

エアルーム品種トマトが生産する香り成分の年次変動解析： 露地栽培におけるトマト果実の香り成分生産性向上のための 新たな糸口を提供

トマト (*Solanum lycopersicum*) は、世界中で重要な果菜類の一つです。日本で栽培されている主要野菜品目においてもトマトは最も産出額が高く、経済的にも重要な農作物となっています。トマトは品種によって独特の食感や香りなどの「風味」を持つことが知られています。しかし、現在流通しているトマト品種の多くは収量増加に着目して育種選抜されており、収量と引き換えにトマトが持つ「風味」を失っています。そこで、トマトの新たな付加価値として「風味」の向上を目指した研究が世界中で行われています。

香り成分は揮発性有機化合物 (volatile organic compound, VOC) の一種であり、香り成分は遊離型 VOC として存在します。植物は遊離型 VOC に加えて VOC に糖が結合した配糖体由来 VOC を生産します。この化合物は非揮発性ですが、必要に応じて糖が切り離され、配糖体由来 VOC として大気中に放出されます。先祖代々受け継がれてきた伝統的な固定系統トマト品種 (エアルーム品種) はよい香りを持つものが多いことから、これらの品種がどのように香り成分を生産するかを知ることはとても重要です。

T-PIRC 草野都教授、日本大学上吉原裕亮准教授、フロリダ大学 Harry Klee 教授らの研究グループは、9 エアルーム品種を含む合計 13 品種のトマトを同一圃場で 3 年間栽培しました。栽培環境やトマト品種の違いによって、遊離型および配糖体由来 VOC がどのような影響を受けるのかを調べるために、収穫したトマト果実について、非ターゲット VOC プロファイリングを行いました。その結果、遊離型 VOC はすべての品種で 3 年間における総蓄積量が比較的一定なのに対し、配糖体由来 VOC については、エアルーム品種 'Livingstone' s stone' の総蓄積量が 2020 年に突出して高蓄積していることが明らかになりました。2020 年から 2022 年の気象データを参照したところ、収穫の時期にあたる 7 月の日照時間が、2020 年では他の年を比べて約 40% 低かったことから、2020 年における 'Livingstone' s stone' が生産する配糖体由来 VOC の高蓄積は日照時間の低下と関連している可能性を見いだしました。

露地栽培など、外部環境で生育したトマトの品質は、厳密に制御された生育環境とは異なり、天候に左右されることが知られています。本研究は、栽培環境と品種の組み合わせが、「風味」の重要な要素の一つである香り成分の生産性を決める重要な要素の一つとなることを示した研究です。今後は、育種材料となる品種に最適化した栽培条件を用いて栽培したトマト果実に対し、本研究で開発した非ターゲット VOC プロファイリングを行うことで、トマトの香り成分生産向上に関わる生合成経路の解明や香りのよいトマト品種の育種開発に新たな糸口を与えることが期待できます。

研究代表者

筑波大学生命環境系／T-PIRC／理化学研究所環境資源科学研究センター

草野 都 教授

研究背景

トマト果実の風味品質は、消費者の好みおよび市場価値に大きな影響を及ぼす重要な要因であり、その中でも香りは全体的な官能体験において中核的な役割を果たしています。トマトの香りは多様な揮発性有機化合物 (VOC) ^{注1)} によって構成されており、それら化合物間の相互作用により最終的な香気特性が決定されます。含量が低い香り成分であっても、嗅覚閾値が低い場合には香りに顕著な影響を及ぼすことから、香りを体系的に理解することは、トマト風味形成機構の解明において極めて重要であると考えられます。

これまでの研究により、トマトの香りに関連する VOC は、脂肪酸、アミノ酸ならびにカロテノイド代謝産物など、複数の代謝経路に由来することが明らかにされています。これらの VOC は、遊離型として直接存在するタイプと、糖と結合した配糖体由来型として果実組織中に蓄積されるタイプが存在します。

トマトの香りは品種の遺伝的背景のみによって規定されるものではなく、生育環境とも密接に関連しており、気温、光条件、降水量といった環境要因は、代謝活動の調節を介して VOC の生合成および蓄積に影響を及ぼすことが知られています。近年、気候条件の不安定化が進む中で、環境変動が香り関連代謝経路に与える影響を明確にすることは、果実品質の安定化および風味向上の観点から実用的にも重要であると考えられます。

以上の背景を踏まえ、本研究では多年度にわたる圃場試験を実施し、異なるトマト品種における遊離型 VOC および配糖体由来 VOC の組成特性を統合的に解析することで、環境要因がトマト果実の香り成分生産性に与える影響をより包括的に理解することを目的としました。

研究内容および成果

本研究では、エアルーム品種を含む合計 13 品種のトマトを対象に、3 年間 (2020 年 - 2022 年) にわたる連続した圃場栽培試験を実施し、異なる年次および品種間における遊離型および配糖体由来 VOC の組成および含量の違いを明らかにするため、非ターゲット VOC プロファイリングを行いました。VOC の検出および定性・定量分析には HS-SPME-GC-MS ^{注2)} を用い、その同定は化合物ライブラリー比較により行いました。その結果、合計 41 種の遊離型 VOC および 35 種の配糖体由来 VOC が検出され、これらのうちアルデヒド類、ケトン類、エステル類が全体の 50% 以上を占めることが明らかになりました (図 A)。

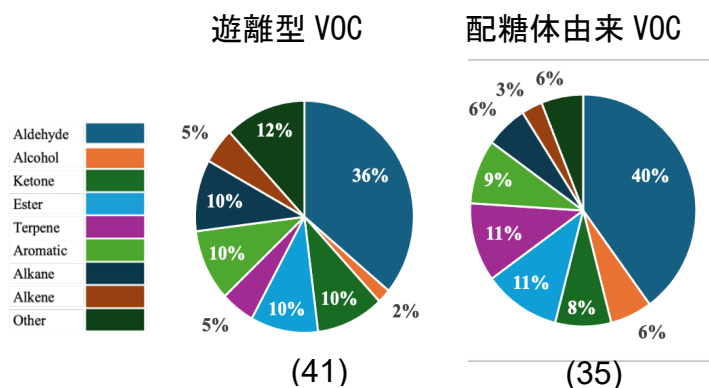
次に、多変量解析により気候要因と化学成分変動との関係性を評価しました。主成分分析 (PCA) ^{注3)} の結果 (図 B) から、VOC プロファイルに対する年次間差 (気候条件の違いなど) の影響は、品種間差よりも顕著に大きいことが明らかとなり、環境要因がトマトの香り生産性に影響を与える主要因子であることが示唆されました。その中で、エアルーム品種のひとつである 'Livingstone' s stone' では、2020 年収穫果実サンプルに含まれる配糖体由来 VOC が有意に高蓄積する傾向が認められたことから (図 C)、特定の自然環境条件が香り成分生産性に影響を与えることが示唆されました。これにより、エアルーム品種が有する潜在的な香気価値を浮き彫りにしました。

今後の展望

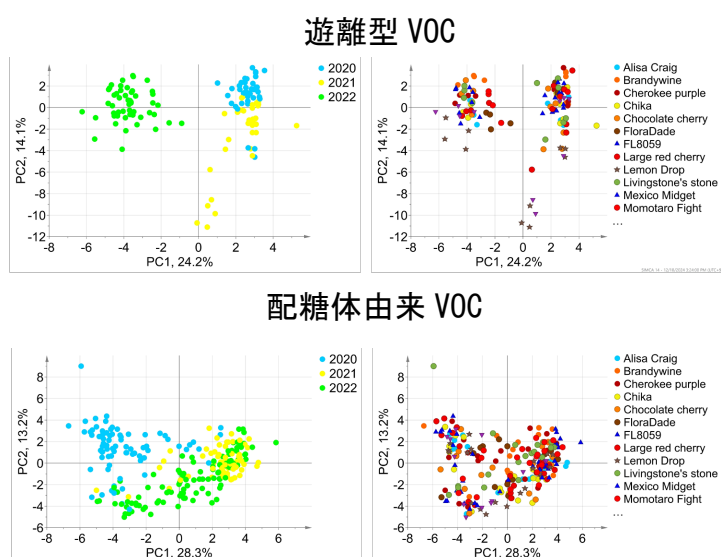
遊離型および配糖体由来 VOC の両方を分析対象とした非ターゲット VOC プロファイルを統合的に評価することで、トマト果実の潜在的な香りポテンシャルをより包括的に把握できる可能性を見いだすことができました。本研究で確立した統合的評価フレームワークは、トマトが生産する香り成分の生合成経路とその制御機構および環境応答に対する生産性に対する理解を深化させるとともに、気候変動下におけるトマト果実風味のより精緻な評価を可能にします。さらに、本研究成果は香り関連形質に関する新たな遺伝資源の選抜、品種改良および栽培管理戦略の最適化に資する科学的基盤を提供し、トマト果実の風味品

質およびその安定性の向上に向けた取り組みを加速することが期待できます。

A



B



C

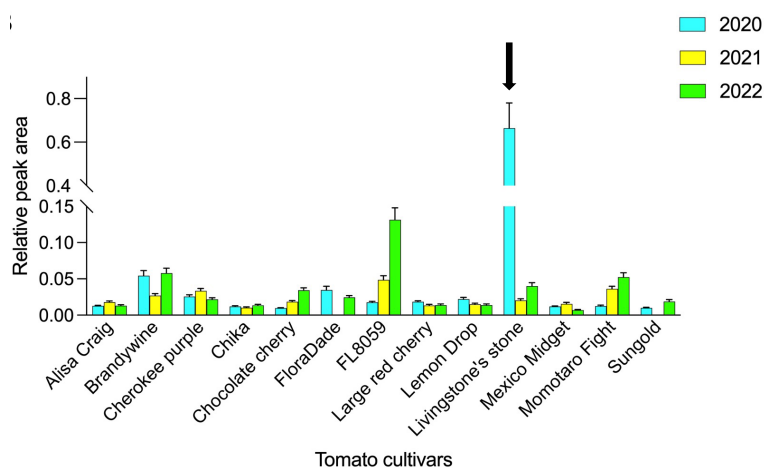


図 本研究の概要

A. トマト果実中に存在する遊離型および配糖体由来 VOC の種類と構成比。カッコ内の数は VOC 数を示す。B. 3 年間にわたる 13 品種トマトの遊離型および配糖体由来 VOC プロファイルデータを用いた主成分分析 (PCA)。その結果、品種間の差異よりも年次間の環境条件の差異の方が顕著であることが示された。C. 3 年間にわたる 13 品種トマトにおける配糖体由来 VOC 総含量の比較。2020 年において、他の品種と比べて 'Livingstone' s stone' は配糖体由来 VOC の総含量が著しく高いことから、栽培環境の最適化により高い香気ポ

テンシアルを有する可能性が示唆された。

用語解説

注 1) 揮発性有機化合物 (volatile organic compound, VOC)

常温条件下で容易に揮発する有機化合物の総称であり、主に芳香族化合物、炭化水素類、ならびに酸素・窒素・硫黄を含む化合物などが含まれる。

注 2) ヘッドスペース固相マイクロ抽出ーガスクロマトグラフィー質量分析法 (HS-SPME-GC-MS)

固体、液体または気体試料中の揮発性および半揮発性化合物を分析するための、迅速で溶媒を使用しない高感度な分析手法である。香り成分のプロファイリング、食品安全性評価、環境汚染物質の分析などに広く用いられている。

注 3) 主成分分析 (principal component analysis, PCA)

教師なし学習に基づく次元削減手法の一つであり、線形変換によって高次元データを低次元の部分空間へ写像することで、データの分散（特徴）を可能な限り保持しつつ複雑性を低減することを目的とする。

研究資金

本研究は、国立大学法人による運営費交付金を通じた「持続可能な食料安全保障研究プロジェクト」の支援を一部受けて実施されました。また、本研究は科学技術振興機構 (JST) ASPIRE プログラム (JPMJAP24A3) から一部助成を受けました。

掲載論文

【題名】 Effect of climate conditions on the free and glycoside-derived volatile compounds in tomato cultivars

(トマト品種における遊離揮発性化合物および配糖体由来揮発性化合物に対する気候条件の影響)

【著者名】 Y. Li¹, Y. Kamiyoshihara², Y. Asikin^{3,4}, D. Tieman⁵, H. Klee⁵ and M. Kusano^{6,7,8,*}

【所属】 ¹Degree Programs in Life and Earth Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan

²College of Bioresource Sciences, Nihon University, Fujisawa 252-0880, Japan

³Department of Bioscience and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, Nishihara 903-0213, Japan

⁴United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

⁵Department of Horticultural Sciences, University of Florida, Gainesville FL 32611, USA

⁶Faculty of life and environment science, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan

⁷Tsukuba-Plant Innovation Research Center, University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Ibaraki, Japan⁸RIKEN Center for Sustainable Resource Science, Kanagawa 230-0045, Japan

【掲載誌】 *Plant Biotechnology*

【掲載日】 2025 年 12 月 22 日

【DOI】 10.5511/plantbiotechnology.25.0717a