石英斑岩を利用した培養液処理がコマツナの生育 および遊離アミノ酸含量へ及ぼす影響

吉村卓紘・石川勝美・竹田紀子

高知大学農学部 783-8502 南国市物部乙 200

Effects of Nutrient Solution Treatment using Quartz Porphyry on Growth and Free Amino Acid Contents of Komatsuna (*Brassica rapa* L. nothovar) Plants

Takahiro YOSHIMURA, Katsumi ISHIKAWA and Noriko TAKEDA

Faculty of Agriculture, Kochi University, Monobe-otsu 200, Nankoku, 783-8502 Japan

Abstract

A treatment system using nutrient solution in hydroponics was developed for year-round stable production of high-quality vegetables. It is possible for quartz porphyry to control the quality of nutrient solution effectively. These qualities include viscosity, because of its pH dependent charge and exchangeable cation. The components system included an air pump, a submerged pump and quartz porphyry. Quartz porphyry weighing 10kg was put into the stainless steel layer in a water tank (0.3m³ volume) and nutrient solution was pumped into the layer by the submerged pump.

The viscosity of nutrient solution in a komatsuna (*Brassica rapa* L. nothovar)-growing NFT system was decreased by the treatment, which might affect the absorption of nutrient solution by komatsuna plants, because the movement of the water can be influenced by viscosity.

It would be necessary to quantitatively evaluate the relationship between the viscosity of nutrient solutions and the absorption of ions by the roots. Komatsuna plants receiving the treated nutrient solution grew faster and contained more total free amino acid.

The results suggested that the nutrient solution treatment system could be effective for the production of high-quality vegetables.

Keywords: free amino acid, komatsuna (*Brassica rapa* L. nothovar), nutrient solution treatment system, quartz porphyry, viscosity

緒 言

近年、輸入野菜の残留農薬問題や無登録農薬の使用、生産地偽装などから食品の安全性に対する意識が高まっている。さらに、健康ブームによって、外観、味覚とともに食品

の本来の特徴である栄養価も購入時の重要な項目になっている (Fukasawa, 2000)。このような消費者の需要に応えるため、栄養価を高める栽培方法の開発、農薬等の化学物質の使用を抑える新しい栽培技術が模索されており、その技術の一つとして天然物質の利用が検討されている。この中で、天然の岩石である石英斑岩の利用についてもいくつか報告されている。石英斑岩は表面が負に帯電し、しかも変異荷電を有していること、適量の交換性塩基容量を持つことなどから土壌改良効果、水質改善の他、水や培養液の液質制御などが期待できる。これまで、石英斑岩と溶液を接触させることによ

2005 年 9 月 5 日受付

2006 年 1 月 20 日受理

Corresponding author: Takahiro Yoshimura

(taka_yoshi_dqn212@hotmail.com)

る有機物吸着 (Kawano *et al.*, 2005), pH 調整・イオン緩衝効果 (Nakamura *et al.*, 1997), 植物の栽培溶液との接触による発芽・初期生育の向上 (Ishikawa *et al.*, 1995), トマトの生育促進 (Ishikawa *et al.*, 1992) などの研究が行われている。しかしながら、養液栽培法を用いる周年栽培における生育速度や品質についての研究事例は少ない。そこで本研究では、高品質野菜の周年栽培の安定性を期して、石英斑岩を使用した養液栽培用の培養液処理装置を作成し、コマツナ (*Brassica rapa* L. nothovar.) の NFT 栽培試験を行った。本報告では根の生理活性、吸収に関係する項目として培養液の粘性に着目し、処理装置の培養液と植物の生育に及ぼす影響について調査するとともに、野菜の主要な栄養成分である遊離アミノ酸含有量についても比較検討した。

材料および方法

1. 実験材料

(1) 培養液処理装置

培養液処理のシステム図を Fig.1 に示す。本処理装置はエアポンプ (日東工器株式会社: メードコンプレッサ), 石英斑岩 10kg 入りのステンレス容器, 水中ポンプ (TERADA: SL-102 吐出量: $0.7\text{dm}^3\text{min}^{-1}$) で構成した。水中ポンプでタンク (容量 0.3m^3) 内の培養液を吸い上げ、岩石を封入したステンレス容器の下部から上部へと通水させ、さらに、石英斑岩に物理的刺激を与えるためエアポンプで空気を装置の下部から上部へ送るよう作動させた。

(2) 石英斑岩

培養液処理装置には中国・黒龍江省碾子山地区で産出された石英斑岩を使用した。碾子山地区には石英斑岩が豊富に埋蔵 (14000万 m^3) されており、国産石英斑岩と比較して安価で流通されている。Table 1, Table 2 にそれぞれ中国

産石英斑岩の主要構成成分と理化学的特性を示す。

2. 実験方法

(1) 栽培方法

育苗

コマツナ (品種 '夏楽天' タキイ種苗 (株)) を水耕葉菜用ウレタンキューブに 5 粒ずつ播種し、 25°C の環境制御室内で 5 ~ 6 日生育させ、胚軸長が 1 cm 程度になったところでビニールハウス内の NFT 栽培ベッドへ移植した。移植後は栽植密度を揃えるため苗の数をウレタンキューブ一つあたり 3 株となるよう間引きを行った。

栽培管理

栽培はビニールハウス内の 2 列 (石英斑岩処理 (以下 処理) 区, 対照区) の NFT 栽培ベッド (長さ 11 m, 幅 0.6 m, チャンネル数 5, チャンネル幅 0.1 m, 勾配 1/80) に定植パネル ($0.6\text{m} \times 1.2\text{m}$ 定植孔直径 25 mm 孔間隔 120 mm 孔数 50 個) 11 枚を設置した。栽培は夏期 (2004 年 8/13 ~ 9/12), 秋期 (2004 年 10/23 ~ 11/17) の 2 回行った。出荷規格に準じ、草丈 30 cm 程度で収穫した。試験期間中は雨、強風時以外は側窓を開放した。培養液にはみかど水耕 1 号および 2 号 (株式会社みかど育種農場) を用い、標準処方 ($\text{EC}: 2.4\text{dS m}^{-1}$) に準じて調整し、流量 $0.3\text{m}^3\text{h}^{-1}$ で連続給液とした。2 列のベッドのうち処理区には培養液タンク内に培養液処理装置を設置した。対照区のタンクには培養液処理装置を設置せずに処理区と同型のエアポンプと水中ポンプのみを設置した。処理区、対照区どちらかのタンクの培養液

Table 1 Chemical composition of quartz porphyry.

Composition	g/100g
SiO ₂	63.32
Al ₂ O ₃	10.35
Fe ₂ O ₃	2.92
FeO	2.12
K ₂ O	3.11
Na ₂ O	4.02
CaO	3.34
MgO	1.30
TiO ₂	0.57
P ₂ O ₅	0.19
MnO	0.048

Table 2 Physical and chemical properties of quartz porphyry.

true specific gravity (-)	Exchangeable cation (cmol (+)/kg)				CEC (cmol (+)/kg)	pH	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		H ₂ O	KCl
2.75	0.09	0.18	1.04	0.18	1.87	9.09	7.20

Fig. 1 Nutrient solution treatment system.

が蒸発散により一定量 (0.5 dm^3) 減少した際に各タンクに同量の培養液を補給した。試験期間中は特に pH の調整は行わなかった。

(2)測定

培養液のEC, pH, 粘度

試験期間中は毎日、定時に培養液のサンプリングを行い、pHとECを測定した。培養液の粘度測定にはデジタル回転式粘度計 (Viscotec: ビスコエリート L 型) を用いた。

生育調査

試験期間中は草丈と葉幅を調査項目とし、収穫時にはこの他に一株新鮮重と葉色 (SPAD 値) についても測定した。調査個体は各ベッドから無作為に 30 株ずつ選抜した。

遊離アミノ酸分析

秋期栽培において試験期間中、収穫時、収穫後のコマツナ遊離アミノ酸含量の推移について調べた。収穫後はコマツナを新聞紙 1 枚に包み、 5°C の環境制御室内に保存した。測定試料の調整は、コマツナ数株の可食部を包丁で細かく切り、均一化したサンプル 10 g と 75% エタノール 30 ml を完全に固形物がなくなるまでホモジナイザー (マイクロテックニチオン: ヒスコロン NS-51) で磨碎し、 80°C で抽出し、遠心分離後、上澄みを濾紙 (ADVANTEC NO. 2) で濾過した。この抽出から濾過までの過程を 3 回繰り返した。抽出液を 45°C で減圧乾固したものを、 20 mmol の塩酸を用いて溶かし、フィルター (MILLIPORE: Millex[®]-LH 孔径 $0.45 \mu\text{m}$) で濾過し、誘導体化したものを測定試料とした。定量には HPLC (Waters 製: ポンプ 600E, 検出器 2475, カラム AccQ・Tag) を使い、誘導体化試薬には AccQ・Fluor reagent (Waters 製)、緩衝液は AccQ・Fluor Borate Buffer (Waters 製) を用いた。Asparagic acid (Asp), Serine (Ser), Glutamic acid (Glu), Glycine (Gly), Histidine (His), Arginine (Arg), Threonine (Thr), Alanine (Ala), Proline (Pro), Valine (Val), Lysine (Lys), Isoleucine (Ile), Phenylalanine (Phe) につき定量し、合計したものを遊離アミノ酸総量として算出した。

結 果

培養液のEC, pH, 粘度

培養液の EC と pH の変化を Fig. 2, Fig. 3 に示す。両区とも pH は夏期栽培期間中では適正值である $5.5 \sim 6.5$ の間で推移した。秋期栽培では適正值よりやや高い期間があったものの、生育に影響するほどではなかった。Fig. 4 に試験開始後の培養液の粘度値 (25°C) を示す。処理前は $0.83 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ であったが、試験開始 1 日後に処理区は $0.78 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ まで低下し、安定した。一方、対照区では試験開

Fig. 2 Changes of pH and EC on the nutrient solutions during the cultivation period in August-September.

Fig. 3 Changes of pH and EC on the nutrient solutions during the cultivation period in October-November.

始 1 日後は $0.80 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、2 日後 $0.84 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、3 日後 $0.84 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ となった。また、培養液補給後の試験開始 4 日後には $0.92 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ と高い値を示した。

Fig. 4 Time course of viscosity of the nutrient solutions. Vertical lines indicate S.D. (n = 3)

Fig. 5 Changes in leaf length and width in komatsuna plants during the cultivation period in August-September. Vertical lines indicate S.D. (n = 30)

生育調査

コマツナの草丈、葉幅の推移を Fig. 5, Fig. 6, 収穫時の生育比較を Table 3 に示す。夏期、秋期栽培ともに試験初期から処理区の生育は良好であり、対照区に比べ数日早い収穫が可能であった。収穫時には処理区は対照区に比べて草丈で夏期と秋期それぞれ 10%, 7% 増となり、新鮮重で 18%, 11% の増加が見られた。SPAD 値は夏期栽培で処理区: 35.9, 対照区: 36.8, 秋期栽培で処理区: 25.8, 対照

Fig. 6 Changes in leaf length and width in komatsuna plants during the cultivation period in October-November. Vertical lines indicate S.D. (n = 30)

区: 26.2 となり試験区間の有意な差は見られなかった。

遊離アミノ酸分析

遊離アミノ酸総量の推移を Fig. 7 に示す。試験初期から処理区において遊離アミノ酸総量が多く、収穫日の 11/17 には処理区: $13.0 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}\text{FW}$, 対照区: $11.7 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ となった。一方、収穫 2 日後には逆転し、処理区: $12.6 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}\text{FW}$, 対照区: $14.7 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}\text{FW}$ となり対照区において有意に増加した。収穫日と貯蔵 2 日後の遊離アミノ酸含有量を Table 4 に示す。Asp, Ser, Val, Lys, Ile, Leu は貯蔵後に両試験区とも収穫時よりも有意に増加し、Gly では両試験区とも有意に減少した。一方、Glu, Thr, Ala, Phe は処理区においては収穫時と貯蔵後の増減は見られなかったが、対照区では約 1.5 倍となり有意に増加した。

考 察

本試験では、夏期、秋期ともに栽培期間が 3 週間程度であり、両試験区で培養液の pH と EC の差は見られなかった。しかし、長期間の培養液循環利用では、イオン組成の乱れなどにより、pH の急変が起こる可能性がある。石英斑岩はイオン交換反応による pH 緩衝機能を有する (Nakamura *et al.*, 1996) ことから、pH の急変を抑える効果が期待できる。これより、長期栽培に対する効果については今後の課題としたい。

Table 3 Effect of quartz porphyry treatment of nutrient solution on the growth of komatsuna plants at harvest.

Cultivation period		Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Fresh weight (g)	Leaf color (SPAD)
August-September	test	327** (35.9)	95 (12.9)	23.6 (8.4)	35.9 (2.8)
	control	295 (37.0)	93 (16.2)	20.0 (10.4)	36.8 (2.3)
October-November	test	275** (35.1)	78* (14.5)	16.1 (5.6)	25.8 (2.0)
	control	255 (34.8)	73 (13.3)	14.5 (5.8)	26.2 (1.5)

**: significant difference from control at 1%

*: significant difference from control at 5%

() indicates standard deviation

Fig. 7 Changes of total free amino acid contents in komatsuna plants during growing and post-harvest period. Vertical lines indicate S.D. (n = 8)

一方、培養液の粘性も植物の生育に重要な要素である。培養液の粘性は液温に大きく影響を受け、温度が低くなるほど粘性は高くなる。土耕栽培では、地温が低くなると水の粘性が増すとともに、根の生理活性が低下して根の水の通導抵抗が増加し、吸水が低下する (Hirasawa, 1998) ことが知られており、養液栽培に関しても同様の現象が考えられる。すなわち、試験期間中は培養液の温度は 20℃～30℃程度であり、培養液の吸収が阻害されるような温度ではないが、水の移動は水の粘性に支配されているため、粘性は低い方が根による水分吸収も多くなると推察される。本試験では処理区で培養液の粘性が低く、培養液の補給後も常に安定していた。これはタンク内で培養液が処理装置内の石英斑岩の層を通過する際、荷電コロイドの作用により培養液中の水素結合に変化が生じるためと考えられる。石英斑岩を原料とする粒状セラミックスを使用して界面動電処理を行った培養液をコマツナの養液栽培に用いると、培養液の粘性が低下し、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等のイオンの吸収量が増加し、生育が促

Table 4 Contents of free amino acid in komatsuna plants grown with or without nutrient solution treatment by quartz porphyry.

	11/17 (harvest)		11/19	
	test	control	test	control
Asp	1.24	0.94	2.15	2.24
Ser	1.33	1.19	1.68	1.76
Glu	3.38	2.74	3.57	4.17
Gly	1.83	2.21	0.21	0.25
His	1.75	1.51	1.12	1.15
Arg	0.38	0.38	0.53	0.48
Thr	0.48	0.40	0.53	0.65
Ala	1.12	0.96	1.03	1.42
Pro	0.65	0.72	0.41	0.78
Val	0.19	0.15	0.41	0.53
Lys	0.14	0.11	0.24	0.31
Ile	0.22	0.17	0.33	0.39
Leu	0.05	0.05	0.20	0.26
Phe	0.19	0.21	0.20	0.30

(mg 100g⁻¹FW)

進する (Sato *et al.*, 2005) と報告されている。したがって、本実験でも石英斑岩を用いた培養液処理により培養液のイオンの吸収量に影響があったと推察される。今後、粘性の大きさから培養液の水素結合の状態を推定する手法を確立するとともに、イオンの吸収量を定量的に評価する必要がある。

コマツナ可食部中の遊離アミノ酸量は栽培中、収穫時ともに処理区において多く含有されていた。アミノ酸含有量は水ストレスや塩負荷などにより増加し (Hartzendorf and Rolletschek, 2001), Proline 含量が 10～100 倍に増加する (Barnett and Naylor, 1966)。しかしながら、本試験ではストレス処理を行っておらず、また Proline の特異的な増加も見られなかったことから、処理区での遊離アミノ酸の増加の要因はストレスによるものではないと考えられる。一方、収穫 2 日後には対照区において遊離アミノ酸含有量の増加が見られた。

一般に葉菜類では鮮度低下に伴うタンパク質の分解によってアミノ酸含量が増加する (Martin and Thaimann, 1972) といわれている。したがって、本実験では処理区において遊離アミノ酸含有量の増加が抑制されていることからタンパク質の分解が抑えられ、鮮度低下が抑制されていると推察される。しかし、鮮度保持に関しては遊離アミノ酸含有量だけでは評価し難く、クロロフィル、タンパク質、核酸、ビタミン C、糖など他の成分含量の変化 (Hosoda *et al.*, 1979), とくに、青果物の品質は色、腐敗、萎れなどの外観的要因で評価されることが多いことから、貯蔵後の水分含量の減少による萎れ、変色や腐敗などの視覚変化を含めて総合的に評価する必要がある。

摘 要

高品質野菜の周年安定栽培を目的として石英斑岩を用いた養液栽培用の培養液処理装置を作成し、コマツナの NFT 栽培試験を行った。夏期と秋期における試験の結果、培養液を処理することにより、生育は促進され、収穫時の遊離アミノ酸含有量も増加した。処理された培養液の粘度が低下したことにより、培養液の液質に変化が生じコマツナの養水分吸収に影響が現れたと考察される。

引用文献

- Barnett, N. M. and Naylor, A. W. 1966. Amino acid and protein metabolism in Bermuda grass during water stress. *Plant Physiology* 41: 1222–1230.
- Fukasawa, Y. 2000. Features of consumption and purchasing trend of recent vegetable from the viewpoint of the cooperative (in Japanese) (生協からみた最近の野菜の消費・購買動向の特徴). *The vegetable seasonal report* (野菜季報) 71: 31–37.
- Hartzendorf, T. and Rolletschek, H. 2001. Effects of NaCl-salinity on amino acid and carbohydrate contents of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany* 69: 195–208.
- Hirasawa, T. 1998. The dictionary of the root (in Japanese) (根の辞典). Asakura Syoten, Tokyo, 350–352.
- Hosoda, H., Hase, Y., Kurogi, M. 1979. Biochemical

- studies on postharvest quality changes in vegetables Part2: Change in free amino acid content during storage of lettuce (in Japanese) (野菜の収穫後における品質変化に関する生化学的研究, 第2報: レタス貯蔵中における遊離アミノ酸含有量の変化). *Report of National Food Research Institute* 35: 75–79.
- Ishikawa, K., Tanabe, K., Okada, Y., Nagata, M., Gejima, Y., Sakamoto, T., Nakamura, H., Nouno, T., Tamura, R. 1992. A study on activation of water in presence of quartz prophyry (in Japanese) (石英斑岩を用いた水の活性化に関する一考察). *Journal of Kyushu Branch of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 41: 34–39.
- Ishikawa, K., Nakamura, H., Tanabe, K. 1995. Effects of water treated with “Bakuhan-seki” on the growth in plants (in Japanese) (麦飯石処理水の植物生長への影響について). *J. Soc. High Tech. Agric.* 7(2): 72–78.
- Kawano, T., Yoshimura, T., Kawai, M., Ishikawa, K. 2005. Estimation of pollutant adsorption capacity of natural rocks using methylene blue solution (in Japanese) (メチレンブルー溶液を利用した天然岩石の汚染物質吸着能の推定). *J. JSAM* 35(4): 221–228.
- Martin, C. and Thimann, K. V. 1972. The role of protein synthesis in the senescence of leaves. *Plant Physiology* 49: 64–71.
- Nakamura, H., Ishikawa, K., Okada, Y., Tanabe, K., Gejima, Y. 1996. Fundamental Studies on the Activation of Water Using Minerals. Part 1: The examination of the functionalization of the water by the Bakuhan-Seki (in Japanese) (鉱物を用いた水の機能化に関する基礎的研究, 第1報: 麦飯石による水の機能化の検討). *J. JSAM* 58 (2): 57–63.
- Nakamura, H., Ishikawa, K., Okada, Y., Gejima, Y. 1997. Fundamental studies on the activation of water using minerals. part 2: pH-buffer action of water treated by prototype (in Japanese) (鉱物を用いた水の機能化に関する基礎的研究, 第2報: 基礎試験装置で処理した水の pH 緩衝能). *J. JSAM* 59(1): 59–68.
- Sato, K., Ago, M., Ishikawa, K., Sato, T., Okajima, K. 2005. The structure of water induced by specific ceramics treatment and effects of treated water in view of some biological aspects. *Environmental Control in Biology* 43(3): 211–221.