

養液栽培サツマイモの培地の種類が生育と収量に与える影響

坂本 勝¹, 鈴木 高広¹

要旨

サツマイモは主要な食物源の一つで、今後エネルギー作物としての利用も期待されている。本研究では、効率的なサツマイモ栽培を目的として、養液栽培サツマイモ栽培における培地の種類が生育と収量に与える影響を調査した。試験培地として、小粒と中粒のパーライト、ロックウールおよびパーミキュライトを用いた。サツマイモ苗をそれぞれの培地が入った 3.0 L の黒ビニルポットに定植し、サツマイモ用の養液栽培装置で栽培した。定植後 100 日目の植物体を収穫して測定したところ、塊根の重さや 1 植物体当たりの塊根数に違いは認められなかった。一方、塊根の外観はパーライト処理の 2 区で細長く、ロックウール区とパーミキュライト区で丸い形状をしていた。また、パーミキュライト処理区では、塊根表皮のアントシアニン含量が増加し、塊根の糖度が減少する傾向にあった。以上のことから、養液栽培の培地の種類が、塊根の特性に影響を与えることが示唆された。

キーワード：サツマイモ、養液栽培、培地、塊根肥大

1. 結論

サツマイモ (*Ipomoea batatas*) は、世界中の温帯地域から熱帯地域で幅広く栽培されており、開発途上国において主要な栄養源の一つである⁽¹⁾。また、サツマイモは、比較的栄養状態が悪い土壌条件下でも、太陽エネルギーから効率的に有機物を固定する能力を持っている⁽²⁾。そのため、近年、費用対効果の高いバイオ燃料の候補作物の一つとしてサツマイモが挙げられている⁽³⁾。サツマイモやキャッサバなどの根菜類は、肥料や水などの圃場への投入量に対するバイオエタノール源の生産効率が高いことが算出されており、主要なバイオエタノール源であるトウモロコシの代替作物となりうることも提案されている⁽⁴⁾。すでに、サツマイモやその残渣を用いて、水素、エタノール、およびメタンなどのバイオ燃料を抽出する研究が行われている⁽⁵⁻⁸⁾。

日本においても、食用および澱粉加工用のサツマイモが広く栽培されている⁽⁹⁾。また、原子力の代替エネルギー源の必要性などから、バイオ燃料資源としてのサツマイモの需要が増加する可能性がある。一方、日本の農業従事者数の平均年齢は増加し、従事者数は減少しており⁽¹⁰⁾、今後も着実に従事者数が減少していくことが推察される。したがって、サツマイモを含めた農作物の効率的な栽培方法の開発が求められている。

養液栽培は、固体培地（土壌）と肥料の代わりに、植物に必要なミネラルを含む培養液を使用して栽培する方法である⁽¹¹⁾。この方法では、植物の根は生育に必要なミネラルを含む培養液に直接さらされるか、培溶液を容易に吸収するパーミキュライト、パーライト、ロックウールなどの養分を含まない培地によって支持されている^(12,13)。つまり、養液栽培では根圏が培養液に常に囲まれているため、植物はこれを吸収して効率的に成長することができる。葉菜類やトマトなどの果菜類では、それぞれの植物に適した養液栽培法が確立されており、植物工場などを中心に養液栽培の導入が進んでいる^(13,14)。しかし、サツマイモなどの根菜類は、効率的な養液栽培法が確立されていない。

原稿受付 2020 年 1 月 20 日、受理日 2020 年 2 月 28 日

1. 近畿大学生物理工学部 生物工学科、〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930

近年、根菜類の養液栽培法確立に向けて様々な基礎研究が行われている⁽¹⁵⁻¹⁹⁾。ニンジンでは、貯蔵根を培養液に浸漬することで、肥大が抑制されることが報告されている⁽¹⁷⁾。サツマイモにおいても、根が培養液に浸かることで肥大根の形成が抑制されることが明らかとなっている⁽²⁰⁾。そのため、塊根を培養液に直接浸漬させないサツマイモの養液栽培法がいくつか研究されている^(15, 20-22)。例えば、培養液の水位を下げることで培養液上部に空間を作り、ここで塊根を肥大させる研究が行われている^(15, 21)。また、支持培地としてロックウールスラブを用いて、スラブと培養液の間の空間に塊根を形成させる方法も開発されている⁽²²⁾。我々はこれまでに、栽培ポットとコンテナ、不織布を組み合わせて、底面給水法によりコンテナからポット内へ培養液が供給されるサツマイモ養液栽培装置を開発した⁽²⁰⁾。しかし、この実験ではバーミキュライトのみを培地として使用しており、最適な培地成分については検討していない。そこで、本実験では、2種類の粒形のパーライトとロックウール、バーミキュライトを用いて、培地の種類が養液栽培サツマイモの生育と成分に与える影響を調査した。

2. 材料と方法

サツマイモ品種鳴門金時を実験に用いた。2017年4月22日に3.0Lの黒色ビニルポットに培地をポット上部まで満たした後、底面給水により水道水を十分に吸水させ、サツマイモ苗を定植した。実験に用いた培地は、以前の実験で用いたバーミキュライト（あかぎ園芸）と、2~4mmの直径のパーライト小粒（パーライト細粒、あかぎ園芸）、6~7mmの直径のパーライト中粒（パーライトM、あかぎ園芸）、および一辺が約1cmの立方体のロックウール（GROW-CUBES、GRODAN）である（図1）。定植したポットは、屋内の窓際で10日間発根誘導させた後、5月2日に和歌山県紀の川市の近畿大学生物理工学部の屋外の日当たりの良い水平なアスファルトに移動させ、以前に報告したサツマイモ用の養液栽培装置にポットを設置し、栽培を行った⁽²⁰⁾。培養液はOATハウスA処方1/2倍液を用い、植物の吸水により減少した培養液は、水を補給することで補った。培養液は、6月20日と7月22日の2回、それぞれ全量を新しいOATハウスA処方1/2倍液に交換した。7月22日までの1ポット当たりの培養液量は5L、7月22日以降は培養液タンク容量を増やしたため、1ポット当たり20Lである。定植後100日目の9月7日に、植物体を収穫し、重量や成分の測定を行った。栽培を行った各処理区ごとの植物体数は、各処理区8個体である。



図1 実験に用いた培地
スケールバーは1cmを示す。

実験に用いた培地の特性について、栽培前のポット内の三相分布を調査した。栽培に用いた3.0Lの黒色ビニルポットに各種培地を充填し、ポット下部から底面吸水により十分に培地に水を吸収させた。次に、ポット重量を速やかに測定し、培地をポットから取り出した後、80°Cに設定した定温乾燥機（DV-600、ヤマト科学株式会社）を用いて4日間乾燥させ、乾燥した培地重量を測定した。三相分布は、以下の数式を用いて測定した。なお、各培地の真密度は、過去の文献に従い⁽²³⁾、パーライト2.15 g/cm³、ロックウール2.45 g/cm³、バーミキュライト2.65 g/cm³で計算した。

液相率 (%) = (水分重量 / 容器体積) × 100

固相率 (%) = (乾物重量 / 真密度) / 容器体積 × 100

気相率 (%) = 100 - (液相率 + 固相率)

サツマイモ塊根表皮のアントシアニン含量は、以前に行った研究に従い測定した⁽²⁴⁾。収穫した塊根の表皮をカミソリで薄くスライスした後、50 mg を 1 mL のエタノール (1%塩酸) が入った 1.5 mL のエッペンチューブに浸漬した。エタノールが揮発しないようしっかりと蓋をした後、4°Cで一晩静置した。溶出したアントシアニンを、分光光度計 (UV-1200、島津製作所) を用いて 533 nm の吸光度を測定した。Cyanidin-3-glucoside を用いて検量線を作成し、新鮮重当たりの cyanidin-3-glucoside 当量としてアントシアニン含量を算出した。供試した植物体数は、各処理区 4 個体である。

塊根の糖度は、ポケット糖度計 (PAL-1、アタゴ) を用いて測定した。収穫した塊根をおろし金ですりおろした後、しぼり汁の糖度を測定した。糖度測定に供試した植物体数は、各処理区 4 個体である。

塊根内部のリグニン化の検出は、以前に行ったフロログルシノール染色により行った⁽²⁰⁾。塊根の中央部付近をカッターナイフで薄くスライスし、この切片を 1%フロログルシノール-塩酸溶液に 5 分間浸漬した後、写真を撮影した。この方法では、リグニン化された組織は、赤い着色として検出できる。

植物の生育と成分に関するすべてのグラフのデータは、Tukey-Kramer の多重比較による統計処理を行ったが、P 値が 0.05 以下を示す有意な差は全てにおいて認められなかった。

3. 結果

栽培前の培地の三相分布を調査したところ、パーライト小粒区と中粒区で、ロックウール区とバーミキュライト区と比較して低い液相率を示した (図 2)。

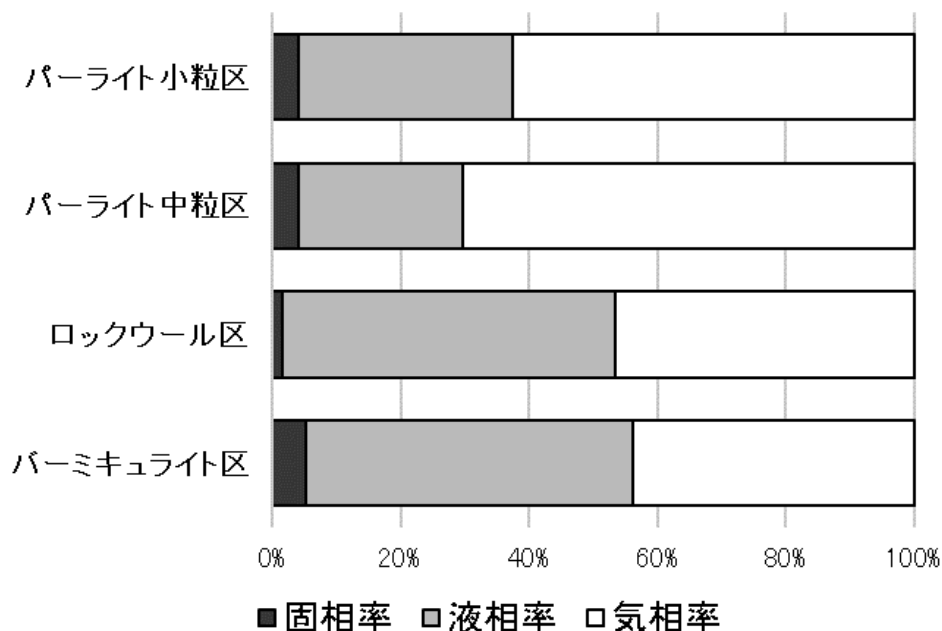


図 2 各培地の種類が栽培前ポット内の三相分布に与える影響

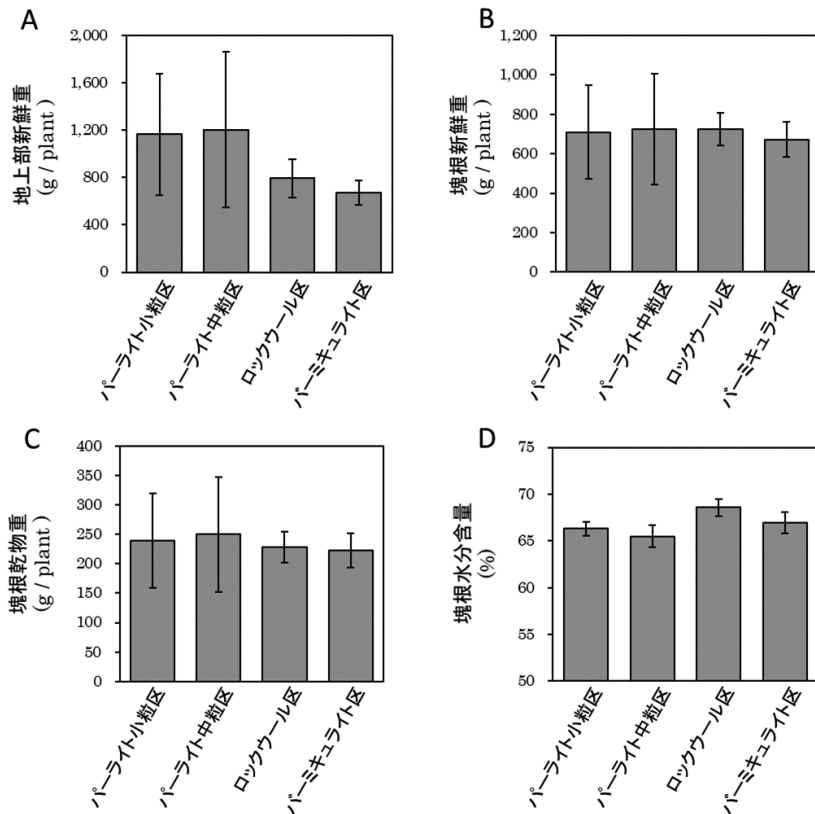


図3 培地の種類がサツマイモの生育に与える影響

Aは地上部新鮮重、Bは塊根新鮮重、Cは塊根乾物重、Dは塊根水分含量を示す。

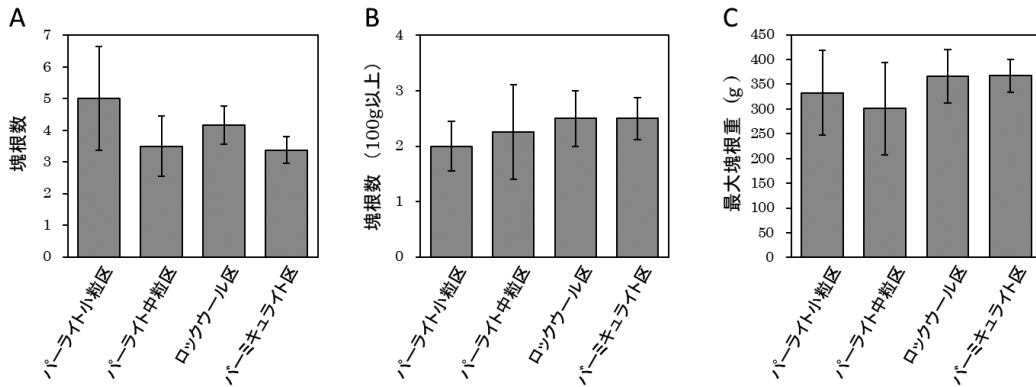


図4 培地の種類がサツマイモの塊根数と最大塊根重に与える影響

Aは植物体当たりの塊根数、Bは植物体当たりの100g以上の塊根数、Cは植物体当たりの最大塊根重を示す。

定植100日目の植物体を収穫し、地上部と塊根の重量を調査したところ、地上部新鮮重は、パーライト小粒区と中粒区の2区で、他の2区と比較して重くなる傾向があったものの、ばらつきが大きかった(図3A)。一方、塊根新鮮重と乾物重に違いは認められなかった(図3B、C)。塊根の水分含量は、ロックウール区で最も高く、次いでパーミキュライト区が高く、パーライト小粒、中粒区で低い傾向が見られた(図3D)。植物体当たりの塊根数は、パーライト小粒区で多い傾向が見られたが、ばらつきが大きかった(図4A)。一方、100g以上の塊根数や最大塊根重は、ばらつきが大きく、処理区間で違いは見られなかった(図

4B、C)。

塊根の外観は、パーライトの2区で縦に長い形状をしており、ロックウール区とバーミキュライト区では塊根長が短く、丸い形状をしているものが多かった(図5)。また、ロックウール区とバーミキュライト区では、塊根先端部に細長く肥大が抑制された赤い根が認められた(図5A)。サツマイモの塊根表皮に見られる赤い着色は、ロックウール区とバーミキュライト区では、全体に均一に着色していたが、パーライトの2区では着色の程度が不均一であった(図5B)。

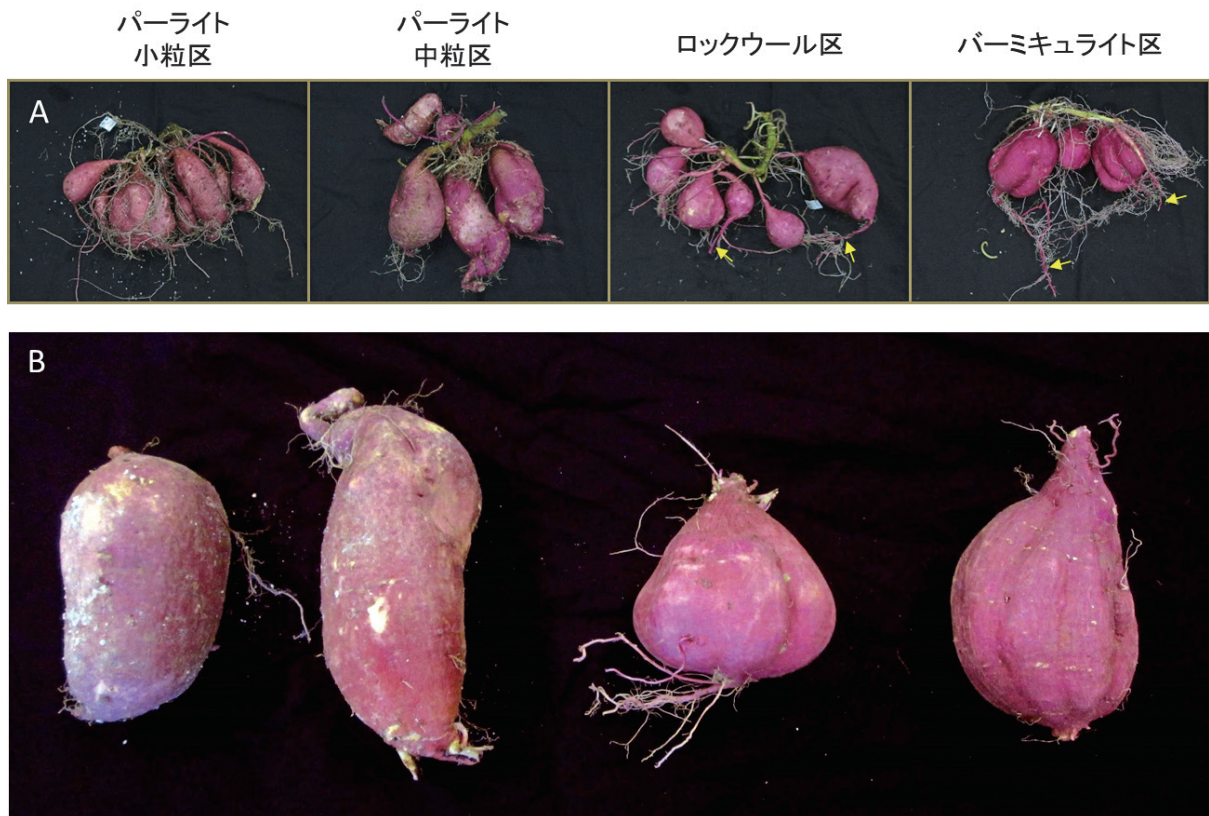


図5 培地の種類がサツマイモの塊根の外観に与える影響

Aはツルに付着した状態の1植物体の塊根を、Bは各培地の種類の典型的な塊根を示す。

黄色矢印は、塊根先端部の細長い赤い根を示す。

次に、塊根表皮のアントシアニン含量を測定したところ、バーミキュライト区でアントシアニン含量が高くなる傾向にあった(図6A)。一方、塊根の糖度を測定したところ、バーミキュライト区で糖度が低くなる傾向にあった(図6B)。次に、塊根内部組織のリグニン化を、フロログルシノールを用いて染色を行い観察したところ、全ての区の塊根内部でリグニンの存在を示す赤い染色部位が散在していた(図7)。

4. 考察

ロックウールやバーミキュライトは、パーライトと比較して保水率が高いことが知られている^(25,26)。本実験においても、ロックウール区とバーミキュライトで液相率が高かったことから(図2)、これら2区のポット内で保水率が高かったことが想定される。これまでの研究で、塊根肥大は高湿度や水への浸漬により阻害されることが報告されている⁽²⁷⁻²⁹⁾。本実験で用いた養液栽培装置は底面給水式であり、ポット下部に敷設された不織布から、毛細管現象によりポット内に培養液を供給する仕組みになっている⁽²⁰⁾。

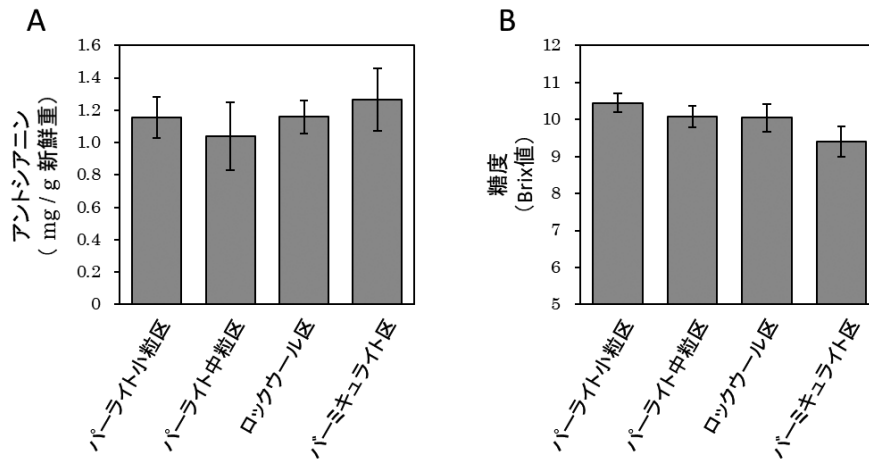


図6 培地の種類がサツマイモの成分に与える影響

Aは塊根表皮のアントシアニン含量 (cyanidin-3-glucoside 当量) を、Bは塊根内部の糖度を示す。



図7 培地の種類がサツマイモの塊根内部のリグニン化に与える影響

塊根断面の赤い着色は、リグニンで染色されるフロログルシノールを示す。

このことから、保水性が高いロックウールとバーミキュライトの2区では、潤沢な水分が下部に存在したため、浸水ストレスにより塊根下部の肥大が抑制され、塊根の根長が短くなったと推察された。水耕ニンジンの研究では、栽培途中に主根を切除することで貯蔵根長を短くすると、貯蔵根重が減少することが報告されている⁽³⁰⁾。一方、本実験では、ロックウール区とバーミキュライト区で塊根長は短くなったものの塊根重に変化がなかった(図3B、C、5A)。このことから、1つの塊根において、ある程度の肥大部位があれば塊根への光合成産物の転流は妨げられないことが示唆された。

塊根の肥大抑制は、生育初期の肥大開始時に根の中心柱全体がリグニン化することで生じることが知られている⁽³¹⁾。以前に行ったバーミキュライト培地での養液栽培サツマイモ実験では、肥大した塊根では散在した道管のみがリグニン化され、赤く細長い肥大が抑制された根では中心部の大部分がリグニン化していた⁽²⁰⁾。本実験においても、肥大塊根は散在している道管のみがフロログルシノールで染色され、処理区間に違いは認められなかった(図7)。一方、以前の研究と同様に肥大が抑制された赤い根が、バーミキュライト区とロックウール区塊根下部で観察されたことから(図5A)、これらの根は生育初期に浸水ストレスによりリグニン化が誘導され、塊根肥大が阻害された可能性が考えられた。

これまでの研究で、サツマイモの根圏温度を高めると、塊根表皮の着色が抑制されることが報告されている^(27,32)。本実験では、パーライト処理の2区で表皮の着色が不均一であった(図5B)。パーライト処理

の2区では、ロックウール処理区やバーミキュライト処理区と比較して、液相率が低かったことから(図2)、培地の水分保持特性の違いが、塊根付近の温度などの環境に影響を与え、塊根表皮の着色に影響を与えた可能性が推察された。

パーライトを培地として用いたニンジンの養液栽培では、パーライトの粒径が小さい程、貯蔵根の生育が促進され、0.6 mmの粒径で最も収量が増加することが報告されている⁽³³⁾。今回、2~4 mmと6~7 mmの2種類の粒径のパーライトを用いたが、サツマイモ塊根の収量に違いは認められなかった(図3B、C)。よって、根菜類でも植物種によって肥大に適した根圏の培地環境は異なることが示唆された。砂地畑土壌を用いたサツマイモの栽培実験では、砂の粒径が0.25 mm未満の小さな粒径の砂の割合が増すと、塊根収量が増加することが報告されている⁽³⁴⁾。本実験で用いたパーライトの粒径は、最小で2~4 mmであったことを考えると、パーライトの粒径をさらに小さくすることで、養液栽培サツマイモの塊根収量が増加する可能性も考えられた。

根圏環境は、サツマイモを含む根菜類の生育に重要な役割を果たしている⁽³⁵⁾。本研究では、サツマイモ用の養液栽培装置において、培地の種類が塊根の生育と成分に与える影響を調査した。パーライトを用いた2区では、塊根表皮の着色が抑制されたものの、根長が長く肥大が抑制された根の発達は認められなかった。今後、培地の混合やポット内の部位ごとの培地施用を検討することで、品質の良い塊根を生育させることが可能であると考えられる。

5. 参考文献

- (1) Woolfe, J. A. (1992). Sweet potato: an untapped food resource. Cambridge University Press.
- (2) Pimentel, D., Doughty, R., Carothers, C., Lamberson, S., Bora, N., & Lee, K. (2002). Energy inputs in crop production in developing and developed countries. Food security and environmental quality in the developing world, 129–151.
- (3) Koçar, G., & Civaş, N. (2013). An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28, 900–916.
- (4) Ziska, L. H., Runion, G. B., Tomecek, M., Prior, S. A., Torbet, H. A., & Sicher, R. (2009). An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. biomass and bioenergy, 33(11), 1503–1508.
- (5) Chu, C. Y., Sen, B., Lay, C. H., Lin, Y. C., & Lin, C. Y. (2012). Direct fermentation of sweet potato to produce maximal hydrogen and ethanol. Applied energy, 100, 10–18.
- (6) Lay, C. H., Lin, H. C., Sen, B., Chu, C. Y., & Lin, C. Y. (2012). Simultaneous hydrogen and ethanol production from sweet potato via dark fermentation. Journal of Cleaner Production, 27, 155–164.
- (7) Kobayashi, T., Tang, Y., Urakami, T., Morimura, S., & Kida, K. (2014). Digestion performance and microbial community in full-scale methane fermentation of stillage from sweet potato-shochu production. Journal of Environmental Sciences, 26(2), 423–431.
- (8) Wang, F., Jiang, Y., Guo, W., Niu, K., Zhang, R., Hou, S., Wang, M., Yi, Y., Zhu, C., Jia, C. & Fang, X. (2016). An environmentally friendly and productive process for bioethanol production from potato waste. Biotechnology for biofuels, 9(1), 50.
- (9) 農林水産省生産局地域作物課. (2019). 平成30年度いも・でん粉に関する資料. 農林水産省, (最終閲覧日: 2020年1月20日)

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/tokusan/imo/30shiryuu.html>

- (10) 農林水産省農林水産省統計部. (2019). 平成 31 年農業構造動態調査. 農林水産省, (最終閲覧日 : 2020 年 1 月 20 日)
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukou/index.html>
- (11) Sardare, M. D., & Admane, S. V. (2013) A review on plant without soil-hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2(03), 299–304.
- (12) Resh, H. M. (1995) *Hydroponic food production. A definitive guidebook of soilless food-growing methods* (No. Ed. 5). Woodbridge press publishing company.
- (13) Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A. K. (2014) A review on the science of growing crops without soil (soilless culture)-a novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 833.
- (14) 松村健. (2012) 植物工場の新たな展開. *学術の動向*, 17(5), 68–73.
- (15) 上和田勉. (1990) サツマイモの養液栽培に関する研究. *生物環境調節*, 28(4), 135–140.
- (16) 寺林敏, 四方恒生, & 並木隆和. (1997) 湛液式および液面上下式養液栽培におけるダイコン, ニンジンおよびゴボウの根の肥大様相. *生物環境調節*, 35(2), 99–105.
- (17) 寺林敏, 原田直美, 伊達修一, & 藤目幸擴. (2008) 水耕ニンジン (*Daucus carota* L.) の根の肥大に及ぼす通気および培養液水位の影響. *園芸学研究*, 7(3), 439–444.
- (18) Ritter, E., Angulo, B., Riga, P., Herran, C., Relloso, J. & San Jose, M. (2001) Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, 44(2), 127–135.
- (19) Hayden, A. L. (2006) Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *HortScience*, 41(3), 536–538.
- (20) Sakamoto, M. & Suzuki, T. (2018) Effect of pot volume on the growth of sweetpotato cultivated in the new hydroponic system. *Sustainable Agriculture Research*, 7(1), 137–145.
- (21) Eguchi, T. & Yoshida, S. (2004) A cultivation method to ensure tuberous root formation in sweetpotatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *Environment Control in Biology*, 42(4), 259–266.
- (22) Kitaya, Y., Hirai, H., Wei, X., Islam, A. F. M. S. & Yamamoto, M. (2008) Growth of sweetpotato cultured in the newly designed hydroponic system for space farming. *Advances in Space Research*, 41(5), 730–735.
- (23) VIAK AS & BioPlan Miljøkonsulenter. (1993) Compost products: declaration and control of environmental and quality parameters. Nordic Council of Ministers.
- (24) Sakamoto, M. & Suzuki, T. (2017) Synergistic Effects of a Night Temperature Shift and Methyl Jasmonate on the Production of Anthocyanin in Red Leaf Lettuce. *American Journal of Plant Sciences*, 8(07), 1534.
- (25) Eguchi, T., Kitano, M. & Eguchi, H. (1998) Growth of sweetpotato tuber as affected by the ambient humidity. *Biotronics*, 27, 93–96.
- (26) Tapia, M. L. & Caro, J. M. (2009) Production of lettuce seedlings (*Lactuca sativa*) in granular rockwool and expanded perlite for use in hydroponics. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 36(3), 401–410.
- (27) Eguchi, T., Kitano, M., Yoshida, S. & Chikushi, J. (2003) Root Temperature Effects on Tuberous Root Growth of Sweetpotato (*Ipomoea batatas* Lam.). *Environment Control in Biology*, 41(1), 43–49.
- (28) Eguchi, T., Kitano, M. & Eguchi, H. (1998) Growth of sweetpotato tuber as affected by the ambient humidity. *Biotronics*, 27, 93–96.

-
- (29) 小川仁, 梯美仁, 井上光弘, 田邊賢二, & 尾谷浩. (2006). 砂地畑における土壤水分の推移がサツマイモの収量および品質に及ぼす影響. 徳島県立農林水産総合技術支援センター農業研究所研究報告, (3), 13–19.
- (30) Sakamoto, M., Wada, M. & Suzuki, T. (2020) Effect of Partial Excision of Early Taproots on Growth and Components of Hydroponic Carrots. *Horticulturae*, 6, 5.
- (31) Villordon, A. Q., La Bonte, D. R., Firon, N., Kfir, Y., Pressman, E. & Schwartz, A. (2009) Characterization of adventitious root development in sweetpotato. *HortScience*, 44(3), 651–655.
- (32) Kano, Y. & Zeng, J. M. (2000) Effects of soil temperature on the thickening growth and the quality of sweetpotatoes during the latter part of their growth. *Environment Control in Biology*, 38(3), 113–120.
- (33) Asaduzzaman, M., Kobayashi, Y., Mondal, M. F., Ban, T., Matsubara, H., Adachi, F. & Asao, T. (2013) Growing carrots hydroponically using perlite substrates. *Scientia Horticulturae*, 159, 113–121.
- (34) 梯美仁, 黒島忠司 & 黒田康文. (2002). 砂地畑土壤の粒径組成がサツマイモの収量・品質に及ぼす影響. 日本土壤肥料学雑誌, 73(3), 319–322.
- (35) Khan, M. A., Gemenet, D. C. & Villordon, A. (2016) Root system architecture and abiotic stress tolerance: current knowledge in root and tuber crops. *Frontiers in plant science*, 7, 1584.

英文抄録

The Effects of Growth Medium on the Yield and Components of Hydroponic Sweetpotatoes

Masaru Sakamoto¹ and Takahiro Suzuki¹

Sweetpotato is a major food source that is expected to be an important source of energy in future. In this study, we investigated the effect of growth medium on the yield and components of hydroponic sweetpotatoes. Small and medium sized perlite, rockwool, and vermiculite were used as experimental growth media. Stem cuttings of sweetpotatoes were planted in 3.0 L black vinyl pots that filled with each growth media, and these cuttings were then cultivated using the hydroponic system customized for sweetpotatoes. The plants were harvested 100 days after planting and then their yield and components were examined. No difference was observed in the number and weight of storage roots per plant between the experimental pots. However, the appearance of storage roots was more rounded in the plants grown using rockwool and vermiculite as compared to those grown using perlites. In the storage roots grown using vermiculites, the epidermal anthocyanin content was more and the sugar content was less as compared to the other experimental pots. These results suggest that the media composition of the hydroponic system used for the cultivation of sweetpotatoes could influence the characteristics of their storage roots.

Key words: sweetpotato, hydroponics, growth medium, storage root

Received 20 January 2020, Accepted 28 February 2020.

1. Department of Biotechnological Science, Faculty of Biology-Oriented Science and Technology, Kindai University, Wakayama 649-6493, Japan