



名城大学

配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2024 年 1 月 5 日

報道機関 各位

プラズマ照射で農薬を使用せず栽培溶液を”その場殺菌” ～低環境負荷技術を通じた食料安全保障への貢献に期待～

【本研究のポイント】

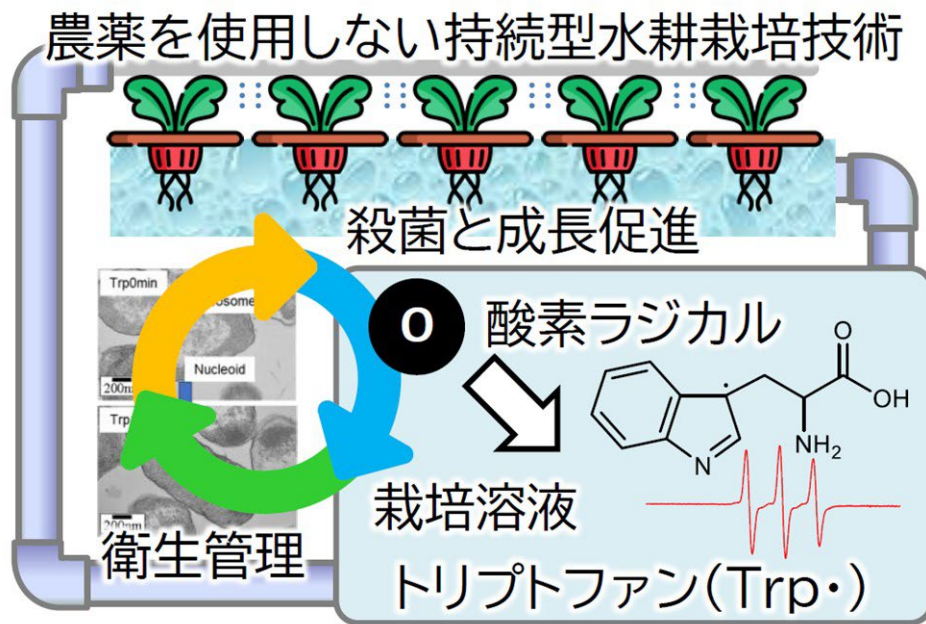
- ・低温プラズマで生成した酸素ラジカル^{注 1)}を栽培溶液に照射し、農薬を使用せず栽培中に殺菌処理できる“その場殺菌”技術を開発。
- ・栽培溶液中のアミノ酸のトリプトファン^{注 2)}をラジカル化し、大腸菌の代謝異常を誘導できる。
- ・水耕栽培の溶液処理システムにおける衛生管理の基盤技術として有望である。

【研究概要】

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学大学院工学研究科の岩田 直幸 博士、同低温プラズマ科学研究センターの堀 勝 特任教授、田中 宏昌 教授、石川 健治 教授らの研究グループは、名城大学プラズマバイオ応用研究センターの伊藤 昌文 教授、加藤 雅士 教授、志水 元亨 准教授、西川 泰弘 准教授らとの共同研究で、低温プラズマで生成した酸素ラジカルを、トリプトファンを含む栽培溶液に照射することで、生成したトリプトファン・ラジカルが大腸菌内の酵素不活性化や代謝異常を誘導する、という“その場殺菌”技術の開発に成功しました。本共同研究グループは、世界に先駆けて、殺菌剤を使わずに電気エネルギーから生成する低温プラズマによる殺菌技術を実現してきました。今回、その技術をさらに発展させ、最新水耕栽培における溶液の衛生管理技術として有望である酸素ラジカルによる殺菌技術の開発に成功しました。

本研究では、SDGsやみどりの食料システム戦略^{注 3)}の下で化学農薬が削減・制限される作物生産においても、自然エネルギーから得られた電気エネルギーを元に窒素と酸素、水蒸気を含む大気を低温プラズマ化するだけで、殺菌に利用することができる革新的な技術を実現しました。この技術は、カーボンニュートラルに掲げられる脱化石燃料、温室効果ガス低減の目標に向けた技術開発に貢献することが期待されます。

本研究成果は、2023 年 12 月 21 日付国際科学雑誌「Environmental Technology & Innovation」に掲載されました。



【研究背景と内容】

気候変動による農業被害や国際情勢の不安定化は日本の食料安全保障にとって大きなリスク要因です。水耕栽培農法は、気候に依存しない安定した生産、高い生産性、土地や水資源の効率的な利用が可能である点などから、上記のリスク要因を克服する持続可能な食料生産システムとして注目されています。この農法では、栄養を含む溶液を根に供給して栽培するため、その溶液を無駄なく管理するためには、病害や腐敗を防ぐ必要性から微生物の増殖を抑制する必要があります。そのために、栽培前の溶液には殺菌剤などの農薬の使用が必要であり、また溶液の廃棄処理が環境的に課題となっています。

本研究成果では、養分として添加するアミノ酸の一つであるトリプトファンが入った溶液に、低温プラズマによって生ずる酸素ラジカルを照射する間に、短寿命なトリプトファンラジカル(トリプトファンのインドール環上の水素が取れたもの)が生成すること、また、処理後短時間の内に細菌内の生存に係わる異化作用の炭素代謝の酵素の失活が顕著に見られ殺菌を実現することを初めて見出しました。

上記成果の応用により、太陽エネルギーなどの自然エネルギーで得られる電気エネルギーから、大気中の窒素と酸素、水を低温プラズマによって化学的に活性化することで、殺菌の効果を得ることができ、廃溶液を大幅に減らせる可能性があります。また、化学農薬や熱エネルギーを使用することも削減できるので、化石燃料を使用する農薬の生産や、環境への汚染や残留を削減できる基盤技術として、その実用化のポテンシャルをもつことを十分に示唆する結果です。

本研究では、酸素ラジカル($O\cdot$)が照射されているトリプトファン溶液中で、トリプトファン(Trp)から、そのラジカル(Trp $\cdot$)が生成し、速やかにフォルミルキヌレリン(FKYN)やキヌレリン(KYN)の生成に至ることを示しました(図2)。生体内の生化学反応でなく、酸

酸素ラジカル供給した人工的な環境でのキヌレリンの生成の反応スキームを見出しており、プラズマ駆動の生化学反応の一例となっています。また、これらの FKYN や KYN には殺菌作用は見られず、酸素ラジカル照射中にのみ殺菌作用が働くことが明らかになりました。さらに、この殺菌は大腸菌の形態観察結果から形態の顕著な変化は見られずに(図3)、菌の増殖の抑制が見られています。菌内代謝物のメタボローム分析を行ったところ、生存に必須となる解糖系やトリカルボン酸回路に失活(図4)、解糖系酵素の一つである GAPDH 酵素^{注4)}の失活(図5)が見られ、これらが^{注4)}大腸菌の増殖を抑制した原因と考えられます。

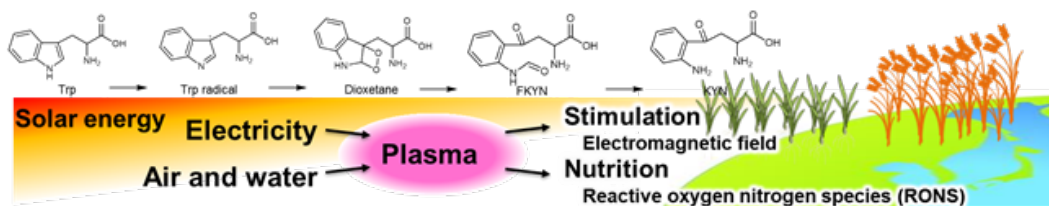


図1 低温プラズマ技術が、革新的な農法への発展をもたらす基盤的な技術になることが期待されている。例えば、電気と大気さえあれば熱や化学農薬を使わずに済む殺菌技術や、環境刺激や養分の生成を通じた植物の成長を促進する技術として、持続可能な作物生産への貢献が期待される。

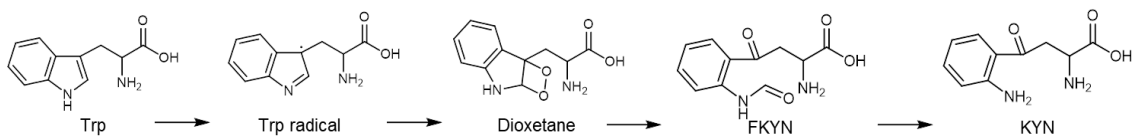


図2 酸素ラジカルを照射したトリプトファン(Trp)溶液内では、トリプトファンのラジカル(Trp $\cdot$)が生成し、その後、フォルミルキヌレリン(FKYN)を経てキヌレリン(KYN)が生成している。但し、これらの FKYN と KYN に殺菌作用は見られない。

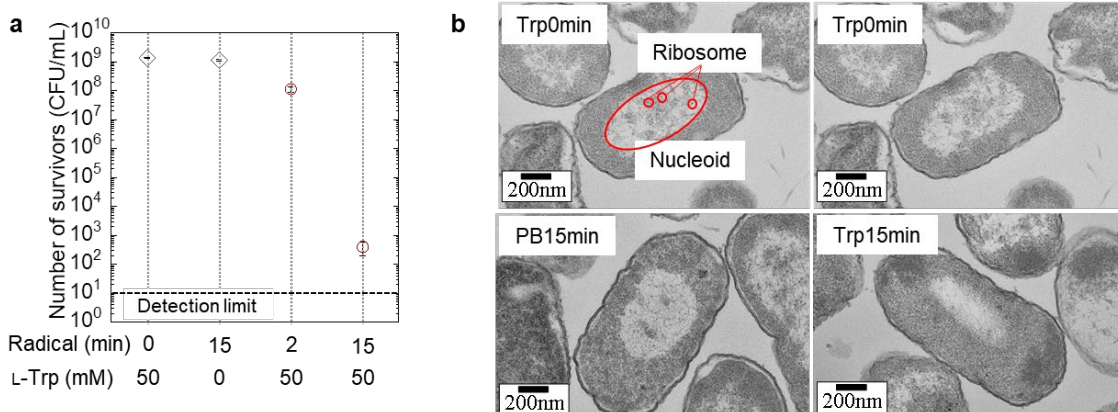


図3 酸素ラジカルを照射したトリプトファン溶液によって大腸菌の形態には顕著な変化は見られなかったが、その増殖には抑制が見られた。

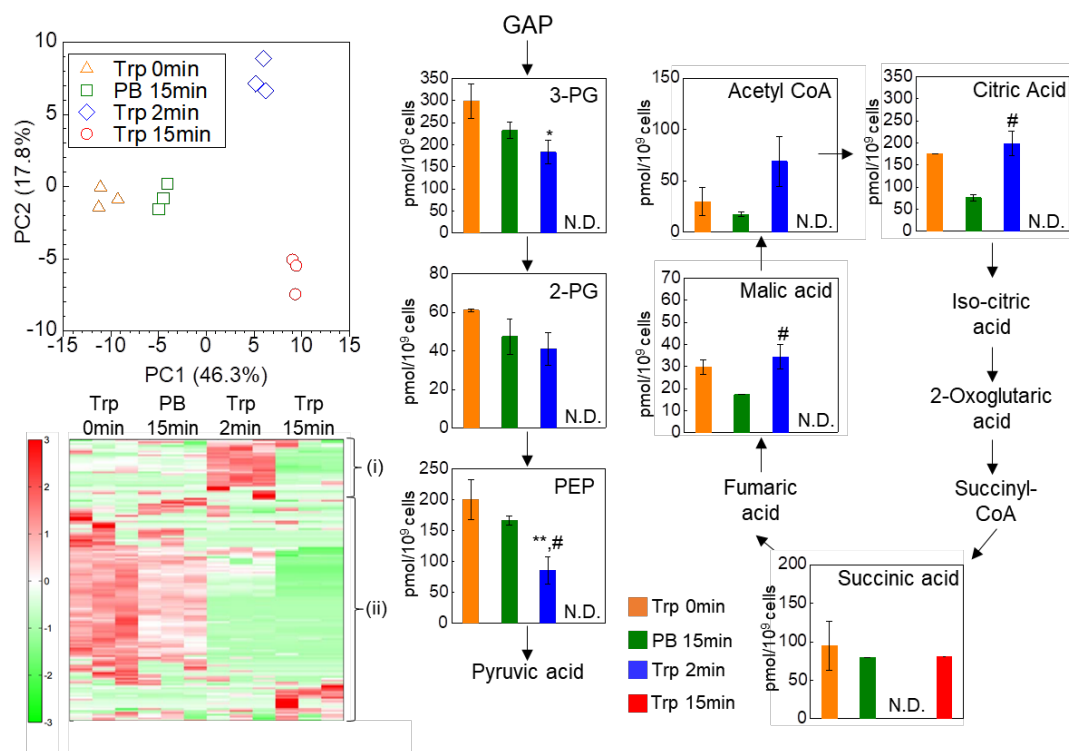


図4 酸素ラジカルを照射したトリプトファン溶液に溶存する大腸菌の細胞内の代謝物を調べたところ、解糖系やトリカルボン酸回路に由来する代謝物に変化が見られ、代謝異常が発生し死滅していると分かる。

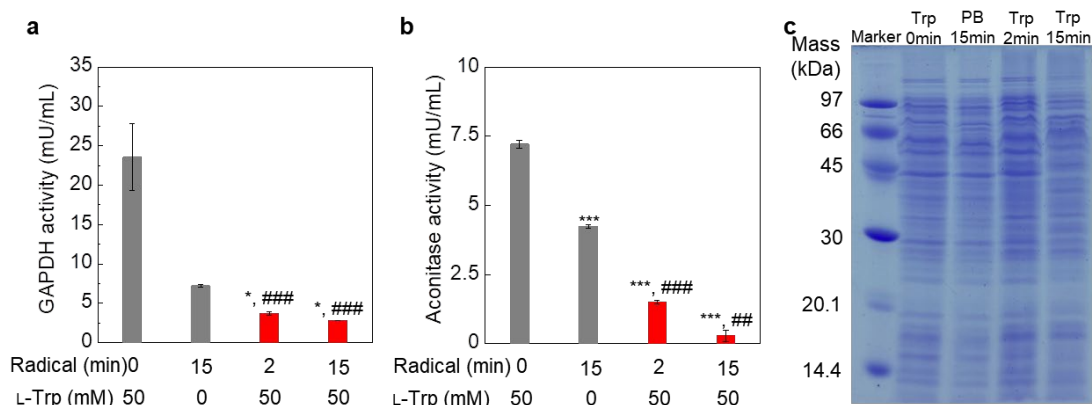


図5 解糖系の酵素である GAPDH の酵素活性を調べたところ、酸素ラジカルを照射したトリプトファン溶液では顕著な失活が見られた。

【成果の意義】

本研究は、化学農薬を使わずに、電気と大気から低温プラズマによって水耕栽培の溶液の殺菌を栽培期間中に実施することができ、衛生管理の技術を実用化する上で、重要な基盤技術の開発を達成したものであり、持続可能な作物生産に向けた農法の飛躍的な技術の進歩を示すものです。

本研究は、2020年度から始まった名古屋大学低温プラズマ科学研究センターにおけ

る『共同利用・共同研究』と名城大学研究センター推進事業費の支援、JSPS 科研費 19H05462 の助成を一部受けて行われたものです。

【用語説明】

注 1)酸素ラジカル:

分子が共有する電子対が解離して不対電子もつ酸素原子のこと。ここでは低温プラズマで生成させた高速電子を衝突させることで酸素分子が解離して生成する。

注 2)トリプトファン:

芳香族アミノ酸の一種であり、化学式 $C_{11}H_{12}N_2O_2$ であり、ピロール環(四個の炭素と一個の窒素が頂点をもつ五角形を形作る)とベンゼン環(六個の炭素が六角形を形作る)が縮合したインドール環を側鎖にもつ。

注 3)みどりの食料システム戦略:

我が国の農林水産省が2021年に策定した食料生産の方針のこと。中長期的な観点から、我が国の食料・農林水産業を生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現することを推進し、数値目標に2050年までに「化学農薬の使用量を 50%低減」、「輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を 30%低減」を達成することなどが掲げられる。

注 4)GAPDH 酵素:

グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼ (GAPDH: Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase)の意. 解糖系の重要な触媒。

【論文情報】

雑誌名: Environmental Technology & Innovation (Elsevier 社 学術雑誌)

論文タイトル: Oxygen radical irradiation transforms an organic fertilizer l-tryptophan into an environment and human-friendly bactericide

著者: Naoyuki Iwata, Kenji Ishikawa, Hiromasa Tanaka, Masaru Hori (名古屋大学)

Yasuhiro Nishikawa, (名城大学 薬学部)

Hiroyuki Kato, Motoyuki Shimizu, Masashi Kato, (名城大学 農学部)

Masafumi Ito (名城大学 理工学部)

DOI: 10.1016/j.eti.2023.103496

URL: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103496>