

論文

珪鉄の施用がトマトの生育および果実品質に及ぼす影響

近藤 謙介¹、小西 史也¹、城口 朋可¹、森 太郎²、中原 浩貴^{3,4}、松添 直隆⁵

1. 鳥取大学農学部、2. 滋賀大学教育学部、3. 鳥取大学乾燥地研究センター
4. 農研機構植物防疫研究部門、5. 熊本県立大学環境共生学部

Effects of Silica Iron Application on Tomato Growth and Fruit Quality

Kensuke KONDO¹, Fumiya KONISHI¹, Tomoka SHIROGUCHI¹,
Taro MORI², Hiroki NAKAHARA^{3,4}, Naotaka MASTUZOE⁵

1. Faculty of Agriculture, Tottori University
2. Faculty of Education, Shiga University
3. Arid Land Research Center, Tottori University
4. Institute for Plant Protection, National Agriculture and Food Research Organization
5. Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto

The effects of application of silica iron and silica iron in a citric acid solution on the growth and fruit quality of tomatoes were studied for two years, in 2022 and 2023. It was found that the application of a 1.0% silica iron citrate solution and a 1.0% silica iron citric acid solution ($300 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$) at 1 L per plant during planting did not inhibit tomato growth and did not affect fruit weight, sugar content, acidity, and ascorbic acid content. On the other hand, when tomatoes were planted after the application of silica iron ($300 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$) and treated with 1.0% citric acid solution every seven days, stem length, stem freshness and dry weight, and fruit weight were reduced compared to the control, indicating that growth was inhibited.

Keywords: citric acid solution, fruit quality, growth, silica iron, tomato

緒言

Ralstonia solanacearum は、トマトやナスなどの作物に青枯病を引き起こす土壌伝染性の病原細菌として知られている（堀田・土屋、2009）。青枯病の防除対策はクロルピクリン剤やダゾメット剤などの化学農薬による土壌消毒（村元ら、2020；渡部、2004）や抵抗性品種や接ぎ木の利

用などが行われている（山田ら、2010；山崎ら、2020）。しかし、土壌消毒では青枯病菌は土壌深部においても長期間生存可能なため、防除が不完全となる場合が多いこと（Enfinger ら、1979；小玉ら、1984）や、抵抗性植物は完全な抵抗性を有しておらず発病することがあること（Date ら、1994）など、完全な防除は困難とされている。また、

環境負荷の低減や食の安全・安心志向を背景として、持続的に農業生産活動ができる環境にやさしい防除方法が求められている (Hyakumachi ら、2014)。従って、青枯病の防除戦略として、複数の防除技術を組み合わせた総合的管理システムの構築が必要であり、微生物を利活用した生物的防除法が検討されている (森ら、2023；中原ら、2021)。

一方、青枯病菌は、培地、土壌、植物内などで自発的に突然変異し、非病原性の菌株へと表現型変異 (以下、PC: Phenotypic Conversion) することが知られている (巖原ら、2002；Mori ら、2011；Mori ら、2012；中原ら、2021)。PC 株は病原性が低下または失活しており、青枯病菌汚染土壌において PC 化を誘発することができれば、病原性野生株の密度低下により青枯病の防除効果が期待される。Nakahara ら (2021) は *in vitro* 試験において液体培地への鉄化合物の添加が、森本ら (2021) は土壌中への珪鉄とクエン酸の添加が、青枯病菌の PC 化を促進したことを報告している。珪鉄は珪酸、鉄、石灰を主成分とし、微量元素を含んでいる農業資材で老朽化水田や秋落水田の改良に効果があるとされている (渡辺ら、1960)。しかし、トマト栽培において珪鉄が用いられた先行研究は見当たらず、施用量の目安やどれくらいの施用で作物の生育阻害を引き起こすのかは明らかにされていない。

そこで本研究では、珪鉄と珪鉄にクエン酸溶液を加えた珪鉄クエン酸溶液の施用がトマトの生育と果実品質に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1. 2022 年春夏作

供試品種は‘桃太郎 8’ (タキイ種苗 (株)) を用い、市販の培養土 (たねまき培土、タキイ種苗 (株)) を充填した 72 穴セルトレイへ 2022 年 3 月 25 日に播種した。育苗は鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター (以下、FSC) 内ガラスハウスで行った。育苗期間は 37 日間とし、5 月 6 日に市販の培養土 (NEO-MIX21・ポット耕用、揖斐川工業 (株)) を 25 L 充填した底面給水プランター (縦 64.5 cm、横 36 cm、高さ 37 cm、うるオンプランター 65 型、(株) リッチェル) に 2 株ずつ定植し、FSC 内ビニルハウスで栽培した。処理に用いた珪鉄クエン酸溶液は小型粉碎機 (ワンダーブレンダー、WB-1、大阪ケミカル (株)) で粉碎し孔径 0.5 mm の篩にかけた珪鉄 (くみあい珪鉄、清新産業 (株)) を用いた。粉碎した珪鉄 180 g に 20% のクエン酸溶液 400 mL を市販の 500 mL ペットボトルに入れ

て蓋を閉め、珪鉄にクエン酸溶液を馴染ませて恒温器 (IS-2400、アドバンテック東洋 (株)) で 30℃、24 h 静置後、ガーゼ (地球トンボガーゼ、(株) 大和工場) を 20 枚重ねて 1 次ろ過した後にろ紙 (直径 150 mm、No.1、アドバンテック東洋 (株)) を用いて 2 次ろ過したものを希釈して施用した。処理は 1 株当たり 1 L を定植 1 週間前に培養土を充填したプランターへ行った。処理区は珪鉄クエン酸溶液を 20 倍と 40 倍に希釈した珪鉄クエン酸溶液 1.0% 区と 0.5% 区、クエン酸溶液 1.0% 区と 0.5% 区、および水道水 (対照区) の計 5 処理区を設け、各処理区 5 プランターずつとした。施肥は OAT ハウス A 処方 0.5 単位 (OAT アグリオ (株)) をかん水と同時にタイマーで制御した点滴かん水で行った。また、高温期にはプランターの底面から給水を適時行った。着果処理は各花房に 3-5 花程度開花した時期に 100 倍希釈した 4-CPA (石原トマトトーン、石原バイオサイエンス (株)) を噴霧した。摘果は 1 花房当たり 4 果となるように行った。摘心は着果処理後に第 5 花房上の本葉を 2 枚残して適宜、5 月 20 日から 7 月 1 日にかけて 7 日ごとに茎長を測定した。収穫は 7 月 4 日から完熟期の果実を適宜収穫した。収穫した果実は果実重、糖度、および酸度を測定した。果実重は尻腐れ果や窓あき果といった障害果を除いたすべての果実を測定した。糖度と酸度は各花房の収穫した中から 2 個選抜し、果実を縦方向に 8 分の 1 から 4 分の 1 の大きさに切り取った後、ガーゼ (地球トンボガーゼ、(株) 大和工場) で包み果汁を絞り、糖酸度計 (PAL-BX | ACID F5、(株) アタゴ) で測定した。栽培は 9 月 1 日に終了した。栽培終了後、本葉を全て除去した地上部を地際で切り取り茎新鮮重を測定後、恒温乾燥機 (MOV-212F (U)、PHC ホールディングス (株)) を用いて 80℃で 72 h 通風乾燥し、乾物重を測定した。

2. 2023 年春夏作

供試品種は‘桃太郎 8’ (タキイ種苗 (株)) を用い、市販の培養土 (たねまき培土、タキイ種苗 (株)) を充填した 72 穴セルトレイへ 2023 年 3 月 27 日に播種した。育苗は FSC 内ガラスハウスで行った。育苗期間は 35 日間とし、5 月 1 日に市販の培養土 (NEO-MIX21・ポット耕用、揖斐川工業 (株)) を 25 L 充填した底面給水プランター (縦 64.5 cm、横 36 cm、高さ 37 cm、うるオンプランター 65 型、(株) リッチェル) に 2 株ずつ定植し、FSC 内ビニルハウスで栽培した。処理に用いた珪鉄クエン酸溶液は 2022 年春夏作と同様に作成したものを希釈して施用した。処理は

1株当たり1Lを定植1週間前に培養土を充填したプランターへ行った。処理区は珪鉄クエン酸溶液を20倍に希釈した珪鉄クエン酸溶液1.0%区、クエン酸溶液1.0%区、珪鉄クエン酸区、珪鉄クエン酸7日区、クエン酸7日区、および対照区（水道水）の6処理区を設け、各処理区5プランターずつとした。珪鉄クエン酸区は定植7日前に $300 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ の珪鉄をプランターに施用後、培養土と混和し1.0%クエン酸溶液を1株当たり1L処理した。珪鉄クエン酸7日区も同量の珪鉄を施用した。また、珪鉄クエン酸7日区とクエン酸7日区は定植7日前から7日ごとに栽培終了まで1.0%クエン酸溶液を1株当たり1L処理した。施肥、かん水、着果処理、摘果、摘心、および収穫は2022年春夏作と同様に行った。茎長は5月16日から7月11日にかけて14日ごとに測定した。なお、収穫は6月28日から完熟期の果実を適宜収穫し、果実に日焼けが起こったため7月24日からは寒冷紗を設置して遮光を行い、栽培は8月22日に終了した。収穫した果実は果実重、糖度、および酸度を計測した。果実重は尻腐れ果や窓あき果といった障害果を除いたすべての果実を、糖度と酸度は各花房から1個選抜し測定した。糖度と酸度の測定は2022年春夏作と同様に行い、糖酸度の測定に用いなかった残りの果実は、チャック付ポリ袋（E4、（株）生産日本社）に入れ -40°C で凍結後に凍結乾燥（FDU-1200、東京理科器械（株））を行い、アスコルビン酸含量の測定に用いた。アスコルビン酸は凍結乾燥試料を粉碎後、5%メタリン酸水溶液で抽出し、小型反射式光度計（RQフレックスプラス10、メルク（株））で測定した（建部・米山、1995）。栽培終了後、茎新鮮重と乾物重の測定を2022年春夏作と同様に行った。

3. 統計処理

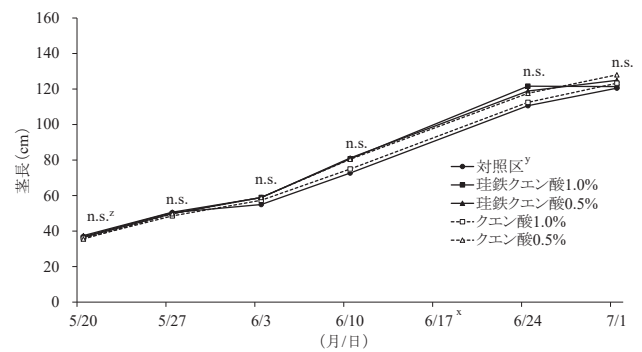
統計処理は、統計解析ソフト（エクセル統計 version 4.07、（株）社会情報サービス）を用いた。処理区間の各調査結果の比較はTukeyまたはTukey-Kramerの多重検定を行った。

結果および考察

2022年春夏作における珪鉄の施用がトマトの茎長に及ぼす影響を第1図に示す。茎長は定植後14日目の5月20日から7月1日にかけて7日ごとに測定し、いずれの調査日においても処理区間に差は認められなかった。

2022年春夏作における珪鉄の施用が栽培終了時におけるトマトの茎新鮮重と乾物重および果実品質に及ぼす影響

を第1表に示す。茎新鮮重と乾物重は処理区間に差は認められなかった。また、果実重、糖度、および酸度も処理区間に差はなかった。



第1図 珪鉄の施用がトマトの茎長に及ぼす影響
(2022年春夏作)

^z Tukey-kramerの多重検定により、n.s.は有意差なしを示す（ $n = 8-10$ ）

^y 生育不良の2株を調査対象より除外

^x 6/17：データ欠損

第1表 珪鉄の施用が栽培終了時におけるトマトの茎新鮮重と乾物重および果実品質に及ぼす影響（2022年春夏作）

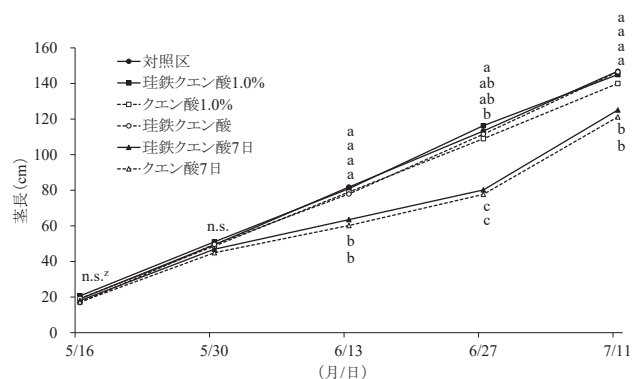
処理区	茎新鮮重 (g/株)	茎乾物重 (g/株)	果実重 (g/果)	糖度 (° Brix)	酸度 (%)
対照区 ^z	319 a ^y	50.4 a	142 a	6.6 a	0.53 a
珪鉄クエン酸1.0%	314 a	46.9 a	140 a	6.6 a	0.53 a
珪鉄クエン酸0.5%	315 a	51.4 a	133 a	7.0 a	0.56 a
クエン酸1.0%	265 a	41.6 a	121 a	6.7 a	0.54 a
クエン酸0.5%	317 a	50.5 a	136 a	6.7 a	0.53 a

^z 生育不良の2株を調査対象より除外

^y Tukey-Kramerの多重検定により、異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり（ $n = 8-10$ ）

2023年春夏作における珪鉄の施用がトマトの茎長に及ぼす影響を第2図に示す。茎長は定植後15日目の5月16日から7月11日にかけて14日ごとに測定した。対照区に比べ珪鉄クエン酸7日区とクエン酸溶液7日区は6月13日以降小さかった。一方、対照区と珪鉄クエン酸溶液1.0%区、クエン酸溶液1.0%区、および珪鉄クエン酸区は調査期間中に差はなかった。

2023年春夏作における珪鉄の施用が栽培終了時におけるトマトの茎新鮮重と乾物重および果実品質に及ぼす影響を第2表に、アスコルビン酸含量に及ぼす影響を第3図にそれぞれ示す。対照区に比べ珪鉄クエン酸溶液1.0%区、クエン酸溶液1.0%区、および珪鉄クエン酸区は差がなかった。近藤ら（2023）は珪鉄を $300 \text{ kg} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 混和した市販



第2図 珪鉄の施用がトマトの茎長に及ぼす影響
(2023年春夏作)

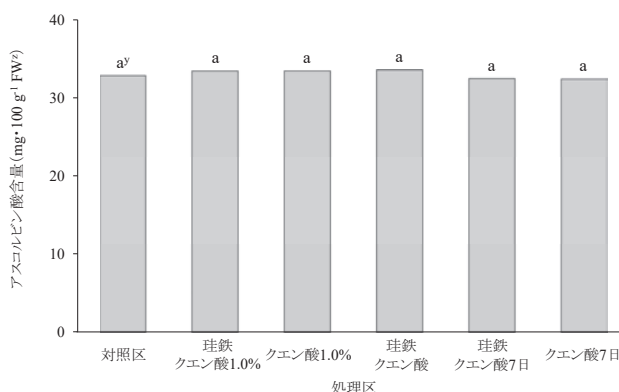
^z Tukeyの多重検定により、異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり、n.s.は有意差なしを示す (n=10)

第2表 珪鉄の施用が栽培終了時におけるトマトの茎新鮮重と乾物重および果実品質に及ぼす影響 (2023年春夏作)

処理区	茎新鮮重 (g/株)	茎乾物重 (g/株)	果実重 (g/果)	糖度 (° Brix)	酸度 (%)
対照区	295 a ^z	42.3 a	161 a	6.2 a	0.71 ab
珪鉄クエン酸1.0%	259 a	36.2 a	151 ab	6.0 a	0.69 b
クエン酸1.0%	290 a	41.2 a	141 ab	6.3 a	0.74 ab
珪鉄クエン酸	297 a	42.1 a	141 ab	6.2 a	0.73 ab
珪鉄クエン酸7日	178 b	23.4 b	129 bc	5.9 a	0.73 ab
クエン酸7日	138 b	18.3 b	110 c	6.2 a	0.85 a

^z Tukeyの多重検定により、異なるアルファベット間には5%水準で有意差ありを示す (n=10)

の培養土をセルトレーへ充填後、トマトを播種して異なる濃度のクエン酸溶液を底面給水で処理を行ったところ、クエン酸溶液 0.5% 以下であればトマト幼植物の生育が抑制されなかったと報告している。2022 年と 2023 年の春夏作の結果より、育苗後に定植を行う慣行的な栽培方法では、定植時に珪鉄クエン酸溶液 1.0% および珪鉄 (300 kg・10 a⁻¹) に 1% のクエン酸溶液の処理はトマトの生育を抑制せず、果実重、糖度、酸度、およびアスコルビン酸含量に影響を及ぼさないことが明らかとなった。一方、対照区に比べ珪鉄クエン酸 7 日区とクエン酸溶液 7 日区の茎新鮮重と乾物重および果実重は小さかった。これは、7 日ごとの 1.0% クエン酸溶液を 1 株当たり 1 L 毎日施用するとトマトの生育が抑制されることを示している。一方、糖度、酸度、およびアスコルビン酸含量には差が認められず、影響しないことが示唆された。



第3図 珪鉄の施用がトマトのアスコルビン酸含量に及ぼす影響

^z FW: 新鮮重

^y Tukeyの多重検定により、異なるアルファベット間には5%水準で有意差ありを示す (n=10)

謝辞

本研究は科研費基盤研究 B 22H02478 (代表者: 松添直隆) の助成を受けて実施した。

引用文献

- Date, H., H. Nasu and M. Hatamoto. 1994. Breakdown of resistance of eggplant rootstock (*Solanum torum Swartz*) to bacterial wilt by high ambient temperature. *Ann. Phytopath. Soc. Japan*. 60: 483-486.
- Enfinger, J. M., S. M. McCarter and C. A. Jaworski. 1979. Evaluation of chemicals and application methods for control of bacterial wilt of tomato transplants. *Phytopathology*. 69: 637-640.
- 堀田光生・土屋健一. 2009. 青枯病菌 *Ralstonia solanacearum* の分類の現状と課題. *日本植物病理学会報*. 75: 297-306.
- Hyakumachi, M., H. Takahashi, Y. Matsubara, N. Someya, M. Shimizu, K. Kobayashi and M. Niahiguchi. 2014. Recent studies on biological control of plant diseases in Japan. *Journal of General Plant Pathology*. 80: 287-302.
- 嚴原美穂・高木滋樹・横山和平・丸本卓哉. 2002. 土壌中における *Ralstonia solanacearum* の菌体外多糖非生産株の誘発と同変異株の発病抑制効果. *土と微生物*. 56: 11-22.
- 小玉孝司・岡山建夫・堀本圭一. 1984. 薬剤を併用した太陽熱土壌消毒と接木栽培によるトマト青枯病の防除. *関西病虫害研究会報*. 26: 61.

- 近藤謙介・森 太郎・中原浩貴・松添直隆. 2023. 鉄化合物資材がトマト幼植物の生育に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 30（別冊）：44-45.
- Mori, T., F. Fujiyoshi, T. Inada, H. Matsusaki, K. Ogawa and N. Matsuzoe. 2011. Phenotypic conversion of *Ralstonia solanacearum* in susceptible and resistant *Solanum* plants. Environ. Control Biol. 49: 165-176.
- 森 太郎・林 優花・池田佳奈・中原浩貴・近藤謙介・松添直隆. 2023. *Ralstonia solanacearum* 表現型変異株のナス種子への接種が発芽・生育並びに青枯病発病抑制効果に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 30：59-67.
- Mori, T., T. Inada, K. Ogawa, H. Matsusaki and N. Matsuzoe. 2012. Phenotypic conversion of *Ralstonia solanacearum* in water extract of *Solanum toxicarium*. J. Plant Pathol. 94: 535-542.
- 森本祐未・中原浩貴・森 太郎・近藤謙介・松添直隆. 2021. 珪鉄とクエン酸添加が青枯病菌の増殖と表現型変異に与える影響. 日本生物環境工学会九州支部 2021 年大会講演要旨.
- 村元靖典・坂口一智・鳥海 航・美野光哉・吉田重信. 2020. ダゾメット剤の湛水処理による土壌深層のトマト青枯病菌に対する殺菌効果の向上. 関西病虫害研究会報. 62：79-84.
- 中原浩貴・森 太郎・松添直隆. 2021. 青枯病菌の非病原性変異株を利用した病害防除. ナス科植物における青枯病と半身萎凋病の生物学的防除. 日本農薬学会誌. 46：20-21.
- Nakahara, H., K. Mori, T. Mori and N. Matsuzoe. 2021. Induction of spontaneous phenotype conversion in *Ralstonia solanacearum* by addition of ion compounds in liquid medium. Journal of Microbiological Methods. 186: 106233.
- 生井恒雄・藤田雅一・富樫二郎. 1997. 鉄化合物処理によるトマト青枯病の発病抑制. 山形大学紀要（農学）. 12：407-412.
- 建部雅子・米山忠克. 1995. 作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. 日本土壌肥料科学雑誌. 66：155-158.
- 渡部哲夫. 2004. 新規製剤クロロピクリンくん蒸剤の特徴と使い方. 植物防疫. 58：447-450.
- 渡部敏夫・鈴木 皓・諸岡 稔. 1960. 暖地水稻の根腐れ防止に関する研究（第1報）－珪鉄施用の効果について－. 日本土壌肥料学会講演要旨集. 6：47.
- 山田朋宏・吉田健実・齋藤猛雄・門馬信二・斎藤 新・松永 啓・佐藤隆徳・坂田好輝. 2010. 青枯病抵抗性トマト安濃9号の育成とその特性. 野菜茶業研究所研究報告. 9：1-6.
- 山崎淳紀・高畑 健・キム オッキョン・根岸寛光・有江力・森田泰彰・篠原弘亮. 2020. ペピーノ（*Solanum muricatum* Aiton）を台木に用いたトマトの青枯病およびトマト萎凋病の発病抑制効果. 東京農業大学農学集報. 65：76-82.