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2報)

——温室メロンの育苗期におけるCa型人工ゼオライト添加が生育に及ぼす影響——

張 洪基・福山寿雄・逸見彰男・橋本 康

愛媛大農学部 790 松山市樽味

The Application of Artificial Zeolite(alkali-treated coal ash)to Hydroponics(Part 2)
Effects of Ca Artificial Zeolite Addition to the Nutrient Solution
on the Growth of Seedling Time of Muskmelons.

HongGi JANG, Toshio FUKUYAMA, Teruo HENMI and Yasushi HASHIMOTO

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

Summary

This research examined the effects of Ca-artificial zeolite and nutrient solution on the growth of seedling time of muskmelons. The Ca-artificial zeolite was obtained from industrial waste, called coal ash. Various nutrient solutions were prepared according to the concentration of Ca-artificial zeolite the, i. e. Ca-zeolite 50 g, 100 g, 200 g, or 300 g in 12 liter of the solution.

The results of this research show that fresh weight, plant height and root length of muskmelons cultivated with of 50 g and 100 g Ca-artificial zeolite in 12 liter of solution were greater than those of others. On the other hand it can be depicted that the pH of nutrient solution became stable by adding the Ca-artificial zeolite. The cultivation with 200 g and 300 g of Ca-zeolite in 12 liter of solution resulted in a restriction on the growth of muskmelons. The optimum amount of Ca-artificial zeolite was 50 g and 100 g in 12 liter of solution. Mixing Ca-artificial zeolite with nutrient solution can greatest weak point that can not find in hydroponics, improve the weakness of buffer action for the solution, showing that the zeolite is promising as one of important materials in hydroponics.

緒 言

養液栽培は、生育管理に自動化が可能であり、省力的な栽培方式なので、植物工場の基盤となる方法である。しかし、培養液の管理に専門的知識を要するなど難しい問題が残されている。すなわち、培養液組成や濃度は、根の養分吸収に伴い極端に変動しやすい。組成や濃度に対して緩衝力が弱いので、濃度が高くなった時に濃度障害、濃度が低い時には養分不足が引き起こされ、生育が抑制される傾向がみられる¹⁾。また植物体の根から出る有機酸などにより培養液のpHは変化が大きいので、植物の生育に悪い影響を与えることがある。このため、水素イオンなどが培

1995年7月14日受理

養液に入ってきてても pH などがあまり変化しない安定した栽培の根圏環境を構築することが必要と考えられる。張らは、人工ゼオライトを培養液に添加することによって、イオン交換能、緩衝能力を付加された懸濁状態の培養液を作り出すことにより、トマトの生育及び養分吸収を増加させ pH 安定させる栽培法を報告している^{2,3)}。しかし、その添加の適量は明らかではない。

本研究は、Ca 型人工ゼオライト添加する適量を検討するため、温室メロンの育苗期における培養液への人工ゼオライト添加が生育に及ぼす影響を調査した。

材料及び方法

供試品種は、温室メロン(*Cucumis melo* L. cv. 'Ear's Favourite')を用いた。これを1995年5月1日に園試処方培養液(EC 1.5 mS/cm, pH 6.13)を飽和させたバーミキュライトに播種し、最低温度 21°C 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(18 cm W×18 cm H×60 cm 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°C 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)を12リットル入れ、発泡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 DFT (Deep Flow Technique) の水耕による栽培を行った。培養液は純水を用いて作成した。処理は、園試処方培養液(EC 1.5 mS/cm)に Ca 人工ゼオライトを 50 g, 100 g, 200 g, 300 g/12 リットルを入れて5処理区とした。処理した Ca 人工ゼオライトは、園試処方培養液(EC 5.0 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 Ca ゼオライトを各処理に用いた。

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。生育は定植した日より2日毎に葉長・幅、根長、草丈を調査した。栽培終了時に、植物体(葉、葉柄、根、莖)の生体重を測定した。培地内の培養液も定植した日より2日毎に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 は電気伝度計で、pH は pH メータで測定した。Ca, Fe, Zn, Cu, Na の成分濃度は原子吸光度法で分析した。NO₃-N は紫外外部吸光度法、NH₄-N はインドフェール法により、PO₄-P はバナドモリブデン酸法により比色定量した。

結 果

実験終了時の草丈、根長、葉長・幅及び生体重を Table. 1 に示す。草丈は Control 区が 20.6 cm であったのに対して 50 g, 100 g 区でそれぞれ 24.3, 23.6 cm となり、増大していた。200 g 区、300 g 区では草丈の生長を抑制する傾向がみられた。全葉長・幅でも草丈とほぼ同じ傾向を示した。根長は Control 区よりも Ca ゼオライトを加えた区で大となった。根、葉、葉柄、莖の生体重は 50 g 区 ≥ 100 g 区 ≥ Control 区 > 200 g 区 > 300 g 区の順となった (Table 1, photo 1)。温室メロンの育苗期の生育は、Ca ゼオライト 50 g 及び 100 g/12 L を加えた処理区で最大となる傾向を示したが、多量の Ca ゼオライトを加えた 200 g 区、300 g 区では Control 区より生育が抑制される傾向がみられた。

Table1. Effect of concentration of nutrient solution mixed with Ca-Zeolite 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	75.4	76.5	24.0	42.6	17.3	15.0
Ca-Zeolite 50 g/12 L	24.3	78.3	82.9	83.7	29.0	49.3	25.3	19.3
Ca-Zeolite 100 g/12 L	23.6	95.3	83.6	83.2	29.6	41.3	20.6	17.0
Ca-Zeolite 200 g/12 L	16.3	82.3	67.6	68.2	28.6	32.0	17.0	11.6
Ca-Zeolite 300 g/12 L	14.0	78.3	64.4	63.7	24.6	29.6	15.6	10.0

Photo. 1 Effect of concentration of nutrient solution mixed with Ca-Zeolite on appearance of melons growth 17 days after transplanting (27 May, 1995)

Left to right; Control (EC 1.5mS/cm), Ca-Zeolite 50 g/12 L, 100 g/12 L, 150 g/12 L, 200 g/12 L, 250 g/12 L, 300 g/12 L

栽培期間中の培地内の溶液の pH 及び EC の経時的変化を Fig. 1 に示す。培地内の pH は、Ca ゼオライト処理区では処理した日(定植から 3 日目)からやや増加し、その後、そのままほぼ同じ値で推移する傾向を示し、栽培終了時にはその差が少なくなった。Control 区では、定植から徐々に増加し、定植 5 日目から緩やかに低下しはじめ、10 日目から再び増加する傾向を示した。培地内の溶液の EC は、Ca ゼオライト処理区では処理した日(定植から 3 日目)から増加しはじめ、その後、緩やかに低下する傾向を示した。Control 区では、定植から 8 日まで一定に推移し、その後、実験終了時まで低下を続けた (Fig. 1)。

培地内の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 及び Ca 濃度の経時的変化を Fig. 2 に示す。 $\text{NO}_3\text{-N}$ では、Control 区では定植から 6 日目まで一定に推移し、その後、急激に低下しはじめ、栽培終了時まで続けた。Ca ゼオライトを加えた処理区ともに定植 6 日後から緩やかに低下し、栽培終了時に

Fig. 1 Changes of pH(upper) and EC(lower) of medium solution during the experiment.

は Control 区 $\geq$ 50 g 区 $>$ 100 g 区 $>$ 200 g 区 $>$ 300 g 区 の順となった。NH₄-N では、栽培前期には 300 g 区 $>$ 200 g 区 $>$ 100 g 区 $>$ 50 g 区 $>$ Control 区 の順となったが、栽培後期にはその差がなくなった。これは Ca ゼオライトを加えることで栽培前期における NH₄-N の吸収促進したためと思われる。PO₄-P は、Control 区では定植 4 日目から急激に低下し、その 2 日後にはほぼ 0 me/l となった。Ca ゼオライトを加えた区では緩やかに低下した (Fig. 2)。培地内の Fe, Zn, Cu, Na 濃度の経時的变化を Fig. 3 に示す。Fe は、栽培期間中に 0.15 mg/l ~ 0.18 mg/l の範囲で推移する傾向を示した。Ca ゼオライトを加えた処理区では定植から緩やかに低下しはじめ、10 日目から徐々に増加する傾向を示した。Zn は、Ca ゼオライトを加えた処理区では定植から急激に

Fig. 2 Changes of concentration of NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P and Ca element in medium solution during the experiment.

低下し、その後にはほぼそのまま推移する傾向を示したが、Control区では定植から栽培終了時にかけて緩やかに低下をつづけた。Cuは、Caゼオライトを加えた処理区では徐々に増加を続け、栽培後期には緩やかに低下した。Naは、Caゼオライトを増加につれて300g区>200g区>100g区50g区>Control区の順となった(Fig. 3)。

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

考 察

産業廃棄物である石炭灰を人工ゼオライト転換して温室メロンの育苗期における養液栽培に用いた結果、生育を増大させることが明らかになった。これは、張らのトマトを用いて養液栽培した結果(Ca人工ゼオライト4 g/1 L)とほぼ一致する傾向を示した^{2,3)}。本実験で、温室メロンの

育苗期における生育をみると、Ca 人工ゼオライト 50 g 及び 100 g/12 L を加えた処理区で大となる傾向を示した。多量の Ca 人工ゼオライトを加えた 200 g 区、300 g 区/12 L では Control 区より生育を抑制する傾向がみられた (Table. 1)。このことは、過剰量の人工ゼオライトは $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収を抑制するためだと思われる。温室メロンの生育は、適量の人工ゼオライト添加によって促進されるが、過量添加では抑制されることを示す。したがって、人工ゼオライトを培養液に加える場合、1 リットル当たり 4~8 g (50 g 区、100 g 区) が懸濁培養液に適した量であることがわかった。また、pH の変動も Control 区培養液でかなり大きいものに対して、人工ゼオライトを添加による懸濁培養液では小さくなることがわかった (第 1 図)。養液栽培で用いる培養液の pH は様々の要因によって影響され変化するが、主な要因は陰イオンと陽イオンの不均等な吸収などである。人工ゼオライトは陽イオン交換容量 (CEC) が約 200 meq/100 g と大きいので、 H イオンと他の陽イオンの適切なイオン交換作用によって、pH を安定するものと考えられる。培養液に人工ゼオライトを懸濁することで、培養液の pH に対して緩衝力が付与されることが明らかとなった。これは養液栽培において培養液が持つ最大の欠点の一つである緩衝能力の低さを改善することであり養液栽培での新しい道を開くことになるだろう。

Ca 人工ゼオライトを 200 g/12 L、300 g/12 L を加えることにより植物体の $\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収は抑制されることを前に述べた (Fig. 2)。実際、温室メロンの養液栽培では、栽培技術的には目的とする生産物である果実に希望する形状や品質を与えるため、交配期に窒素の吸収を制限して上位葉の肥大過多を抑え、着果葉付近まで光が十分に届くように植物体の姿を制御する必要があると報告している⁴⁾。また窒素制限により下位葉への光の透過性が良好となり、果実の大きさは影響を受けずに可溶性固形物含量が高まると報告している⁵⁾。これらの報告は、栽培のある期間を窒素の吸収を抑えることで、栽培環境を好都合にし、高品質の果実を得る技術的方法を述べたものである。しかし、窒素の吸収だけを抑制し、他の栄養素はそのままあるいは吸収促進させるのは実際には技術的にかなり困難である。この場合、人工ゼオライトは $\text{NO}_3\text{-N}$ の吸収だけを抑えるため、適量のゼオライトを交配期に添加する栽培方法は果実の品質及び収量に良い結果を招くと期待される。

Ca 人工ゼオライトを培養液への添加することで根長が Control 区に比較して長く伸びることがわかった (Table. 1)。この理由は次のように考えられる。土壌は多様な化学的機能を有する栽培環境を与える。つまり、土壌環境には吸着・イオン交換などの栽培にとって有利な機能が含まれている。吸着・イオン交換などの物理化学的機能は、土壌粒子に限らず、粒子径が $1\ \mu\text{m}$ 以下の微粒子になると、多くの物質はコロイドの性質を帯びようになり、粒子表面が荷電して分子やイオンを吸引する性質を持つようになる結果、現われてくることがわかっている。人工ゼオライトは、すでに粒子径が $1\ \mu\text{m}$ 以下の微粒子であり、コロイド状の状態になるため根の生育にとって好都合であったと思われる。また、人工ゼオライトはテクトケイ酸塩構造をとっており^{6,7)}、その構造は多孔質であるためにイオン吸着保持し、イオン交換能の作用により根の生育を促進せたと考えられる。

本実験では、温室メロンの育苗期における培養液への Ca ゼオライト添加が生育に及ぼす影響を調査し、添加の適量値を明らかにしたが、その詳細なメカニズムは不明な点が少なくない。今後、次の課題として温室メロンの全栽培期間中に人工ゼオライトを用いて試験し、メカニズムについて検討する必要がある。

引用文献

- 1) 張 洪基・糠谷 明: 温室メロンのロックウール栽培における培養液管理に関する研究(第3報) 春作における培養液の組成・濃度と生育及び養分吸収の関係, 園学雑 64 別 1: 224~245(1995).
- 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 及び 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) 張 洪基・福山寿雄・李 徳倍・逸見彰男・橋本 康: 養液栽培における Ca 及び Na 型人工ゼオライト(アルカリ処理した石炭灰)添加がトマトの生育, 養分吸収に及ぼす影響, 生物環境調節学会講演要旨, 370~371(1995).
- 4) 中村和重・山崎邦典: マスクメロンのロックウール栽培における定植床の種類と窒素の供給制限が果実品質に与える影響, 土肥誌, 61: 369~375(1990).
- 5) 龍橋 梧・狩野広美・景山美葵陽: 養分吸収制限が秋作および春作における温室メロン生育及び果実に及ぼす影響, 園学雑, 50: 306~316(1981).
- 6) 加藤忠蔵: ゼオライトのイオン交換と吸着特性, 化学と工業, 21: 79~89(1968).
- 7) 逸見彰男: 石炭灰原料にする人工ゼオライトの合成と性伏, 平成 2, 3 年度科学研究費補助金(試験研究 B-2)愛媛大農学部研究成果報告書, p. 9~11(1992).