

培養液中 Ca 濃度が根域制限栽培したトマト果実の水溶性 Ca 濃度と尻腐れ果発生に及ぼす影響

吉田 裕一・新開 礼・大山 光男・村上 賢治
後藤丹十郎

(応用植物科学コース)

Incidence of Blossom-end Rot in Relation to Water-soluble Ca Concentration in Tomato Fruits as Affected by Ca Nutrition under Root Restriction

Yuichi Yoshida, Aya Shingai, Mitsuo Ooyama, Kenji Murakami
and Tanjuro Goto

(Course of Applied Plant Science)

The rate of absorbed Ca to N was less than half of Enshi or Hoagland solution in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) grown with restricted root zone volume in previous experiments. Tomato plants were grown in plastic pots containing 250 or 500 ml of peat based medium with modified Enshi solutions containing 1, 2 or 4mM of Ca. The solutions were prepared by replacing a part of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ to NH_4NO_3 . Although Ca concentration was higher than 2mM in drainage collected from plants supplied 1mM Ca solution, absorbed amount of Ca was very small and severe symptom of Ca deficiency was observed. Incidence of blossom-end rot (BER) increased with decrease in Ca concentration of the solution and yield decreased to 50% and 36% of 4mM control, in 2mM and 1mM plots, respectively. Among fractionated Ca in stem of lateral shoot, decrease in water-soluble fraction was remarkable compared to 1N NaCl- or 0.6N HCl-soluble fractions. Tomato plants were then grown with modified solutions containing 1~4mM of Ca and fractionated Ca was determined for distal half of fruits. With decrease in solution Ca, fruit Ca decreased in all fractions, and days to BER incidence after flowering also decreased. Significant relationship was found only between the water-soluble Ca concentration in fruit tissue and rate of BER incidence. Thus water-soluble Ca in tomato fruit may closely relate to BER incidence, and an efficient tool to estimate the potential risk of BER may possibly be developed by determining the Ca fraction in the stem of lateral shoots.

Key words : BER, Ca absorption, Ca fractions, dripfertigation, Enshi solution.

緒 言

トマトの養液栽培においては、従来から園試処方やそれに準じた組成の大塚A処方などが利用されることが多い。園試処方は、Hoagland 処方²⁾をもとにしてトマトのれき耕栽培用に開発された処方であり、必須元素以外の成分を含まず、葉菜類や花きを含めてトマト以外にも様々な植物の栽培に広く利用されている。水耕栽培されたトマトは園試処方に近い比率で多量要素を吸収することが報告されているが¹⁾、水耕栽培においても果実収穫期にはCaやMg吸収が低下するため、培養液の組成に乱れが生じる⁴⁾。水耕栽培でpHとEC値を基準として長期的に培養液の調整を続けた場合、窒素を中心に3要素が不足して成長が抑制されることがあるため、一定の頻度で培養液を更新することが推奨されている¹²⁾。水耕栽培で培養液中に蓄積したCaやMgによってこれらの過剰

障害が発生することはほとんどないが、現実にはかなりの量がトマトに吸収されることなく排出されていることになる。

著者らは、日射比例給液制御によって少量多頻度給液を行って根域の養水分を安定させれば、株あたり250ml程度の根域容量で高糖度のトマト果実を生産することが可能であることを明らかにした^{13,14)}。このとき培養液中CaとMgの多くが排液とともに排出され、Nに対するCa、Mgの見かけの吸収比率はN 11.5 mM : Ca 0.77 mM : Mg 0.61 mM = 100 : 6.7 : 5.3であり(未発表)、園試処方(N 17.3 mM : Ca 4 mM : Mg 2 mM = 100 : 23.3 : 11.6)やHoagland 処方(N 15 mM : Ca 5 mM : Mg 2 mM = 100 : 33.3 : 13.3)の組成と比較するとNに対する比率は半分以下であった。石原ら³⁾もスギ皮を培地とした場合、ト

Received October 14, 2012

マトの生育が進むにしたがって培地中の Ca, Mg 濃度が高まり, P, K の濃度が低下することを明らかにしている。根域制限条件下において点滴栽培を行った場合にも, 多量の Ca と Mg が排出されることが確認されており, 固形培地を用いた栽培では実際の Ca や Mg の吸収量がきわめて少ないという可能性が高い。

これらのことから, Ca と Mg の濃度を低下させた培養液を用いてトマトを栽培することにより, 培養液コストの削減と環境負荷の低減が可能と考えられた。実際に, 隔離ベッドや養液土耕においては N に対する Ca, Mg の比率が 50% 以下の複合液肥 (大塚化学, OK-F-1) を利用した栽培が行われており⁷⁾, ポットで苗を育成する場合には 3 要素のみを含む液肥や化成肥料で十分な成長量が確保されることも多い。ただし, トマトについては, 5 月以降の高温期や梅雨明け後には尻腐れ果が発生しやすいことから, Ca 不足に起因する生理障害が発生する可能性も否定できない。養液土耕やポット育苗の場合には培地に苦土石灰などが投与されており, その寄与も大きいと考えられることから, 実際に根域制限条件下で栽培を行い, Ca などの欠乏症状発生の有無について検証する必要があると考えられた。

そこで, 根域制限下での長段穫り栽培における Ca 欠乏症状発生の有無について検証するため, 園試処方 (Ca 濃度 4 mM) を対照として, 培養液中の Ca と Mg 濃度を低下させ, 全窒素濃度が等しくなるように $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を NH_4NO_3 に置換した培養液の施用がトマトの Ca 栄養と果実品質と収量に及ぼす影響について検討した。その結果, 低 Ca 濃度培養液を施用するとトマト植物体の Ca 濃度が低下して Ca 欠乏症状が発生し, 尻腐れ果が多発することが確認された。そこで, 培養液中の Ca 濃度がトマト果実の形態別 Ca 濃度と尻腐れ果発生に及ぼす影響についてさらに調査したところ, 注目すべき結果が得られたので取りまとめて報告する。

材料および方法

実験 1. 長段栽培における低 Ca 濃度培養液の施用が尻腐れ果発生と植物体の Ca 栄養に及ぼす影響

‘ハウス桃太郎’ (タキイ種苗) を 2002 年 10 月 8 日にバーミキュライトに播種し, 10 月 29 日に 12 cm (培地容量 500 ml) と 9 cm (250 ml) ポリポットに移植した。培地にはイチゴ育苗培土 (ピートモス 2 : ロックウール細粒綿 1 : パーライト 1, 住化農業資材) を用いた。育苗は最低気温 10°C, 最高気温 28°C に維持したプラスチックハウスで行い, 適宜 OK-F-1 (大塚化学) 1,000 倍液を施用した。既報¹³⁾と同様に条間 115 cm, 高さ 40 cm の架台上に株間 30 cm で設置した。第 1 花房が開花し始めた 12 月 17 日から Ca と Mg の濃度を標準 (100%, 4 mM), 50%, 25% とする 3 処理区 (第 1 表) を設けて処理を開始した。実験にはポット 2 水準 × 培養液 3 水準 × 8 個体の合計 48 個

Table 1 Concentration of macro nutrients in standard (100%) and modified Enshi solution (mmol/L)

Ca·Mg Conc. ^z	N			P	K	Ca	Mg	SO ₄
	NO ₃	NH ₄	Total					
100%	16	1.3	17.3	1.3	8	4	2.0	2.0
75%	15	2.3	17.3	1.3	8	3	1.5	1.5
50%	14	3.3	17.3	1.3	8	2	1.0	1.0
25%	13	4.3	17.3	1.3	8	1	0.5	0.5

^zRelative value of Ca and Mg compared to Enshi standard solution.

* Micro nutrients were added as Hoagland and Arnon (1950).

体を供試した。なお, 本実験の標準培養液区は既報¹³⁾と同一のものである。週 3 回給液量と排水量を調査し, 標準培養液を施用した 12 cm ポット区の排水率 5 ~ 15% (排水量/給液量) を目標として培養液を日射比例給液した。排水は 1 週間分を集めて無機養分濃度を測定し, 給排水量から見かけの吸収量を算出した。給液には吐出量 2 L/時 (0.1MPa 時) のボタン型ドリッパー (Netafim) を用い, 成長に伴う葉面積の増加に合わせて 1 回あたりの給液時間と前回の給液から次の給液までの積算日射量の設定値を変更して日射量あたりの給液量を調整し, 排水率を維持した。

各花房第 2 花開花時に 4-CPA (トマトトーン 100 倍液) 処理を行い, 4 番花以降の蕾を摘除した。第 9 果房上 2 葉を残して摘心した。腋芽は適宜除去したが, 第 4, 8 果房直下の腋芽はシュート長が約 10 cm になった時点で採取し, 後述する果実と同様に Ca を抽出・分画して濃度を測定した。また, 5 月 10 日に第 3, 6, 9 果房直下の葉の先端小葉を採取して同様に Ca 分析を行った。完熟果を収穫して果実重を測定し, 第 1, 3, 5, 7, 9 果房から無作為に 5 果を選んで屈折糖度計で可溶性固形物濃度を測定した。尻腐れ果は発生を確認した時点で記録して除去した。収穫直前に発生した裂果については記録したが, 放射状裂果やチャック果, 窓あき果などの異常果については特に分別しなかった。

実験 2. 低 Ca 濃度培養液の施用が果実中の形態別 Ca 濃度と尻腐れ果発生に及ぼす影響

2003 年 7 月 3 日に ‘ハウス桃太郎’ を播種し, 7 月 16 日に 9 cm ポリポット (培地容量 250 ml) に移植した。個体間で光条件に差が生じないように雨よけハウス内の架台に条間 200 cm, 株間 50 cm で 1 処理区 4 個体として 16 個体を 2 列に配置した。8 月 6 日に第 1 表に示した 4 種類の培養液の施用を開始した。培養液施与量は, Ca 4 mM を含む標準培養液区の排水率 10% を目標に実験 1 と同様に調節した。花房の摘花, ホルモン処理も同様に行い, 第 3 果房の上 2 葉を残して摘心した。Ca, Mg 濃度がもっと

も低い25%区の第1果房で開花10日後の果実に尻腐れ果発生が確認されたため、外観上尻腐れ果の症状が認められない果実を選び、開花10日後に各果房から1果ずつ合計4果採取し、後述のとおり果頂部側半分からCaを抽出、定量した。ただし、25%区の第1, 3果房についてはそれ以前に尻腐れ症状を発生する果実が多かったため、分析した果実数は3果にとどまった。残った果実については尻腐れ果の発生を調査し、発生日を記録した。

植物組織からの形態別 Ca の抽出

採取した果実は、赤道部で2分して果頂部側の新鮮重を測定し、15 mlの遠沈管に入れ、99%エタノール10 mlを加えて4℃で貯蔵した。先端小葉と腋芽の茎についてはそれぞれ約1 gを正確に秤量した後、同様にエタノールを加えて貯蔵した。貯蔵した試料を室温に戻し、超音波洗浄機で5分間処理し、引き続き振とう器で30分間(60~80 rpm)抽出した後上澄みをビーカーに採取した。残渣に純水10 mlを加えて超音波5分一振とう30分の抽出を3回繰り返し、上澄みをエタノール抽出液とともにビーカーに集めた。得られた抽出液を80℃の乾燥機中で乾固した後、0.6N HClで50 mlの定容として水溶性画分とした。残渣に1N NaOH 10 mlを加えて同様の抽出操作を4回繰り返し、集めた抽出液を同様に乾固した後、0.6N HClで50 mlの定容としてNaCl可溶性画分とした。残渣に0.6N HCl 10 mlを加えて同様の抽出操作を4回繰り返し、メスフラスコに集めた抽出液を50 mlの定容としてHCl可溶性画分とした。それぞれの抽出液とLa 2000 ppmを含むLaCl₃・7H₂O水溶液(5.36 g/L)の1:1混合液中のCa濃度を原子吸光光度計で定量し、

組織中のCa濃度を算出した。

寺林ら¹⁰⁾とMinamideら⁵⁾は、太田ら⁶⁾と同様にトマト果実から酢酸可溶性画分とHCl可溶性画分とを分別して抽出しているが、酢酸可溶性画分についてはトマトの尻腐れ果発生との間に一定の関係が認められていない¹⁰⁾ことから、本実験ではまとめてHCl可溶性画分として抽出した。

結果および考察

実験1. 長段栽培における低Ca濃度培養液の施用が尻腐れ果発生と植物体のCa栄養に及ぼす影響

収量には、根域容量による差が認められず(Fig. 1)、第5果房から上段では可溶性固形物濃度が10%を超える果実が得られた(データ省略)。第3, 5, 7果房では9 cmポット区が12 cmポット区より有意に可溶性固形物濃度が高くなったが、いずれの果房においても培養液処理区間に有意な差は認められなかった(2元配置分散分析)。第1, 2果房ではいずれの処理区においても尻腐れ果の発生は認められず、果実収量にもほとんど差が認められなかった。しかし、低Ca濃度区では上位の果房で尻腐れ果が多発し(Fig. 2)、50%区と25%区の収量はそれぞれ100%区の約半分と3分の1に低下した。25%区では第4果房より上段の果実は全て尻腐れ果となったため、第9果房開花の約2週間後(4月16日)に栽培を打ち切った。50%区においても9 cmポット区では1月中旬に開花した第3果房から、12 cmポット区では2月上旬に開花した第5果房から尻腐れ果が多発して果房当たりの収穫量が100 g/株未満となり、第6~9果房では両処理

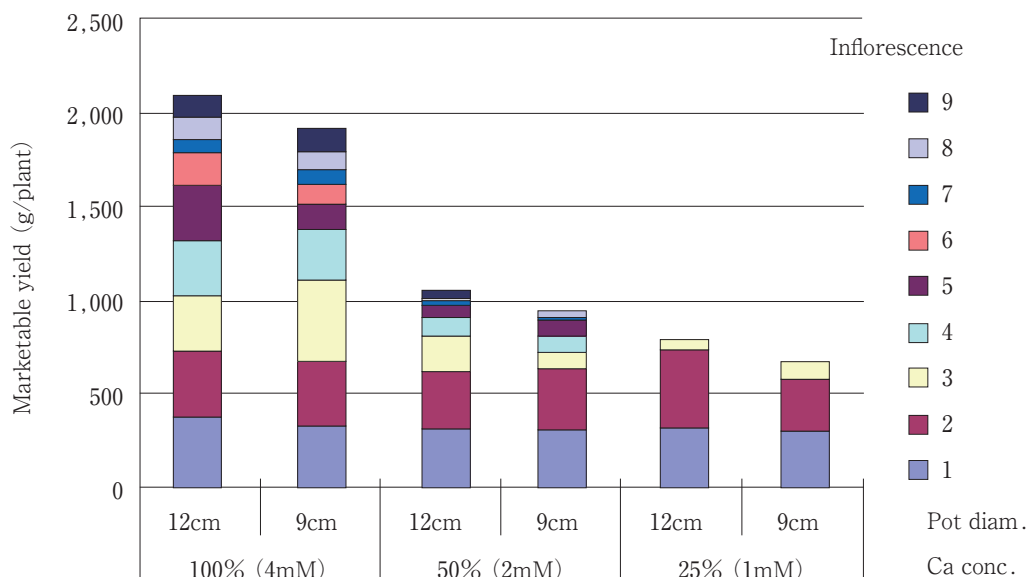


Fig. 1 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on fruit yield of 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control.

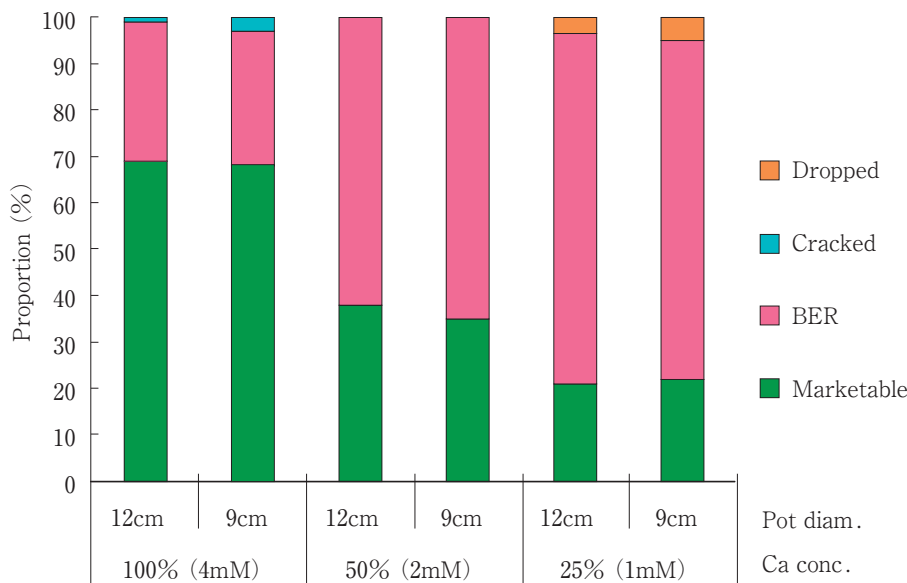


Fig. 2 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on the incidence of blossom-end rot of 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control.

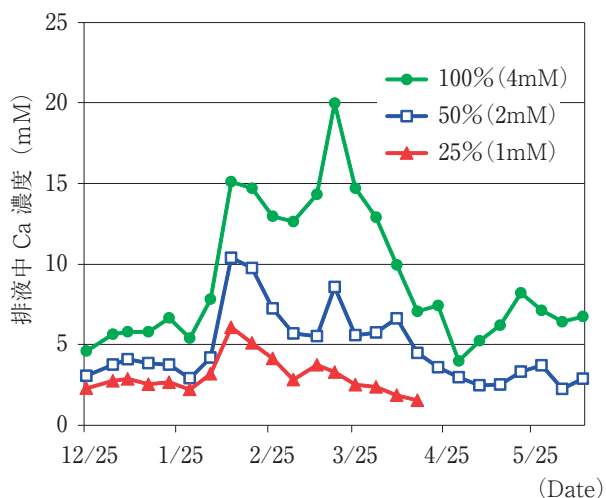


Fig. 3 Changes in Ca concentration of drainage from 9cm pots (250ml of root zone volume) as affected by Ca concentration in nutrient solutions. See Table 1.

区とも果房当たりの収量が40 g/株に達しなかった。ただし、100%区においても第6果房から尻腐れ果の発生が増加し、9 cmポット区では第6～9果房、12 cmポット区では第7～9果房の収量がそれぞれ120 g/株未満であった。以上のように、根域制限条件下において高糖度トマト栽培を行う際にCa濃度が園試処方の半分以下の培養液を施用すると、尻腐れ果が多発するため、低Ca濃度の培養液を利用することは望ましくないと考えられた。

9 cmポット区における排水中Ca濃度の変化をFig. 3に示した。いずれの処理区においても排水中のCa濃度

は常に供給した培養液より高い濃度で推移した。12 cmポット区では、排水率が9 cmポット区より低かったため、排水中のCa濃度の変動は9 cmポット区より激しかった。また、排水中の濃度から算出した見かけの全Ca吸収量は9 cmポット区が12 cmポット区より少なく、培養液中の濃度が低いほど少なくなった (Fig. 4 A)。株当たりで約160 mmolであった12 cmポットの100%区以外は全吸収量が70 mmol未満と著しく少なかった。

Fig. 4 Bに示したように、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の見かけの全吸収量は12 cmポットの100%区で株当たり約930 mmolであったが、培養液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低く $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高い50%区では約720 mmolであった。9 cmポット区ではいずれも12 cmポット区より吸収量が少なくなった。本実験では $\text{NH}_4\text{-N}$ の分析を行っていないが、水耕栽培と同様に $\text{NH}_4\text{-N}$ をほぼ全量吸収したと仮定すると、株当たりの全窒素吸収量は12 cmポット区では100%区、50%区ともに株当たり約1000 mmolとなる。しかし、9 cmポット区では100%区的全吸収量は約650 mmolであったのに対して50%区が790 mmolと多くなる結果となった。しかし、P、Kについては9 cmポット区の吸収量が12 cmポット区の60%程度で明らかに少なかった (データ省略)。根域容量がわずか250 mlの9 cmポット区では培養液の保持容量が少なく、根量も少ない。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が3.3 mMと高かった50%区では、施用した $\text{NH}_4\text{-N}$ のうち相当な量が吸収されずに排出され、実際の吸収量に大きな差はなかったのではないかと推察される。一方、12 cmポット区では、100%区と50%区の間で見かけの全窒素吸収量に差がなく、成長量にも差が認められなかったことから (データ省略)、3.3 mMの $\text{NH}_4\text{-N}$ はほとんどが吸収されたと考え

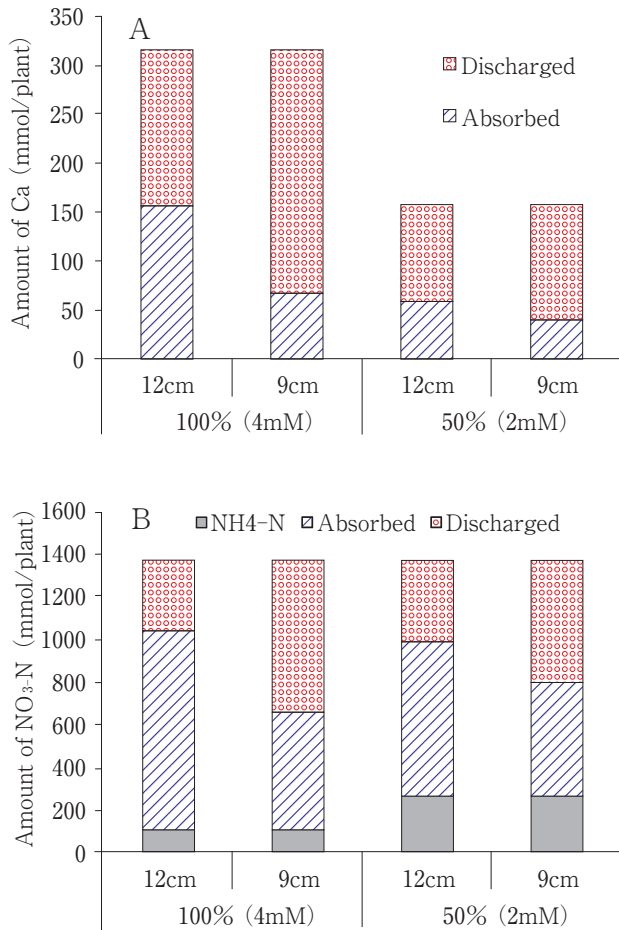


Fig. 4 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on absorbed and discharged amount of total Ca (A) and N (B) in 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control. Results of 25% Ca solution is not shown as the plants developed severe symptoms of Ca deficiency and were discarded before the end of experiment (Apr. 21).

てよいであろう。ただし、もっとも NO₃-N 吸収量が多かった 12 cmポットの 100%区においても NO₃-N の廃棄率が約 25%であり、排液とともに多量の N が排出されたことから、いずれの処理区においても N 施与量が過剰であったことは間違いないといえる。

全施与量に対する全吸収量の比率を吸収効率として算出すると、NO₃-N の吸収効率は、12 cmポットでは 100%区が 74%、50%区が 65%であったが、9 cmポットでは 100%区で 44%、50%区でも 48%であった。それに対して、Ca の吸収効率は、12 cmポットでは 100%区が 50%、50%区が 37%であったが、9 cmポットでは 100%区で 21%、50%区でも 25%に過ぎなかった。NO₃-N と Ca の全吸収量をモル比で比較すると 100%区で 12% (9 cmポット) と 17% (12 cmポット) であったのに対して、50%区ではいずれも約 8%と著しく低かった。Fig. 4 A に示したように

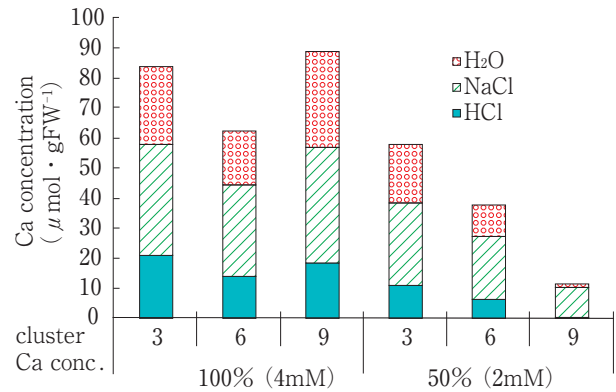


Fig. 5 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on water, NaCl and HCl soluble Ca concentration in terminal leaflet of clusters just below 3rd, 6th and 9th inflorescences (clusters) of 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control. Leaf tissues were taken on May 10. Samples could not be taken in plants fertigated with 25% Ca solution because of severe tip burn. H₂O : 99% ethanol and water soluble fraction, NaCl : 1N NaCl soluble fraction, and HCl : 0.6N HCl soluble fraction.

低 Ca 濃度の培養液を施用しても排液中の Ca 濃度は上昇し、標準培養液中の濃度よりも高い濃度で排出されることもあった。K の吸収効率は NO₃-N と同程度であり (データ省略)、Ca と比較すると著しく高かったことから、根域制限下で施用された Ca はきわめて吸収されにくいイオンであるといえる。実際に田中⁹⁾は、イネの根が NH₄⁺、K⁺、NO₃⁻や H₂PO₄⁻などを積極的に吸収するのに対して、Ca²⁺や Mg²⁺については積極的に排除する傾向にあることを明らかにしている。トマトにおいても Ca は N や K のように積極的に吸収されることはなく、植物体内で不足した状況においても根圏に一定のレベル以上の濃度で存在し、かつ競合する他のカチオンとの比率も高くなければ必要量を吸収できないものと考えられる。本実験では全窒素濃度を等しくするため、Ca の削減とともに減少した N の半量を NH₄-N で補ったため、低 Ca 濃度区の培養液中 NH₄-N 濃度が 2.5~3 倍にまで高くなった (Table 1)。この高濃度の NH₄-N との競合も制限された根域の全塩類濃度の上昇とともに、本実験の低 Ca 濃度区において Ca 吸収が抑制された原因の一つであると考えられる。

Fig. 5 には、第 6~7 果房の収穫期に当たる 5 月 10 日に採取した先端小葉中の形態別 Ca 濃度を示した。25% 区では植物体全体が Ca 欠乏症状を呈し、4 月中旬で栽培を打ち切ったため、試料を採取できなかった。しかし、50% 区においても第 6、9 果房直下の葉では Ca 濃度が低く、特に水溶性と HCl 可溶性画分の低下が著しかった。整枝によって摘除した腋芽中の Ca 濃度を分析した

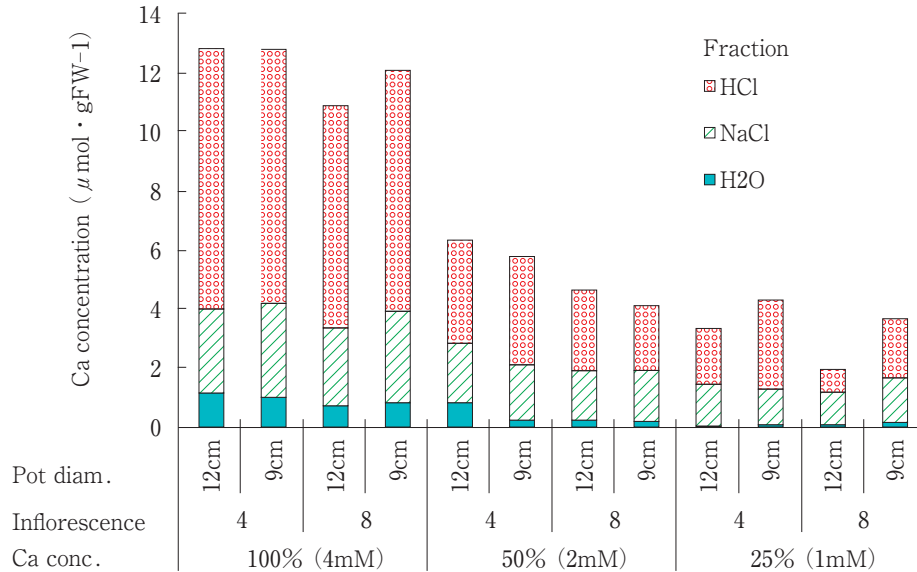


Fig. 6 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on water, NaCl and HCl soluble Ca concentration in stem tissue of removed lateral shoot just below 4th and 8th inflorescences of 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control. Lateral shoot were taken when they were around 10cm long.

結果, Fig. 6 に示したように100%区ではいずれの画分も低Ca濃度区と比較して高く, 全画分の合計が約12 $\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ であった。50%区では半分以下の濃度に低下し, 第4果房直下で約6 $\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$, 第8果房直下で約4 $\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ であった。25%区は50%区との差が比較的小さかったが, 50%区とは異なり, 9cmポット区のCa濃度が12cmポット区よりやや高かった。この原因については明らかでないが, 激しいチップバーンが早くから発生したことによってシュート先端部への転流量が変化したことと排液率が高かったため根域の全塩類濃度が低かったことが影響した可能性が高いと考えられる。

化学形態別Ca濃度について各画分の変動幅を見てみると, 水溶性画分では0.03~1.15 $\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ と40倍近い開きがあったのに対してNaCl可溶性画分は1.1~3.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ と3倍未満, HCl可溶性画分は0.7~8.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ と10倍あまりの違いであった。いずれの部位においても尻腐れ果発生の著しい低Ca濃度区ほど, すべての化学形態のCa濃度が低く, Ca栄養が尻腐れ果発生と密接に関係していることが確認された。特に, 腋芽中の水溶性Ca濃度は変動が大きく, 原子吸光光度計の検出限界近くまで低下した。

根で吸収されたCaは, 木部道管を通じて植物体の各部位に転流し, ほとんど再転流しないことが知られている。水溶性Caは根で吸収されたCaの転流形態であり, 尻腐れ果が多発する条件下では果実中の濃度が低下することが報告されている¹⁰⁾。腋芽の茎中水溶性Caには, 転流経路である道管汁液中のCaだけでなく, 細胞質や細胞間隙中など他の部位への転流には関係しないCaも含

まれると考えられるが, 腋芽中の水溶性Ca濃度はトマト植物体のCa栄養診断の有力な指標として利用できるかもしれない。特に, 腋芽は栽培管理の過程で除去される不要な組織であり, 水溶性Caについては押しつぶしによる搾汁などにより簡便な方法で分析試料を採取して迅速に分析することができる。実用性の高い技術として尻腐れ果発生リスクの診断に応用できる可能性があり, 今後検討する必要があると考えられる。

実験2. 低Ca濃度培養液の施用が果実中の形態別Ca濃度と尻腐れ果発生に及ぼす影響

実験1で培養液中のCa濃度と尻腐れ果発生, 植物体の形態別Ca濃度との間に密接な関係が認められたため, 圃試処方に対照として, Ca濃度を3, 2, 1mMに低下させた培養液 (Table 1) を用いて点滴栽培を行った。

果頂部のNaCl, HCl可溶性および全Ca濃度には培養液処理区間に有意な差が認められなかったが, 水溶性Ca濃度には処理区間に有意な差が認められた (Table 2)。水溶性Ca濃度は培養液中Ca濃度が低いほど低く, 第3果房では第1果房よりも低くなる傾向にあった。なお, 本実験における全Ca中の水溶性画分の比率はMinamideら⁵⁾の報告と比較して著しく低かった。本実験では開花10日後の果実を用いたのに対してMinamideら⁵⁾は42日後の果実を用いており, 果実発育段階の差が影響しているのであろう。尻腐れ果発生率は培養液中Ca濃度が低くなるほど高く, 発生時期も早くなる傾向にあった (Fig. 7)。尻腐れ果発生率と果頂部のCa濃度との関係についてみるとTable 3に示したとおり, 水溶性Ca濃度との間にのみ有意な相関関係が認められた。また,

100% 区の第 2 果房を除けば果頂部の水溶性 Ca 濃度が $0.16 \mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ 以上であれば尻腐れ果発生率が 20% 以下であった (Fig. 8, Table 2).

寺林ら¹⁰⁾は尻腐れ果と正常果を果頂部と基部に 2 分して形態別に Ca 濃度を測定した結果, 基部と比較して果頂部の Ca 濃度が低く, 尻腐れ症状が発生した果実では

水溶性と NaCl 可溶性画分の Ca 濃度が正常果より低かったと報告している. 同時に水耕条件下における尻腐れ果発生率と果実の形態別 Ca 濃度との関係について解析し, 発生率と水溶性, NaCl 可溶性と全 Ca 濃度との間に有意な相関があることを明らかにしている. このとき, 本実験と同様に果頂部の水溶性 Ca との間に高い相関

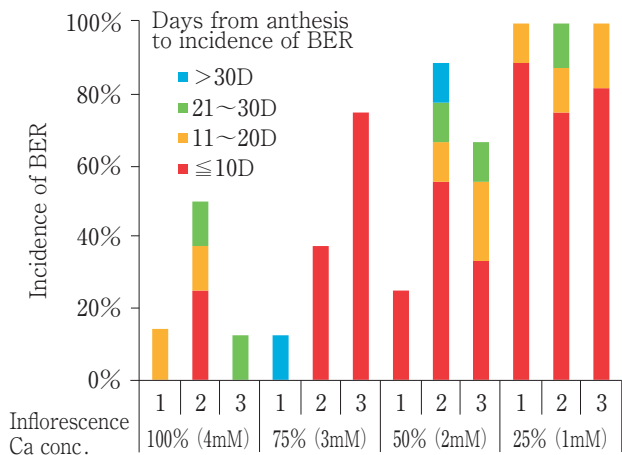


Fig. 7 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on incidence of blossom-end rot (BER) in 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control.

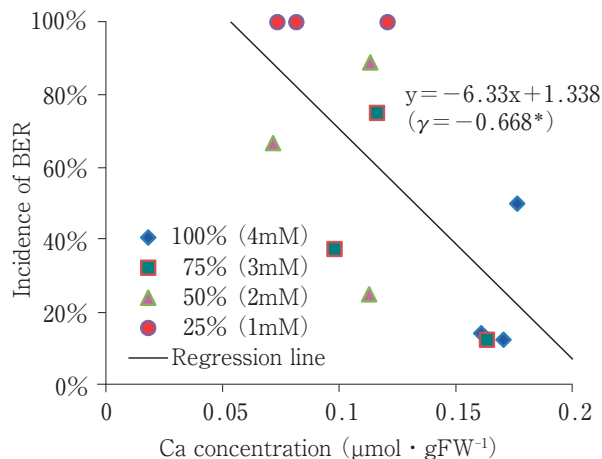


Fig. 8 Relationship between incidence of blossom-end rot (BER) and water soluble Ca concentration in distal half of tomato fruit.

Table 2 Effect of Ca concentration in nutrient solutions on fractionated Ca (water, NaCl and HCl soluble) concentration in distal half of fruit and incidence of blossom-end rot (BER) in 'House Momotaro' tomato grown in restricted root zone volume with solar mediated fertigation control.

Ca conc. ^z	Inflorescence	Ca concentration ($\mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$)				Incidence of BER ^y (%)
		H ₂ O	NaCl	HCl	Total	
100% (4 mM)	1	0.161	0.202	0.064	0.427	14
	2	0.176	0.195	0.046	0.372	50
	3	0.170	0.178	0.038	0.331	13
75% (3 mM)	1	0.163	0.212	0.081	0.457	13
	2	0.098	0.159	0.045	0.302	38
	3	0.116	0.208	0.060	0.384	75
50% (2 mM)	1	0.113	0.203	0.052	0.368	25
	2	0.113	0.236	0.051	0.400	89
	3	0.072	0.096	0.048	0.216	67
25% (1 mM)	1	0.121	0.181	0.073	0.375	100
	2	0.073	0.119	0.032	0.225	100
	3	0.082	0.094	0.017	0.193	100
<i>Significance</i>						
Ca concentration		*	NS	NS	NS	**
Inflorescence		**	NS	**	*	NS
Interaction		NS	NS	NS	NS	— ^y

^zRelative value of Ca and Mg compared to Enshi standard solution. See Table 1 for details of solutions.

^yANOVA was conducted with arcsine converted percent values without replication.

NS, *, ** non-significant, significant at 5% or 1% levels, respectively (*F*-test, 2way-ANOVA)

Table 3 Correlation coefficients between BER incidence and fractionated Ca concentration. See Table 2.

Ca fraction	r (n=12)
H ₂ O	-0.668 *
NaCl	-0.407 NS
HCl	-0.333 NS
Total	-0.503 NS

($r = -0.75$) を認めているが、果実基部の NaCl 可溶性および全 Ca 濃度と発生率との間でより高い相関係数(それぞれ、 -0.77 と -0.82)が得られたことから、果実基部の Ca 濃度が尻腐れの発生に関係する Ca の栄養状態をより強く反映しているであろうと考察している。しかし、同時に述べられているように、植物組織中の水溶性 Ca は膜構造の形成や機能保持に重要な役割を果たしており⁸⁾、果実の正常な発育にとって必須であることは明らかである。Ho ら¹⁾は果実頂部への Ca 転流量の不足が尻腐れ果発生の原因であり、細胞膜の半透性が低下して急速に成長する細胞に異常が生じると述べており、道管液中の転流形態である水溶性 Ca の果実頂部における濃度が尻腐れ果発生と密接に関係すると考えてよいであろう。

以上のように、Ca の施与量によってトマト腋芽の茎中 Ca 濃度が大きく変化することが明らかになり、茎中の水溶性 Ca 濃度が尻腐れ果発生と関連する Ca 栄養診断に利用できる可能性が高いと考えられた。一方、尻腐れ果の発生には、日射や湿度などの環境要因がトリガーとして作用すると考えられており⁸⁾、Ca 栄養だけでその発生生理を明らかにすることは困難であると考えられる。しかし、水溶性 Ca 濃度が $0.16 \mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ 以上であれば、尻腐れ果発生率が低く、 $0.12 \mu\text{mol}\cdot\text{gFW}^{-1}$ 以下に低下すると急激に発生率が高まったことから、果実頂部の水溶性 Ca を指標として、Ca 栄養や環境要因の解析を進めることにより、トマトの尻腐れ果発生要因の解明に近づくことが可能になると考えられる。

摘 要

根域制限下におけるトマトの養分吸収を調査した結果、培養液中 Ca の多くは排液とともに排出され、N に対する Ca の吸収比率は園試処方や Hoagland 処方中の比率の50%以下であった。そこで、園試処方培養液中の $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の一部を NH_4NO_3 に置換して Ca 濃度 1, 2, 4 mM の培養液を作成し、日射比例給液制御下で‘ハウス桃太郎’の根域制限栽培(培地容量250, 500 ml)を行った。培養液の Ca 濃度が 1 mM であっても排液中の Ca 濃度が 2 mM よりも高く推移したが、Ca 吸収量は極めて少なく、著しい Ca 欠乏症状が現れた。低 Ca 濃度区では尻腐れ果が多発し、1 mM 区では第3果房より上段

の果実は全て尻腐れ果となり、第9果房までの収量は 2 mM 区、1 mM 区でそれぞれ 4 mM 区の50%, 36%に低下した。腋芽茎中の Ca 濃度の低下は 0.6 N-NaCl 可溶性画分や 0.6 N-HCl 可溶性画分と比較して水溶性画分の低下が著しかった。そこで、Ca 濃度が 1 ~ 4 mM の培養液を用いて点滴栽培を行い、果実中の Ca 濃度を分画して定量した。果実頂部の Ca 濃度はいずれの画分においても培養液中 Ca 濃度が低いほど低く、開花から尻腐れ症状が発生するまでの日数も短くなった。尻腐れ果発生率と果実頂部の水溶性 Ca 濃度との間にのみ有意な負の相関が認められた。以上のことから、果実の水溶性 Ca 濃度がトマトの尻腐れ果発生リスクの大小に大きくかかわっており、植物体の水溶性 Ca 濃度測定は尻腐れ果発生防止のための Ca 栄養診断に応用できる可能性が高いと考えられる。

引用文献

- 1) Ho, L. C., R. Breda, M. Brown, J. Andrews and P. Adams : Uptake and transport of calcium and the possible cause of blossom-end rot in tomato. *J. Exp. Bot.* **44**, 509-518 (1993)
- 2) Hoagland, D.R. and D.I. Arnon : The water-culture method for growing plants without soil. *California Agri. Exp. Sta. Circ.*, **347**, 1-32 (1950)
- 3) 石原良行・人見秀康・八巻良和 : 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響. *園学研*, **5** : 265-270 (2007)
- 4) 榎田正治・瀧口 武・松原幸子 : 培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響. *園学誌*, **58**, 641-648 (1989)
- 5) Minamide, R. T. and L. C. Ho : Deposition of calcium compounds in tomato fruit in relation to calcium transport. *J. Hort. Sci.*, **68**, 755-762 (1993)
- 6) 太田安定・山本和子・出口正夫 : カルシウム供給量, 葉位, 個体の生育段階の違いが水稻生葉内カルシウムの化学形態別分布におよぼす影響 (第1報) 各種植物体内カルシウムの化学形態別分布. *土肥誌*, **41**, 19-26 (1970)
- 7) 六本木和夫・加藤俊博 : 野菜・花きの養液土耕. pp. 1-215, 農山漁村文化協会, 東京 (2000)
- 8) Saure, M. C. : Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - a calcium- or a stress-related disorder? *Sci. Hortic.* **90**, 193-208 (2001)
- 9) 田中 明 : 水稻根によるイオンの積極的排除について. *土肥誌*, **41**, 457-460 (1970)
- 10) 寺林 敏・宮負要一・高島俊郎・並木隆和 : トマトの尻腐れ果発生と果実内カルシウム含量との関係. *京都府大学報 (農学)*, **40**, 8-14 (1988)
- 11) 山崎肯哉 : 養液栽培全編. pp. 1-241. 博友社, 東京 (1982)
- 12) 山下文秋・林 悟朗 : 水耕トマトの低段密植栽培による周年生産(4)循環式における培養液管理技術. *愛知農試研報*, **29**, 103-110 (1997)
- 13) 吉田裕一・松野太樹・新開 礼・後藤丹十郎 : 根域容量と日射比例給液制御による給液量がトマトの生育・収量と果実品質に及ぼす影響. *岡山大農学報*, **96**, 37-42 (2007)
- 14) 吉田裕一・松野太樹・後藤丹十郎・高田圭太 : 培養液濃度が根域制限一日射比例給液栽培トマトの生育・収量と果実品質に及ぼす影響. *岡山大農センター報*, **31**, 15-19 (2010)