メロンの養液栽培に及ぼす各種イオン交換剤添加の影響

張 洪基・逸見彰男・福山寿雄・橋本 康

愛媛大農学部 790 松山市樽味

Effect of Additional Ion-exchange Materials on Hydroponics of Muskmelons

HongGi JANG, Teruo HENMI, Toshio FUKUYAMA and Yasushi HASHIMOTO

Dept. of Biomechanical Systems, Ehime Univ., Tarumi Matsuyama 790, Japan

Summary

Muskmelons were cultivated with the hydroponics medium (DFT) including selected ion-exchange materials together. Preparation of the culture medium solution was carried out by using the materials such as Ca-artificial zeolite, synthetic zeolite (zeolite synthetic A-3), cation-exchange resin (amberlite IR-120B), anion-exchange resin (amberlite IRA-400) and active charcoal. Aliquot amount 120g of each material was added to 12 liter of nutrition solution.

The results of this research show that fresh weight, plant height and root length of muskmelons cultivated with 120g Ca-artificial zeolite and amberlite IRA-400 in 12 liter of solution were greater than those cultivated with other agents. The cultivation with 120g of zeolite synthetic A-3 and amberlite IR-120B in 12 liter of solution resulted in a restriction on the growth of muskmelons. By adding the ion-exchange materials, the pH buffering capacity of the medium increased significantly against both acid and alkali region. The cation exchange (CEC) capacity of the materials was in the order Amberlite IR-120B (317 meq/100g) > Zeolite synthetic A-3 (262 meq/100g) > Ca-artificial zeolite (235 meq/100g) > Charcoal (141 meq/100g) > Amberlite IR-120B (1 meq/100g).

Mixing Ca-artificial zeolite with nutrient solution can give the greatest ability to facilitate the growth of muskmelons by, improvement the buffer action for the solution, showing that the zeolite promising as one of important materials in hydroponics.

諸 言

養液栽培においては培養液の組成や濃度は根の養分吸収に伴い極端に変動しやすい。培地内の養分組成や濃度に対して緩衝力が弱いので、濃度障害や養分不足などで生育に好ましくない影響が現われることがある。培養液の pH は、植物体の根から出る有機酸などにより変化が大きいため、植物の生育に悪い影響を与える。このため pH の変化が少ない安定した栽培のできる根圏環境を作ることが大切になる。この問題を解決する方法の一つとして、コロイド状溶液を用いた懸濁液耕法がある。この方法は培養液にイオン交換能や緩衝能を付与することで、安定した栽培環境を与えることができる¹⁾。懸濁液耕法は、石炭灰を転換した安価な人工ゼオライトを利用できるので、広く実用化することの可能性が大きく、産業廃棄物(石炭灰)の再利用ができる点で環境

1995 年 10 月 17 日受理

保全にも貢献が大きいと思われる²⁾。しかし、懸濁液耕法における人工ゼオライトの作用の詳細やメカニズムはほとんど解明されていない。

そこで本実験では、陽イオン交換樹脂(Amberlite IR-120B)、陰イオン交換樹脂(Amberlite IRA-400)、陽イオン交換能や緩衝能を持つ人工ゼオライト、イオン交換能および吸着能を持つ合成ゼオライト(Zeolite Synthetic A-3)、吸着能を持つ活性炭(Charcoal)を用いた。これらの資材を培養液に懸濁することで緩衝能力を付与しコロイド状の培養液を調製して、メロンの栽培に対するイオン交換能や吸着能の作用機構を明らかにするために検討した。

材料および方法

供試品種は、温室メロン(*Cucumis melo* L. cv. 'Ear's Favourite')を用いて、1995年5月1日にパーミキュライトに播種し、最低温度21℃にしたガラス温室内で、園試処方培養液(EC 1.5 mS/cm, pH 6.13)を施用して育苗した。5月9日に本葉が1枚展開した苗を12リットルのプラスチックポット(18cm W×18cm H×60cm L)に3株ずつ定植した。育苗中は、電熱線を用いて、栽培期間中にトンネル内で最低夜温を21~25℃に保った。プラスチックポットには、園試処方培養液(EC 1.5 mS/cm, pH 6.13)を12リットル入れ、発砲スチロール板の蓋に、苗がはまる程度の穴を開け、培養液が浸るように苗をはめ込んだ。培養液中への通気はエアポンプとストーンを用いてガラス温室で水耕栽培を行った。処理は、園試処方培養液(EC 1.5 mS/cm)にCa人工ゼオライト、合成ゼオライト、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂、活性炭をそれぞれ120gを12リットルポットに入れて6処理区とした。また、処理したCa人工ゼオライト、合成ゼオライト、アンバーライトIR-120B、アンバーライトIRA-400、活性炭は、園試処方培養液(EC 1.5 mS/cm, pH 5.56)を用いて3時間毎に1回、全8回ずつ洗いながら飽和させた。その後、平温で乾燥した試料を各処理に用いた。

毎朝、吸水によりプラスチックポット内で減少した培養液の量だけ純水を加え、プラスチックポット内の培養液を12リットルに維持した。培地内の培養液の濃度(EC, pH)は毎朝、純水を加えた後に測定した。2日毎に葉長・幅、根長、草丈を調査し、2日毎に培地内の培養液を20 ml ずつサンプリングして保存し、無機成分の分析を行った。ECは電気伝度計(HORIBA B-173)で、pHはpHメータ(HORIBA B-212)で測定した。各成分濃度は原子吸光度法で分析した。陽イオン交換容量(CEC)の測定は、和田および岡村の方法に準じて行った³⁾。

結果および考察

1. 生育

実験終了時の草丈、根長、葉長・幅および生体重をTable 1に示す。草丈は、Control区で20.6 cm>Ca人工ゼオライト区で20.4 cm>陰イオン交換樹脂で20.3 cm>活性炭区で20.0 cm>陽イオン交換樹脂区で16.6 cm>合成ゼオライト区で8.7 cmの順となった。陽イオン交換樹脂区と合成ゼオライト区では草丈の生長を抑制する傾向を示した。根長は、Ca人工ゼオライト区と陰イオン交換樹脂区でそれぞれ91.0 cm, 72.3 cmで大となった。Ca人工ゼオライトは根長を促進する傾向がみられたが、合成ゼオライトや陽イオン交換樹脂や活性炭は根の生長を抑える傾向を示した。根、葉、葉柄、茎の生体重は、Ca人工ゼオライト区や陰イオン交換樹脂区で大となり、合成ゼオライト区で生体重を抑制する傾向がみられた。Ca人工ゼオライトや陰イ

Table 1 Effect of concentration of nutrient solution mixed with Ca-zeolite, charcoal, zeolite synthetic A-3, amberlite IRA-400 and amberlite IR-120B on plant height, root length, total leaf length and width and fresh weight of melons in DFT culture.

Treatment	Plant height	Root length	Total leaf (cm)		Fresh weight (g)			
	(cm)	(cm)	Length	Width	Root	Leaf	Petiole	Stem
Control	20.6	68.3	61.5	62.7	24.0	42.6	17.3	15.0
Amberlite IRA-400	20.3	72.3	64.5	65.3	33.6	55.6	22.3	15.3
Ca-Zeolite	20.4	91.0	73.9	73.2	26.6	40.3	19.3	15.6
Amberlite IR-120B	16.6	25.6	60.5	59.1	12.6	39.6	18.6	12.6
Charcoal	20.0	65.6	51.6	50.9	19.6	33.0	17.3	19.3
Zeolite Synthetic A-3	8.7	16.6	30.3	31.9	3.0	11.6	4.0	0.4

Photo 1 Effect of concentration of nutrient solution mixed with Ca-Zeolite, Charcoal, Zeolite Synthetic A-3, Amberlite IRA-400 and Amberlite IR-120B on appearance of melons growth 17 days after transplanting (27 May, 1995)
Left to right; Zeolite Synthetic A-3, Amberlite IR-120B, Charcoal, Amberlite IRA-400, Ca-Zeolite, Control (EC1.5 mS/cm)

オン交換樹脂は、根長、全葉長・幅や葉、根、葉柄の生体重を促進する傾向を示したが、陽イオン交換樹脂と合成ゼオライトは生育などを抑制する傾向がみられた (Table 1, Photo 1)。

2. 培地内の培養液濃度

培地内の Ca 成分濃度の変化は、合成ゼオライト区や陽イオン交換樹脂区では、合成ゼオライトや陽イオン交換樹脂の吸着により急激に低下をはじめ、栽培終了時までそのまま推移する傾向を示した。陰イオン交換樹脂区では、添加することによりやや増加した後、緩やかに低下を続けた。活性炭区では、栽培期間中にやや低下し、ほぼ一定に推移した。Ca 人工ゼオライト区では、イオン交換作用により、低下したり増加する傾向がみられた。Mg の濃度変化は、合成ゼオライト区や陽イオン交換樹脂区では、Ca と同様に合成ゼオライトや陽イオン交換樹脂の吸着により急激に低下をはじめ、栽培終了時までそのまま推移する傾向を示したが、陰イオン交換樹脂区、

合成ゼオライト区、人工ゼオライト区、活性炭区および Control 区では定植から 8 日目まではほぼ一定に推移し、その後緩やかに低下する傾向を示した。Na の濃度変化は、陽イオン交換樹脂区と合成ゼオライト区では添加とともに 150~200 mg/l まで急激に増加し、その後に栽培終了時までそのまま推移した。Na イオンが生育を抑制したと思われる。Ca 人工ゼオライト区では栽培期間中に 30~50 mg/l の範囲で推移した。Cu の濃度変化は、Ca 人工ゼオライト区で添加とともに 0.06 mg/l まで増加した後に緩やかに低下した。活性炭区では添加とともに低下し、そのまま推移した (Fig. 3)。

3. 陽イオン交換容量 (CEC) および緩衝能

陽イオン交換容量 (CEC) は、陽イオン交換樹脂で 317 meq/100g > 合成ゼオライトで 262 meq/100g > Ca 人工ゼオライトで 235 meq/100g > 活性炭で 141 meq/100g > 陰イオン交換樹脂で 1 meq/100g の順となった。ここで得られた人工ゼオライトの CEC 値は、市販されている天然ゼ

Fig. 1 Changes in the pH water made with mixture of Ca-zeolite, synthetic zeolite A-3, amberlite IR-120B, amberlite IRA-400 and charcoal when 0.01 N HCl was added to 100 ml of the medium (A) and when 0.01 N HaOH was added to 100 ml of the medium (B).

Fig. 2 Changes in the pH of culture medium made with mixture of Ca-zeolite, synthetic zeolite A-3, amberlite IR-120B, amberlite IRA-400 and charcoal when 0.01 N HCl was added to 100 ml of the medium (A) and when 0.01 N HaOH was added to 100 ml of the medium (B).

Fig. 3 Changes of concentration of Ca, Mg, Na and Cu element in medium solution during the experiment.

—■— Zeolite synthetic A-3 —□— Amberlite IRA-400
 —●— Amberlite IR-120B —○— Ca-Zeolite
 —△— Charcoal —▲— Control

オライトが 150 meq/100g 前後であることを参考すると、かなり大きかった (Table 2)。

園試処方培養液に人工ゼオライト、合成ゼオライト、陰イオン交換樹脂、陽イオン交換樹脂、活性炭を用いて 0.01 N HCl および 0.01 N NaOH を添加して pH の変化を調べた結果、陰イオン交換樹脂、陽イオン交換樹脂や培養液を入れた培地では緩衝能がもっとも低く、人工ゼオライトや活性炭の培地で緩衝能がもっとも高く現われた (Fig. 2)。これは純水を用いた培地でも同様な傾向を示した。

人工ゼオライトを懸濁することにより、培養液に緩衝能を付与されることにより pH 安定することが明らかとなった (Fig. 1, 2)。養液栽培に用いる培養液の pH は様々な要因によって影響され変化しやすいという問題があり、この主な原因は、陽イオンと陰イオンの不平等な吸収などが考えられる。培養液の pH は、水素イオン $[H^+]$ 濃度の尺度であり、 H^+ が多い (水酸化物イオン $=OH^-$ が少ない) 場合には pH が低くなり、逆の場合には pH が高くなる。また養液栽培で培

Table 2 Cation exchange capacity (CEC)

Type of materials	CEC(meq/100 g)
Ca-Artificial Zeolite	235
Mg-Artificial Zeolite	201
Na-Artificial Zeolite	206
Zeolite Synthetic A-3	262
Amberlite IRA-400	1
Amberlite IR-120B	317
Charcoal	141

養液を新しく作成した時は緩衝能が低いので pH の変動が大きい。養液栽培でのこの問題点を人工ゼオライトやイオン交換樹脂を培養液に懸濁することで緩衝能を付与して改善できることが明らかとなった。培養液中に存在するイオンは、 K^+ のような 1 価の陽イオンは Ca^{2+} や Mg^{2+} のような 2 価(または多価)の陽イオンよりも吸収速度が早い。陰イオンも同様であり 2 価の SO_4^{2-} よりも 1 価の NO_3^- イオンが吸収速度が早い。このように植物は、陽イオンと陰イオンに対して選択的イオン吸収を行うので、 Ca^{2+} や Mg^{2+} のような吸収が遅い陽イオンが 1 価の NO_3^- のような陰イオンと共存すると、陰イオンのほうが陽イオンより多く吸収される。その時、培養液からあるイオンが吸収されると、植物の根はそれと同じ電荷の別種イオンを培養液に排出して電気的平衡を維持する。陽イオンを吸収すれば正電氣的等価量の H^+ を、陰イオンを吸収すれば負電氣的等価量の OH^- (水酸化物イオン)あるいは重炭酸イオンを外に出す。その結果、培養液の水素イオン濃度が変化することになる⁴⁾。

陽イオン交換容量(CEC)は、施肥によって供給される植物栄養に必要な多量および微量元素を保持し得る培地の能力を表している。土耕栽培ではこの能力は、土壤に含まれる粘土や腐植などのコロイド成分により発揮される。しかし、養液栽培での培養液にはこのような能力は全くない。根が接触している DFT および NFT 方式、天然鉱物資材で作られたロックウールの培地でも CEC はほぼ 0 meq/100g である⁵⁾。イオン交換能を有する各種資材のうち、陽イオン交換容量(CEC)が高い人工ゼオライトを培養液に懸濁することで改善される効果は大きい。Ca 型人工ゼオライトの CEC 値は 230 meq/100g 程度で天然ゼオライトが 150 meq/100g 前後であることを参考すると⁶⁾、かなり大きいからである。

陽イオン交換樹脂、合成ゼオライトおよび人工ゼオライトを培養液に添加するとともに葉にクロロシス(葉緑素の欠如)が生じた。人工ゼオライトでは 2~3 日間にクロロシスが生じた後、徐々に回復する傾向がみられたが、陽イオン交換樹脂、合成ゼオライトでは栽培終了時まで続く傾向がみられた。この原因は、Mg イオンと Na イオンに関係があると考えられる。陽イオン交換樹脂、合成ゼオライトでは、培養液に懸濁すると Mg イオンが急激に低下する傾向がみられている。これは陽イオン交換樹脂、合成ゼオライトにより Mg イオンが強化され、Mg 欠乏により植物の葉にクロロシスが生じたためと思われる。また、陽イオン交換樹脂、合成ゼオライトでは、ナトリウムイオンが過剰に存在したため植物にクロロシスを引き起こし⁷⁾、生育を阻害するだけではなく、培養液に含まれているコロイド状物質を徐々にナトリウム型に変化させた可能性が考えられる(Fig. 3)。人工ゼオライトでは数日間にわたりクロロシスが生じたのは Mg の欠乏ではなくて、ナトリウムイオンの存在による葉緑素の欠如が原因と思われる。人工ゼオライトは、石灰灰をゼオライトに転換する時に水酸化ナトリウムと反応させるので、ゼオライトはその負電

荷部位をナトリウムイオンで飽和されているためナトリウム型人工ゼオライトになっている。このため、多量の人工ゼオライトの施用により、培養液に対して好ましくない副作用が生じたと考えられる。Ca 人工ゼオライトを培養液に懸濁する場合の適量は 4~8g/L であり²⁾、本実験では 10g/L を懸濁した量はやや多い量であることが原因と思われる。

今後課題として、Mg 人工ゼオライトと Ca 人工ゼオライトを組合せて用いることにより、養液栽培に適した人工ゼオライトを組成を見い出し、イオン交換能がほとんどないロックウール培地などに適応して検討することが必要である。

引用文献

- 1) 逸見彰男・福山寿雄：懸濁液耕栽培，特許公開番号 119936，出願番号 1-259407(1991)。
- 2) 張 洪基・逸見彰男・李 徳倍・福山寿雄・橋本 康：人工ゼオライト(アルカリ処理した石炭灰)の養液栽培への有効利用(第1報)培養液への Ca および Na 型人工ゼオライト添加がトマトの生育・吸収に及ぼす影響。植物工場学会誌，7(2)：97~102(1995)。
- 3) Wada, K., Okamura, Y.: Proceedings of the International Seminar on soil Environment and Fertility Management in Intensive agriculture, Tokyo, p 811(1977)。
- 4) 池田英男：生物環境の基礎・pH の変化要因，「生物環境調節ハンドブック」，p. 63~64(1995)。
- 5) Lemaire, F.,: Physical, chemical and biological properties of growing medium. Acta Hortic, 396, 273~284(1995)。
- 6) 上松敬禧・高見沢行雄・田中良修：ゼオライト化学・イオン交換樹脂，「イオン交換・高度分離技術の基礎」，p. 82~93 p. 255~269(1995)。
- 7) 逸見彰男：イオン交換機能を活用した有効利用法「産業廃棄物のゼオライト転換による再資源化・有効利用技術開発」p. 73~147(1994)。