

修士学位論文要約（平成29年3月）

農業応用水添加空気プラズマジェットの高機能化

嶋田 啓亮

指導教員：金子 俊郎， 研究指導教員：高島 圭介

Enhancing Performance of Water Introduced Air Plasma Jet for Agricultural Application

Keisuke SHIMADA

Supervisor: Toshiro KANEKO, Research Advisor: Keisuke TAKASHIMA

We enhanced performance of Water Introduced Air Plasma Jet (WAPJ) and investigated the correlation between suppression effect on conidia germination and reactive species generated by the WAPJ's ejected gas exposure (air plasma effluent exposure). The enhanced WAPJ can suppress conidia germination with 20 seconds' the air plasma effluent exposure while it took 60 seconds in the previous study. The suppression effects are increased with the mass flow rate of H_2O into plasma (F_{H_2O}) and air flow rate (F_{air}). Also, the generation of H_2O_{2aq} , $NO_2^-_{aq}$, $NO_3^-_{aq}$, and O_{3gas} are increased with F_{H_2O} and F_{air} while those are found to be insufficient for conidia germination suppression respectively. It is suggested that those reactive species generated by the air plasma effluent exposure may react and generate reactive species which have suppression effects on conidia germination.

1. はじめに

現在、農場での植物病害防除には化学農薬の使用が主流になっているが、薬剤耐性個体の出現などが問題となっており、化学農薬を補う病害防除手法の開発が求められている。このような中、大気圧プラズマによって生成される活性種を利用した殺菌手法が注目を集めている¹⁾。先行研究において、水添加空気プラズマジェットから排出される活性種を含むガス（プラズマ活性ガス）を利用する殺菌手法が開発され、プラズマ中への水導入が殺菌効果を高めることが明らかにされたが、殺菌処理に必要な時間の短縮や人体に有害なプラズマ生成物であるオゾン暴露量を減らす、生成活性種の制御性向上といった課題が残されている。本研究では、植物に対して低侵襲なプラズマ利用病害防除手法の確立に向けて、農業応用水添加空気プラズマジェットの高機能化およびプラズマ活性ガス噴霧による、いちご炭疽病菌分生子発芽抑制効果のメカニズム解明を行った。

2. プラズマジェット装置の高機能化

プラズマ活性ガスの殺菌効果および生成化学種の選択性向上を目指し、プラズマ中への最大水導入量を $143 \mu\text{L}/\text{min}$ から $1500 \mu\text{L}/\text{min}$ まで増加させたプラズマジェット装置“活性種制御型プラズマジェット”を開発した。図1に水添加空気プラズマジェット装置の概要図を示す。石英管の内側と外側に設置した2つの電極が重なり合う領域において誘電体バリ放電を起こし、水添加空気プラズマを生成する。いちご炭疽病菌分生子懸濁液に対してプラズマ活性ガス噴霧を行い、分生

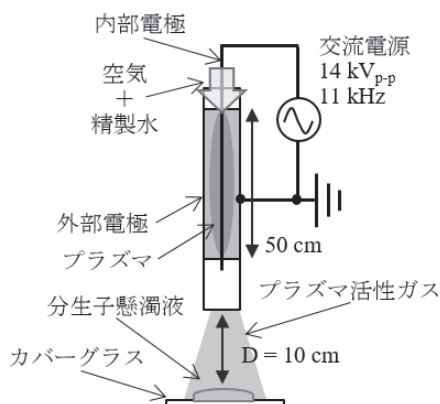


図1. 水添加空気プラズマジェット装置の概要図

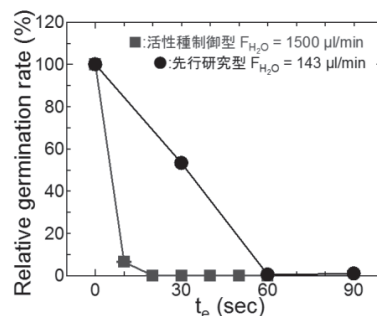


図2. 発芽率の活性ガス噴霧時間依存性 ($F_{air} = 16 \text{ L}/\text{min}$).

子への発芽抑制効果およびオゾン曝露量を調べた。図 2 に分生子発芽率の活性ガス噴霧時間に対する依存性を示す。先行研究型に比べて、分生子の発芽抑制に必要な時間が 60 秒から 10 ~ 20 秒まで短縮することができた。また、分生子発芽抑制時のオゾン暴露量は先行研究に比べて 6 割程度減少している (図 3)。以上のことから、活性種制御型プラズマジェットにおいて、プラズマ処理時間の短縮および生成活性種の制御性向上を両立が可能になったと言える。

3. 分生子発芽抑制メカニズムの解明

プラズマ中に導入する水の量 (F_{H_2O}) および原料ガスの空気流量 (F_{air}) を変化させながら活性ガス噴霧を行い、発芽率と活性種との関連性を調べた。図 4 に異なる空気流量における分生子発芽率の水導入量依存性を示す。水導入量が増加すると発芽率は減少することがわかった。図 5(a), (b) に異なる空気流量で活性ガス噴霧を行った際における、液中活性種濃度の水導入量依存性を示す。水導入量の増加に伴い、 H_2O_2 、 NO_2^- および NO_3^- ($HNO_3 \rightarrow NO_3^- + H^+$) が増加しているが、これらの活性種濃度では分生子発芽抑制効果がみられないことがわかっていて。よって、液中において $H_2O_2 + NO_2^- + H^+ \rightarrow HOONO + H_2O$ の反応が生じて $HOONO$ (過酸化亜硝酸) が生成され、分生子発芽抑制効果に寄与する可能性が示唆された。過酸化亜硝酸はプラズマ照射によって液中で生成され、殺菌効果に寄与するという報告があり²⁾、活性ガス噴霧による発芽抑制効果に有用な活性種であると考えられる。ただし、空気流量が低い場合、液中活性種濃度が高いにもかかわらず発芽率は高くなっていることから、空気流量が増加したことによる分生子発芽抑制効果の向上は、過酸化亜硝酸以外の要因が考えられる。空気流量が増加した際にはオゾン暴露量が増加するが、計測したオゾン暴露量では分生子発芽抑制効果を示さないことがわかっていて。よって、液中に溶け込んだオゾンおよび液中活性種が $H_2O_2 + O_3 \rightarrow OH + HO_2 + O_2$ のような反応を起こして OH (ヒドロキシルラジカル) や HO_2 (ヒドロペルオキシラジカル) を生成することで、発芽抑制効果を発揮する可能性が示唆された。

4. まとめ

植物に対して低侵襲なプラズマ利用病害防除手法の確立に向けて、農業応用水添加空気プラズマジェットの高機能化を行い、10 ~ 20 秒の活性ガス噴霧によっていちご炭疽病菌分生子の発芽を抑制しつつ、人体に有害なオゾンの暴露量減少を両立させることができた。また、プラズマ活性ガス噴霧による殺菌メカニズムの解明に向けた実験を行ない、活性ガス噴霧によって液中に生成された過酸化水素、亜硝酸イオン、水素イオンおよび液相に溶け込んだオゾンが

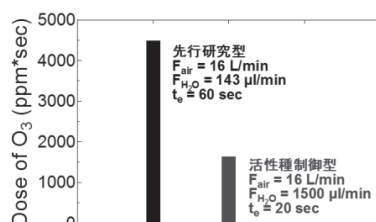


図 3. 発芽抑制時のオゾン曝露量

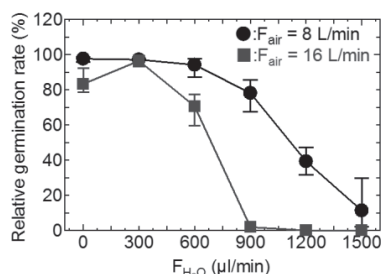


図 4. 発芽率の水導入量依存性

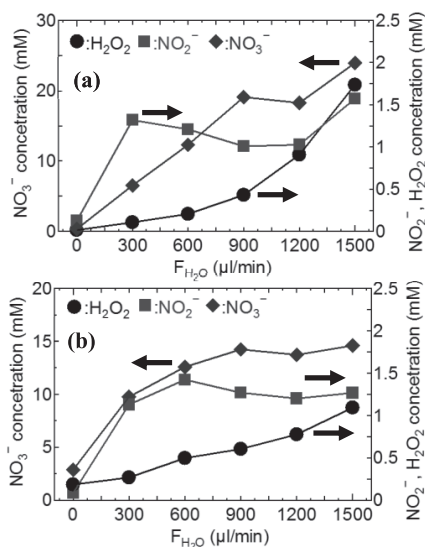


図 5. 活性種濃度の水導入量依存性
(a) $F_{air} = 8$ L/min, (b) $F_{air} = 16$ L/min

反応することにより、過酸化亜硝酸、ヒドロキシルラジカル、ヒドロペルオキシラジカルなどの高い反応性を持つ短寿命活性種が生成され、分生子発芽抑制効果に寄与する可能性が示唆された。

文献

- 1) N.N. Misra, et al., J. Food Eng. **125** (2014) 131.
- 2) P. Lukes, et al., Plasma Sources Sci. Technol. **23** (2014) 015019.