

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：11201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660201

研究課題名(和文)高濃度塩水栽培が可能な培地と培地内における根の機能

研究課題名(英文)A rice-chaff and soil composite for plants growth under high-concentration salt solution

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):塩水湛水栽培が成功するためには、培地の特徴として毛管上昇が起こりにくく、保水性が高い必要があり、培地内で根が生育するメカニズムは、湛水域に達した根がHydraulic liftにより情報の培地へ塩濃度の低い水を運搬し、培地上部に塩濃度が薄く根の生育しやすい領域ができるためであることを明らかにした。もみ殻培地を用い塩水湛水栽培を行ったコマツナは新葉を小さくして蒸散に対する水分損失を防ぎつつ、塩類を吸収し葉や葉柄に蓄積することで浸透圧を湛水養液の浸透圧よりも高くし、根からの塩水吸収を可能にしていることを解明した。

研究成果の概要(英文):We evaluated capillary force and water-retention capacity of three different culture media RCSC, RCSC prepared using crushed rice chaff (crushed RCSC), and Toyoura sand. The capillary fringe of Toyoura sand was the highest and that of RCSC the lowest of the three culture media, whereas crushed-RCSC had the highest water-retention capacity and Toyoura sand the lowest. We examined Komatsuna growth in a salt solution at concentrations of 2% and 3%. We grew Komatsuna plants in the three culture media; some plants were grown best in crushed RCSC, whereas all died in Toyoura sand. The high water-retention capacity of crushed RCSC facilitated root growth at the upper layers of the culture media. However, small particles in crushed RCSC increased the capillary fringe, causing the salt solution to rise to the surface and thus some Komatsuna plants did not survive. The low capillary fringe and high water-retention capacity are minimum requirements for plant growth in a salt solution.

研究分野：農業環境・情報工学

キーワード：hydraulic lift 毛管上昇 培地特性

1. 研究開始当初の背景

陸前高田市には、東日本大震災の地盤沈下で生じた海水を含む被災水田が点在する。それを有効利用するため、湛水ポット栽培が可能なもみ殻培地(体積率で、もみ殻75%、赤玉土25%)での植物栽培を試みた。3%のNaCl溶液でコマツナを湛水栽培を行った結果、2週間後の生存率は、もみ殻培地では約75%、土壌ではほぼ0%であった。また、土壌を培地として栽培するときより、もみ殻培地使用の方が根の発達が顕著であり、もみ殻培地内の根は、上部と下部に根が集中的に分布する場所が現れる。さらに2%のNaCl溶液で同様に栽培するとコマツナは生長した。理論的には、土壌の水ポテンシャルが低い場合、植物は葉の水ポテンシャルを下げ、膨圧を保ち吸水しなければ生存できない。なぜ、もみ殻培地で高塩濃度の湛水栽培が可能なのか？水ストレスに適応した結果、ウンシュウミカン果皮の水ポテンシャルが-3.0 MPa 近くまで低下した研究結果(J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 466-472, 1996)から考えると、植物葉にも、根で吸水できる程度に葉内の水ポテンシャルを下げる能力はある。しかし、根系がほぼ一様の環境となる土耕や水耕では根系が塩ストレスに耐えられない。一方で、もみ殻培地は、空隙が多く毛管現象が起こりにくいため湛水中の塩は上昇しづらい。そのため、培地内に水と塩分濃度の不均一な分布が形成され、水耕栽培の植物で観察されるように(農園 61: 107-114, 1986)、湛水域には物理的濃度差による吸水のみ担当する根(水中根)、湛水域より上部には呼吸も担当する根(湿気中根)、と根系に役割分担が構成されるのではないかと。それにより、根系内における酸素供給や水供給が合理的になり、塩ストレスに耐えやすく根腐れが起こりにくいのではないか。

2. 研究の目的

海水に匹敵する塩濃度である3%の塩化ナトリウム(NaCl)溶液で、もみ殻を主体とする培地(もみ殻培地)を用いコマツナを湛水栽培したところ、その生存率は75%であった。また、2%のNaCl溶液で同様に栽培するとコマツナは生長を続けた。一方、2%および3%のNaCl溶液で土壌を用い湛水栽培したコマツナは、すべて枯死した。2%、3%のNaCl溶液の水ポテンシャル(-1.7MPa, -2.5 MPa)は、植物の永久萎凋点(-1.55 MPa)より低く、現在の知見では植物が生き延びるとは考えにくい。我々はその秘密が、毛管現象を起こしにくいため塩水が上昇しない培地を用いて湛水栽培を行うことにあると考えた。そこで、高濃度塩水で湛水栽培された植物が、なぜ水を吸収できるのか、もみ殻培地が果たす役割は何か、そのとき植物根の機能はどう変化するか、について調査を行った。

3. 研究の方法

供試植物としてコマツナ‘みすぎ’を使用した。もみ殻培地は、容積比でもみ殻75%、赤土25%を混合し、その全量に対して木炭粉3%、肥効調節型肥料5 g/Lを加えて調整した。湛水用の塩水には食塩水を使用した。塩水湛水栽培時における塩濃度がコマツナの生理的変化へ及ぼす影響を調査するために、気孔コンダクタンス、SPAD値、浸透圧、乾物重の測定をした。湛水溶液の塩濃度は0%、2%、3%、4%を用意し、水面から培地表面間の距離は21 cmとした。

土壌、もみ殻培地施用時の根系発達と培地の水および塩濃度分布について調査を行った。試験培地としてもみ殻培地および本学下台圃場から採取した土壌を2 Lのポットに高さ22 cmまでそれぞれ充填し、ポットの底から1 cmまで湛水し、2週間栽培した。なお、湛水は食塩で塩濃度2%、3%に調整し、対照区は塩濃度0%とした。実験終了時に、培地を高さで上中下の3層に分け、含水率、電気伝導度(EC)を測定した。

続いて、培地の毛管上昇が培地内の水分分布、塩濃度分布に与える影響を調査した。培地の赤玉土をポットに高さ20 cmまで充填しコマツナを定植した。根がポット底部から湛水中に伸長した試料の、ポット底部と湛水面との間に1 cmの隙間を設け、毛管上昇を排除した。湛水は食塩で塩濃度1%、2%に調整し、対照区は塩濃度0%とした。土壌体積含水率、気孔コンダクタンスを測定し、根の写真を撮影した。18日間の栽培終了後、上下5層に分割した培地の含水率、EC、コマツナの生体重、乾物重、含水率を測定した。

4. 研究成果

塩水湛水栽培時における塩濃度がコマツナの生理的変化へ及ぼす影響について述べる。塩水湛水処理区の気孔コンダクタンスは、塩水処理を開始してから8日間、塩濃度0%区と同様に推移した(図1)。

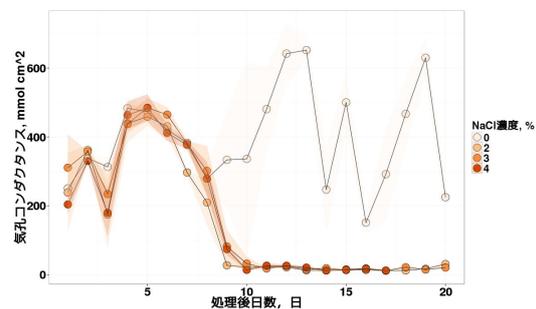


図1 葉における気孔コンダクタンスの経時変化

これは、培地内に実験前に上から灌水した水分が残っていたためと考えられる。そのため、湛水開始から8日目まで、塩濃度0%区と塩水湛水処理区の間、葉および葉柄の浸透圧に差は現れなかった。しかし、コマツナが湛水溶液のみを利用し始めたと考えられる9日目からは塩水湛水処理区の気孔コンダクタンスは低下し、葉および葉柄の浸透圧は

湛水した塩水が濃くなるほど高くなった(図2). すなわち, 塩水湛水栽培では, 気孔を閉じることで新葉を小さくして水分損失を防ぎつつ, 塩類を吸収し葉に蓄積することで葉および葉柄の浸透圧を塩水の浸透圧よりも高くし, 根からの水吸収を可能にしていると考えられた.

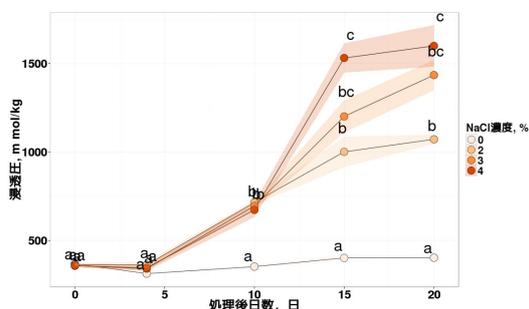


図2 葉における浸透圧の経時変化

塩水湛水区において, もみ殻培地を用いたコマツナにおける地上部, 根の生育は, 土壌を用いるより良好であった. 含水率の分布は, 土壌では培地底部から培地表面にかけてほぼ一定であったが, もみ殻培地では培地底部から培地表面にかけて直線的に減少した(図3). もみ殻培地の EC は, 各層とも含水率と同様の減少を示したが, 土壌の EC は表面の層が最も高く, 塩の集積がみられた(図3). 土壌はもみ殻培地と比較し, 粒子が細かく毛管上昇が起りやすく, 毛管上昇により水分および塩がポット内の培地上方まで輸送されたと考えられる. 一方, もみ殻培地は, 粒子が大きく毛管上昇が起りにくいため, 毛管上昇による水および塩の輸送は土壌より小さく, その結果, ポット内培地の下方から上方に, 水分分布および塩濃度の勾配が生じたと考えられた.

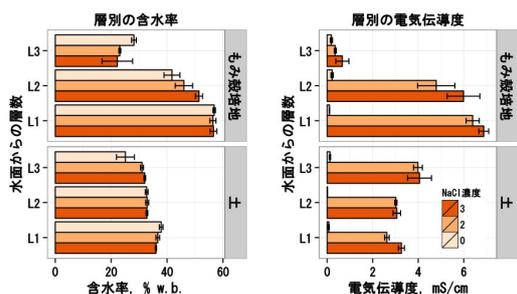


図3 各培地における層別の含水率および電気伝導度

ポット底部と湛水面との間に隙間を設けることで培地による毛管上昇が削除されたとき, 培地の含水率は, 培地表面から培地底部にかけて対数関数的な変化を示した. しかし, すべての層において塩水区における含水率は, 0%区の含水率よりも低かった(図4).

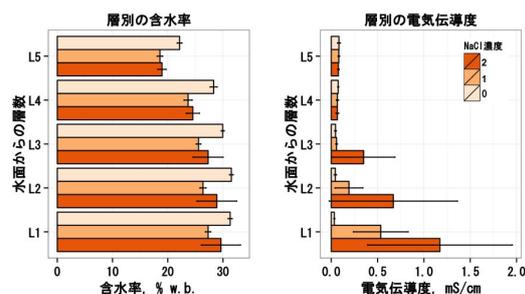


図4 層別の含水率および電気伝導度

この含水率の差は, 水中根が塩水区より発達した0%区における培地内の根から, その周囲の培地へ水が移動したためと説明できる. 水中根が少ない塩水区において培地内根による培地への水移動は制限された. 一方で, 培地各層の EC は, 塩水区の培地底部4cmのみが高く, それ以上の層はどの処理区もほぼ等しかった. すなわち, 培地内根から培地に移動する水と塩の輸送メカニズムは異なり, 培地上部には塩が運ばれず水のみが輸送されたと考えられた(図4).

以上の結果より, もみ殻培地を用いた塩水湛水栽培においてコマツナが生育したのは, 土壌より毛管上昇の程度が少ないために生じる培地内の不均一な水および塩分布に, 下層の根が上方の培地に水を輸送する効果が加わり, 根域のいずれかの層に, 水分量も適切で塩ストレスが小さく根域が発達できる部分が生じたためと推察された.

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)

[学会発表] (計4件)

1. Matsushima U, Hiroshi Shono, Masumi Okada, Takahashi M, Ogawa A. Relationship between Komatsuna (*Brassica rapa* var. *perviridis*) growth and soil moisture characteristics of a rice-chaff and soil composite in a high-concentration salt solution. International Symposium on Sensing Plant Water Status - Methods and Applications in Horticultural Science. Potsdam (Germany), October 5 to 7, 2016.
2. Matsushima U, Hiroshi Shono, Masumi Okada, Takahashi M, Ogawa A. Rice-chaff and Soil Composite Helps Komatsuna (*Brassica Rapa* Var. *Perviridis*) Survive in a High-concentrated Salt Solution. International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering. Niigata, May 23 to 25, 2016.
3. 松嶋卯月, 庄野浩資, 小川明子, 岡田益巳. 塩水を用いたコマツナの湛水栽培 — 栽培可能な塩濃度および培地の条件 —. 農業環境工学関連5学会2015年合同大会.

盛岡市, 2015 年 9 月 14 日-18 日.

4. 松嶋卯月, 庄野浩資, 小川明子, 岡田益巳.
塩水を用いた湛水栽培におけるコマツナ
根系の役割. 農業環境工学関連 5 学会
2015 年合同大会. 盛岡市, 2015 年 9 月 14
日-18 日.

6. 研究組織

(1)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