気よりも著しく不均一な環境である。一般的に科学研究では、実験上の誤差を小さくするために、できる限り環境を均一に制御することが重要ではあるが、土壌環境を均一にするのはほぼ不可能であろう。土壌を離れて水耕系が重用されてきたのも、避けることのできない土壌の不均一性を

考慮すれば無理もなかった。

ただし、その一方で均一系では決して発揮されない植物パフォーマンスを知る機会を失ってきた。植物が野外で遭遇する環境は、実験室レベルの研究で採用されているような均一な環境条件とはほど遠く、むしろ不均一性を特徴としている。このような不均一な環境条件下における植物は、均一な環境条件で検証した実験結果からは単純に類推できないような振る舞いを示すことがある。

2. 研究の目的

本研究は、本来不均一な系である土壌でこそ起きる植物応答を調査し、その応用を探ることを目的とした。具体的には、

(1) 局所的に与えたリンに対する応答および種子リン含量を増加したプライミング処理との相互作用の検証、

(2) 気孔の閉鎖に伴い根から乾いた表層土壌に水を放出する現象 (hydraulic lift; HL) とそれを利用した塩類濾過、

(3) 土壌圧縮を介したアルミニウムストレス緩和、である。

3. 研究の方法

(1) 供試したのはコムギ (農林 61 号) である。Sekiya and Yano (2010) の手順でプライミング処理した種子を用意した。同時に、蒸留水に浸漬したものを対照として用意した。1/5000a のワグナーポットに黒ボク土 (乾土 2300g/ポット) を充填し、ポット当たり硫酸 0.55g、塩化カリウム 0.21g を均一に施肥した。さらに、すべてのポットに 0.46g の過リン酸石灰を等しく与えたが、半数のポットにはポットの土壌全体に均一に与え、残り半数は土を二分画し、片側のみ過リン酸石灰を施肥した。それぞれの処理区について 25 日目、50 日目にサンプリングした。

(2) サンヘンブ・キマメ・ギニアグラス・スムーズブROOMグラス・トールフェスク・シロクロバーの 6 種の植物を供試した。縦 10cm×横 32cm×深さ 10cm のプラスチック容器に砂 3.5kg を充填し、容器の端に各植物を播種した (上層部)。この容器の底の一部

(2.5×10cm) には、予め穴を開けておき、根の一部は後述する下層部にも伸長できるようにしておいた。この容器の下には、中に水を満たした同型のプラスチック容器 (下層部) を置いた (図 1)。上層部・下層部それぞれに施肥・灌水しながら 10~13 週間生育させ、上層部・下層部に根が十分発達したことを確認してから地上部を切除した。地上部切除直前に上層部の水分含量を圃場容水量とした後、灌水を停止した。その一方で、下

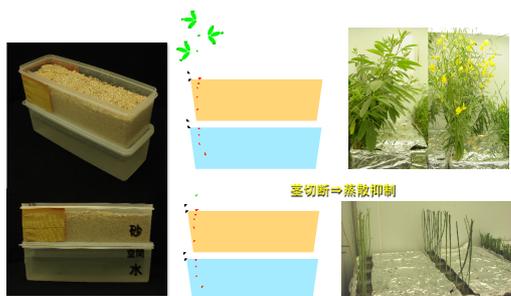


図 1 栽培容器の概要

層部の水量は一定に保った。経時的に上層部と下層部の重量をそれぞれ測定して水分含量の変化を調べた。また、上層部および下層部からの水の蒸発量を調べるため、植物を植えていないコントロール区も設けておいた。

次に、クロタラリア、オオムギ、バヒアグラス、ギニアグラスの 4 種の植物を供試し、塩類濾過機能の有無を検証した。図 1 の栽培容器で植物を数週間育成して根が下層部へ十分伸長したのを確認した後、下層部を 0mM、40mM、100mM の 3 種類の濃度の NaCl 溶液に換えて茎葉部を地際で切断した。全体重、上層部重、下層部重、土壌 EC を経時的に測定した。測定終了後、根をサンプリングして根長と根表面積を根系解析プログラムで計測した。測定の結果得られたデータから上層部蒸発 1g あたりの水放出量、上層部土壌 EC 増加速度を求めた。

(3) コムギ (農林 61 号) とオオムギ (イチバンボシ) を用いた。グロースポーチを用いた水耕条件では 1/5 の Hoagland 養液 (pH4.2) で Al 濃度を 0 μ M (コントロール)、1 μ M、10 μ M、100 μ M、1mM、10mM の計 6 レベル設けて、3 日に 1 回養液交換、1 日 1 回 pH 調節を行った。サンプリング時 (種子置床後 18 日目) には Al 集積根端の割合、新鮮重、乾物重を求めた。Al 集積根端は、エリオクロムシアニン R による染色で判定し、全根端数に対する染色根端の割合を求めた。

砂耕条件での検証には、1/5 の Hoagland 養液 (pH4.0) で Al 濃度を 0mM (コントロール)、0.1mM、1mM、10mM の計 4 レベル設けた。内径 5.1cm、深さ 15.0cm の塩化ビニール管に砂を充填し、非圧縮区 (1.33g/cm³) と圧縮区 (1.58g/cm³) の計 2 レベルを設けた。1 容器中 5 個体以上出芽するまでは蒸留水で灌水した。以降は 1 日 1 回、圃場容水量を超える量で各養液を与えた。サンプリング時 (播種後 22 日目) に Al 集積根端の割合、新鮮重を求めた。

4. 研究成果

(1) コムギの乾物重を見ると、25 日目では局所施肥による乾物重の増加は見られたが、プライミング処理による乾物重の増加は認められなかった (図 2)。一方、50 日目の乾物重は局所施肥とプライミング処理の両方に有意な影響が認められた。すなわち、局所施肥は生育初期から、プライミング処理は生育の中期以降から効果が現れた。また、50 日目には局所施肥とプライミング処理の交互作用も有意に検出された。これはプライミング処理の効果が均一施肥でのみ起きたことによるものである。

また、リン含量を見ると、25 日目では処理をしていないものが最も大きな値をとったにもかかわらず、50 日目にはそれが逆転し、

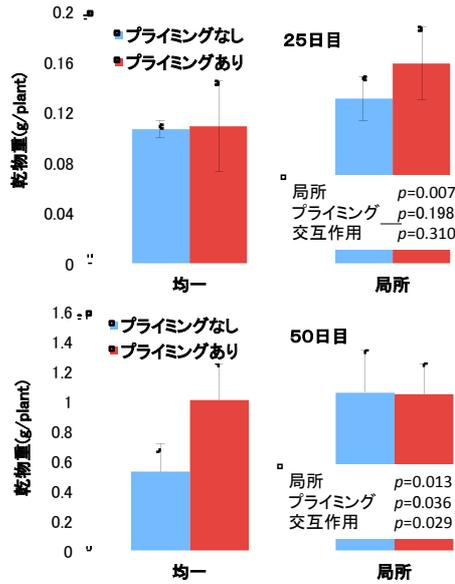


図2 播種後25日目と50日目のコムギ生育量

処理をしたものが大きな値をとっている。このことを乾物重と照らし合わせ、リン利用率としてみると生育の初期段階では処理をしたものが高い値をとっている。この結果は、処理により生育の初期段階でのリン利用率が高められ、その後のリン獲得に貢献したことを示唆している。

さらに、根の容積を見てみると均一に施肥をした場合にはプライミング処理による効果が得られているが、局所施肥をした場合には、プライミングをすることにより、逆に減少するという結果が得られた。このことは、プライミング処理により植物体のリンの要求度を下げたためとも考えられる。

以上のことから、局所施肥とプライミングの効果が発揮される時期は異なるが、その作用は相加的であり、相乗効果は期待できないと考えられる。

(2) 根系から上層部の砂に放出された水の量は供試植物種によって大きく異なった(図3)。上層部含水量の経時変化をみると、コントロール区では蒸発によって減少し続けたのに対し、ギニアグラス区・トルフェスク区・シロクロバー区ではほぼ圃場容水量を保ち続けた。一方、サンヘンブ区・キマメ区・スムーズブROOMグラス区の含水量は低下を続けたが、その速度はコントロール区よりも遅かった。下層部の水量変化では、サンヘンブ区・キマメ区・スムーズブROOMグラス区に比べて、ギニアグラス区・トルフェスク区・シロクロバー区の減少が大きく、上層部からの蒸発量に応じて水が減少していた。これらの結果から、供試したいずれの植物種もHLによって下層部から上層部へと

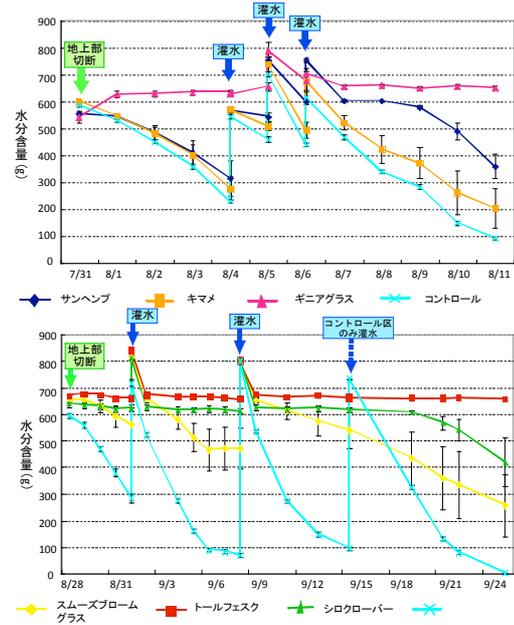


図3 上層部水分含量の経時変化と測定終了時の状態

水を供給していたが、その水供給能には種間差が存在すること、ここで用いた方法でスプリンクラー機能の種間差を比較的簡便に調査できることが示された。

さらに、クロタラリア、オオムギ、バヒアグラス、ギニアグラスの4種の植物を供試し、塩類濾過機能の有無を検証した。調査時期や環境の違いによる影響を回避するために、上層部から水が1g蒸発する時間当たりで根からの水放出量を評価した。その結果、根量当たりの水放出量は先行研究と同程度となった。ただし、根量そのものが少なかったために、容器当たりでの水放出量は比較的少なかった。上層部での土壌EC増加速度を調べた結果、下層部のNaCl濃度が高くなるにしたがいEC増加速度も有意に上昇した。ただし、このEC増加速度に植物種間で有意な差異は無かった。次にX軸に上層部蒸発1gあたり

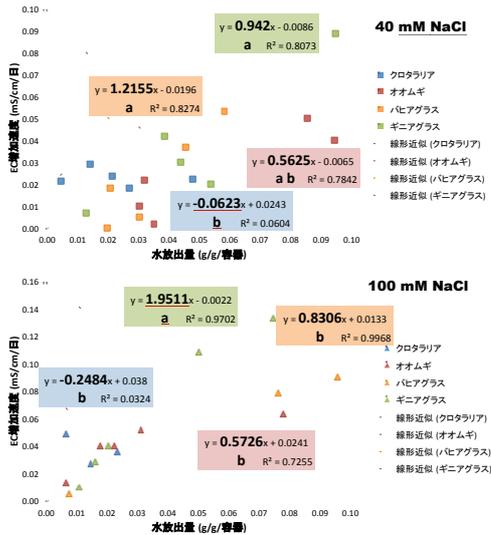


図4 根系からの水放出に対する EC 増加の回帰

の水放出量、Y 軸に EC 増加速度をとった散布図を作成し回帰直線を比較した (図4)。この回帰直線の傾きが低いほど、同量の水を放出したとき EC の増加速度が小さく、根系の塩類濾過能力が高いことを示唆する。下層部が 40mM NaCl の場合の回帰を植物種間で比較すると、クロタリヤの回帰直線の傾きはバヒアグラスやギニアグラスよりも有意に小さく、クロタリヤの塩類濾過能力が高いことを示唆した。下層部が 100mM NaCl の場合では、ギニアグラスは他の3種より直線の傾きが有意に大きく、ギニアグラスの塩類濾過能力が低いことを示唆した。

結論として、HL 過程での塩類濾過能力には植物種間差が存在し、クロタリヤで高くギニアグラスで低いことがわかった。このような種間差を検出できたことから、さらに塩類濾過能力の高い植物種を探索してみる価値があるだろう。

(3) グロースポーチを用いた水耕条件におけるコムギ、オオムギの根長は、1mM Al を与えた場合コントロール (0 μM) の 50%前後、10mM Al の場合ではコントロールの 20%程度にまで抑制された (図5)。また、Al 集積根端数の割合は 1mM Al を与えたコムギで 33%、オオムギで 30%となり、10mM Al を与えたコムギでは 87%、オオムギでは 90%にまで達した。一方、100μM Al を与えた場合には、コムギ、オオムギともに Al 集積根端数の割合は 7%以下と少なかった。以上の結果、本水耕条件で Al 障害を誘導するにはコムギ、オオムギともに、1mM Al 以上の濃度が必要となることが明らかとなった。

砂耕条件で 1mM Al を与えたコムギにおい

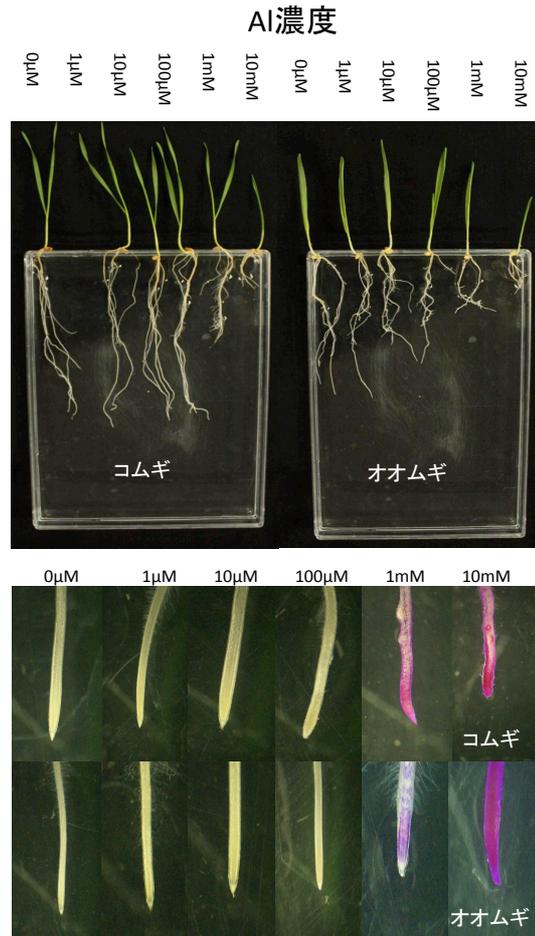


図5 水耕 (グロースポーチ) における供与 Al 濃度と根系の発育阻害ならびに根端の状態 (紫色は Al の集積を示す)

ては、Al 集積根端数の割合が非圧縮区では 21%なのに対し、圧縮区で 0.92%と有意に低く、圧縮処理が根端への Al 集積を減少することを確認できた。その結果、新鮮重も同様に非圧縮区よりも圧縮区の方が有意に大きく、Al ストレスの軽減に有効であることを明らかにできた。一方、1mM Al を与えたオオムギでは、Al 集積根端数の割合は非圧縮区で 16%に対し圧縮区では 10%と有意差はなく、圧縮処理の効果を確認できなかった。コムギ、オオムギともに 10mM Al を与えた場合には Al 集積根端数の割合が 50%を超えていたが、そこでは培地の圧縮処理による Al ストレス軽減効果を確認できなかった。

以上のように、1mM Al を与えたコムギでは、圧縮処理によって根端へ Al 集積が抑制され、Al ストレスを軽減できたが、同条件でのオオムギでは軽減効果を確認できなかった。このような種間差が分泌されたムシレージの質・量に起因するかどうかさらに検証する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 矢野勝也、土壌不均一系における水・溶質移動と植物根との相互作用、雑草研究、査読有、56巻、1号、2011、19-23.
- ② Sekiya, N., Araki, H., Yano, K., Applying hydraulic lift in an agroecosystem: forage plants with shoots removed supply water to neighboring vegetable crops, Plant and Soil, 査読有 Vol. 341, No.1-2, 2011、39-50
- ③ Sekiya, N., Yano, K., Seed P-enrichment as an effective P supply to wheat, Plant and Soil, 査読有、Vol. 327, No.1-2, 2010、347-354
- ④ 矢野勝也、緑肥作物の導入と農耕地におけるリンの再利用、農業および園芸、査読無、85巻、1号、198-204.
- ⑤ Sekiya, N., Yano, K., Stomatal density of cowpea correlates carbon isotope discrimination in different phosphorus, water and CO₂ environments, New Phytologist, 査読有、Vol. 179, No. 3, 799-807

[学会発表] (計6件)

- ① 矢野勝也、作物の窒素栄養に対する菌根共生系の関与、日本雑草学会第25回シンポジウム・東北農作シンポジウム、福島市、2010年8月20日
- ② 大西淳志、矢野勝也、植物のフィチン利用能：水耕および土耕での比較、第31回根研究集会、秋田市、2009年11月21日
- ③ 関谷信人、古川秀隆、荒木英樹、矢野勝也、圃場条件下で検証した深根性植物根系の灌漑機能、第31回根研究集会、秋田市、2009年11月21日
- ④ 矢野勝也、関谷信人、リンを富化したコムギ種子はリン施肥量の削減に有効である、第228回日本作物学会講演会、静岡市、2009年9月30日
- ⑤ Sekiya, N., Araki, H., Yano, K., Using plant roots as an irrigation system, 5th International Crop Science Congress, Jeju, Korea, 2008年4月13日
- ⑥ Takasoh, W., Yano, K., 2-D mapping and image analysis of phosphatase activity in the rhizosphere, 5th International Crop Science Congress, Jeju, Korea, 2008年4月13日

[図書] (計2件)

- ① 矢野勝也、培風館、新しい植物科学：環境と食と農業の基礎・20章 栄養分と肥料、2010、225
- ② 矢野勝也、農山漁村文化協会、作物学用語事典・根 (マメ科)、2010、406

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.newsrx.com/health-articles/2458655.html>

<http://wiredvision.jp/blog/yamaji/200812/200812041901.html>

<http://f1000.com/1119831>

<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~sakumotu/yano/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢野 勝也 (YANO KATSUYA)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授

研究者番号：00283424

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号：

