

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06312

研究課題名(和文)植物の根は高濃度塩水湛水栽培にどのように順化するのか？

研究課題名(英文)How do plant roots acclimate to highly concentrated salt water?

研究代表者

松嶋 卯月(Matsushima, Uzuki)

岩手大学・農学部・准教授

研究者番号：70315464

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：培地表面の可視画像から培地内水分分布の経時変化を調査した結果、塩水湛水区の培地の湿潤域は、毛管上昇高さより4cm高く、Hydraulic Liftで乾燥した培地へ水が再配分されていた。塩水湛水培地内の水分・塩分分布と根分布の関係では、含水率が高く生存している根がその周囲にhydraulic liftで水を再配分しており、塩水処理区の湿潤域には対照区と比較して太い根が確認され、その太い根がHydraulic Liftによって形成された根域、もしくはHydraulic Liftによって水を再配分した。酸素消費速度は呼吸活性のパラメータであり、塩水処理区と対照区では根の生理的状態が異なっていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高濃度塩水湛水栽培において植物がhydraulic liftで水を再配分し根系を健康に保つ現象現象は、砂漠で巨木がオアシスを形成するのと同じ原理であると考えられる。すなわち、本研究で更にメカニズム解明が進んだもみ殻培地を利用した高濃度塩水湛水栽培を応用すれば、わずか20cmほどの厚さの培地で、巨木の深根が行うhydraulic liftで成り立つ砂漠のオアシス形成と同様の現象を可能にする新栽培技術は社会的意義が高い。植物が塩水湛水栽培に順化するメカニズムは、これまでの研究例が少なく新規性が高い。そのメカニズムを解明し、植物の塩ストレス抵抗性の獲得について新たな知見が得られたことは学術的に意義深い。

研究成果の概要(英文)：The visual images of the surface of the medium showed that the wet area of the medium in the salt water flooded area was 4 cm higher than the capillary rise height, indicating that water was redistributed to the dry area by the hydraulic lift. In the relationship between the distribution of water and salt content and root distribution in the saltwater-logged medium, roots surviving with high water content redistributed water to the surrounding area by the hydraulic lift. The roots were redistributed by the Hydraulic Lift or by the water redistribution. Oxygen consumption rate was a parameter of respiratory activity, and the physiological state of the roots differed between the saltwater-treated and control plots.

研究分野：農業環境・情報工学

キーワード：hydraulic lift 塩水の農業利用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

もみ殻のような粒子間隙の大きい素材と、保水性の高い土を一定の割合で混ぜると、毛管上昇が起こりにくく、かつ、ある程度の保水性をもつ培地を調製できる。筆者らは、この方法を用いて通常の灌水法で植物に与えれば枯死する3%という高い塩濃度で、コマツナを湛水栽培したところ、2週間以上80%が生存し続ける結果を得た。もみ殻培地(体積率で、もみ殻3:土壌1)を用い、耐塩性発生のメカニズムを調査したところ、モミガラを体積率で7割、土を3割混ぜた培地では、水の毛管上昇高さは湛水面から約10cmの間に存在し、培地には下部に毛管上昇による湛水浸潤域(以下、浸潤域)、上部に非湛水浸潤域である乾燥域(以下、乾燥域)が現れる。すると、浸潤域に存在する根が吸収した水がhydraulic lift現象により上部の乾燥域に輸送される。このとき、湛水中の塩類は浸潤域までしか上昇せず、乾燥域には真水に近い低濃度塩水の領域が形成される。その結果、低濃度塩水の領域における根の発達が可能となる。一方、コマツナ葉の浸透ポテンシャルは、高濃度の塩水湛水栽培に順化する過程で、海水の浸透ポテンシャルの2倍程度に低下し、葉への水吸収を可能とする。

毛管が発達しない培地を用いて塩水湛水栽培を始めると、最初に植物は、乾燥域にあった真水を使い切る。続いてhydraulic liftにより浸潤域から塩水を汲み上げて、乾燥域の根の周りに塩濃度の低い水が貯まる。この時、乾燥域の根量の割合が増えることが、これまでの研究から分かっているが、それとともに、浸潤域と乾燥域の根は、それぞれ異なった役割を担うと考えられる。すなわち前者は塩水を吸収し、後者は塩水をろ過して、周囲の培地に水を供給する。二つの領域の根は、塩水湛水栽培を始めたことで、その環境に順化して、それぞれの機能を分化したと考える。またこれまでの研究で、hydraulic liftによる根量当りの水の輸送量は、真水湛水栽培より塩水湛水栽培の方が大きいという結果を得ているが、その理由は不明で本方法の実用化を目指す上で解明が必要とされる。

2. 研究の目的

本研究では、本研究では湛水栽培における順化から機能分化へ至る過程で生じる根の変化や、hydraulic liftによる水や塩の運搬メカニズムを詳細に解明することを目的とした。

まず、根に起こる変化については、順化から機能分化に至る過程において、浸潤域および乾燥域の根の機能と関係が深い根の分布および形態が塩水湛水処理によって変化するかを明らかにすることとした。特に根の機能性の差異については次の2つの解明に照準を絞った。

1つ目の課題である浸潤域の根における塩水吸収機能解明については、根が塩水を吸収する過程を可視化し、乾燥域に根が輸送した塩水の濃度分布を明らかにすることとした。もう1つの課題である、塩水湛水栽培への順化が根の呼吸機能の分化に与える影響については、呼吸速度の変化を調査することで解明することである。浸潤域および乾燥域の根における呼吸機能については、呼吸速度に差異があるか調査することで明らかにすることとした。

hydraulic liftによって、乾燥域に水や塩がどのように運ばれるかについては、植物が塩水湛水栽培に順化する過程において、培地における水ポテンシャル、および、水・塩の垂直分布を経時的に観察し、浸潤域から乾燥域に水や塩がどのように運ばれるかを解明することとした。

3. 研究の方法

湛水栽培に用いるもみ殻培地の組成は体積率でもみ3に対して赤玉土を1とした。また、植物試料としてコマツナ"わかみ"を用いた。塩水湛水栽培時の湛水面から培地上面までの距離は20cmとした。また、塩水湛水の処理区は、対照区として真水の塩水0%を用意し、塩水処理区の塩濃度は、各実験にあわせて1%から3%の範囲で調整した。

根の分布および形態の観察については、培地表面の可視画像と赤外線画像を取得し画像処理を行って対照区と処理区を比較し考察した。とくに培地表面の可視画像は、栽培期間中における連続した変化を追跡するために行った。各画像取得法で得た根域の分布と培地内の根の量を照会するために、格子状の区画に区切った培地内における根量を測定した。根が塩水を吸収する過程を可視化するために、京都大学複合原子力科学研究所に設置されている中性子イメージング装置をもちいて、重水に塩を溶解させたトレーサを用いコマツナ根内の水移動を可視化した。

培地内の塩の移動については水ポテンシャルを測定することを想定して研究を開始したが、培地の水ポテンシャルを測定する機材を予算の都合上用意できなかったため、浸透圧に関連する培地の塩分布についてナトリウム含量と電気伝導度を測定し、それらの値から培地の水ポテンシャルを推定する手法を用いた。また、根が塩水湛水栽培に順化した後の根の呼吸機能を明らかにするために、酸素測定システム(Oxygraph+, ハンザテック)をもちいて各処理区における根の呼吸速度を計測した。

4. 研究成果

まず、塩水湛水栽培による根および水の分布変化について述べる。培地表面の画像から培地

内水分分布の経時変化を調査した。その結果、対照区の培地に置ける湿潤域の高さは湛水栽培日数が増加するとともに低くなり、毛管上昇によると考えられる 8cm の高さで一定となった。一方、塩濃度 1.5%区、3%区の培地における湿潤域の高さは、高いところでは底面から 12cm 程度まで上昇した。この毛管上昇高さより高い水位の上昇は Hydraulic Lift による乾燥した培地への水の再配分であることが明らかになった。また、塩水区では対照区では見られない固有の湿潤域の広がりが見られた。その広がり、培地表面に確認された白い新鮮な根の分布範囲と同様の傾向を見せた。このことから新鮮な根が Hydraulic Lift による水の再配分を担っていることが示唆された。一方、塩水湛水栽培区の培地においては、根の生長が確認できなかったが、対照区では根の生長がみられたことから、塩水区では塩ストレスによって生長が阻害されたと考えられる。特に、培地上部の乾燥域に着目すると、対照区では乾燥域の根は生存し、塩水区の乾燥域の根は茶色に変色し枯死したことが観察された。すなわち、対照区の根は十分に水を吸収したことで、乾燥域の根も枯死せずに生長したが、塩水区では塩ストレスによって根が水を吸収できず乾燥域の根が枯死したと考えられる。

塩水湛水が根および水の分布に与える影響を把握するために、縦 20cm 横 12cm 厚さ 2cm の培地を縦横 4cm 厚さ 2cm の格子状に分割し、培地全体を縦方向に 5、横方向に 4 分割した区画の根量と含水率の関係について検討を行った。その結果、各区画の根量と含水率に比例関係は見られなかった。しかし、その区画に含まれる根の含水率と、培地の含水率の関係に着目したところ、両者に比例の関係が見られた。特に含水率が 65%以上の根が存在する区画において培地の含水率が高く、その領域にある生存し新鮮な根が hydraulic lift で乾燥した培地に水を再配分したと推察された。一方、含水率の低い根は枯死したと考えられた。また、根の形状について観察を行った結果、塩水区の湿潤域では、もみ殻培地で水が毛管上昇する高さである底面から 8cm の付近に根が密集しており、その領域にはほかの湿潤域の根と比較して太い根が確認された。そのため、その根が湿潤域から水を吸収し乾燥域に水を再配分したと考えられる。

続いて、塩水湛水栽培による根および水と塩の分布変化について述べる。まず、培地内における湛水の毛管上昇を排除した条件で、根周辺の培地の水分や塩濃度などの変化を観察することで、根の hydraulic lift 現象は養液中成分を栽培土壌へ移動させるかを調査した。最下層から最上層へ含水率は直線的に減少し、含水率は対照区と処理区との間に顕著な差は見られなかった。Na 濃度は、塩水 1%区、2%区では 5 層すべてから Na が検出され、毛管上昇を排除した hydraulic lift でも塩は培地に移動することが明らかになった。また、培地最上部の 1 層、最下部の 5 層が高い傾向を示した。培地最上部で Na が高い傾向を示したのは、培地内水分の毛管上昇により培地表面に塩類が集積したためだと考えられる。しかし、Na 濃度が高い最上層でも Na 濃度は 0.5%程度で、根に供給した 2%塩水より低い値となった。すなわち、培地に供給される水の塩濃度は根に供給された塩水の塩濃度から大きな影響を受けていないと考えられる。また、塩水 1%区、2%区における Na 濃度の垂直分布には顕著な差は見られなかった。このことから根は与えられた塩水をそのままの濃度で吸水しなかった、あるいは、hydraulic lift で再配分される塩は制限されたと推測された。

上記の結果を踏まえ、前述したとおり縦 20cm 横 12cm 厚さ 2cm の培地を縦方向に 5、横方向に 4 分割した区画の各層の電気伝導度(EC)、ナトリウム(Na)濃度、根の乾燥重、含水率、および根の酸素消費量を測定した。湛水栽培を行ったもみ殻培地において、0%区の含水率は下層の 4 層および 5 層目でほぼ同一、上層の 1 層および 3 層目でほぼ同一の値を示し、下層の含水率は上層のおよそ 1/2 の値であった。これより、湛水栽培をすることで、もみ殻培地の下方 4 層および 5 層目に含水率の高い湿潤域、上方 1 層および 3 層目に含水率の低い乾燥域が現れることが改めて示された。一方、塩水 3%区中層における 3 層目の含水率および Na 濃度は、他の処理区に比べて有意に高い値を示した。すなわち、塩水 3%区における 3 層目は、湛水由来の Na によって他の層より水ポテンシャルが低く、そのため植物根の hydraulic lift が起きやすい環境に変化したと考えられる。すなわち、湛水を 2%および 3%という高い塩濃度の水を与えることで、植物根の hydraulic lift 現象による水の再配分が強化された。

最後に、塩水湛水栽培が根の生理的活性に与える影響について、呼吸速度の変化から観察した結果を述べる。塩水処理区において、培地の Na 濃度が高いほど、その領域に生えた根の酸素消費量が低かった。すなわち、塩ストレスにより呼吸が抑制され生理活性が低下する傾向が見られた。ここで、培地垂直方向中央の第 3 層に注目すると、処理区、対照区とも他の層と比較し酸素消費量が多かった。この層が示す高い生理的活性は hydraulic lift で生じる培地の水分環境と根系の発達と関係が深いことが明らかになった。培地の 3 層目は、下層の湿潤域から上層の乾燥域に環境が遷移する境界の上方に該当し、この層における環境変化が塩水湛水栽培下でコマツナが生存する上で何らかの意味を持つことが推測される。そこで、0%処理区と塩水 3%処理区において、それぞれの 3 層目の根量あたり酸素消費速度を比較したところ、塩水 3%処理区は 0%処理区に対して約 50%の値と有意に低かった。酸素消費速度は呼吸活性のパラメータであり、塩水 3%処理区と 0%処理区では根の生理的状态が異なることが明らかになった。今後、塩水湛水栽培が hydraulic lift による水の再配分と与える影響をさらに解明するため、培地内水分の経時変化を調査し、今回確認された高濃度の塩水湛水栽培における呼吸活性の低下が、根の吸水能力に与える影響等を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松嶋卯月, 佐藤拓弥
2. 発表標題 根の hydraulic lift 現象は養液中成分を栽培土壌へ移動させるか？
3. 学会等名 日本農業気象学会 2022 年全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松嶋卯月, 篠田早紀, 庄野浩資
2. 発表標題 塩水で湛水栽培されたコマツナ葉の水ポテンシャル調節機能
3. 学会等名 日本農業気象学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------