

農地からの N_2O 排出抑制のための窒素循環・微生物叢制御技術開発06003
a1

分野

適応地域

【研究グループ】

農研機構・高度分析研究センター、農業環境研究部門

【研究期間】

令和6年度(1年間)

農業－
農業環境

全国

【研究総括者】

農研機構・高度分析研究センター 山崎 俊正

キーワード 地球温暖化、化学肥料削減、一酸化二窒素(N_2O)削減、脱窒抑制剤、メタゲノム創薬

1 研究の目的・終了時の達成目標

CO_2 の273倍もの温室効果を有する一酸化二窒素(N_2O)は、農地からの脱窒反応としても排出されている。本課題は、脱窒反応による排出を半減させることを可能にする微生物制御技術の開発を目的とする。さまざまな農地土壌のメタゲノム解析によって得られた亜硝酸還元酵素(NirK ニルケー)の情報を基に、構造ベース創薬の手法で得られた候補化合物の効果を分離脱窒菌と土壌マイクロコズム系で実証し、実験室レベルで N_2O の生成を90%以上抑制するNirK阻害剤のリード化合物を複数選抜することを目標とする。

2 研究の主要な成果

- (1) 19万種の化合物ライブラリから多様な構造のNirK阻害候補化合物を得た。
- (2) 本プロジェクトの開始前に取得した候補化合物を精査し、土壌添加時に阻害活性が20%以上残存する2化合物を選抜した。
- (3) 農耕地土壌中の多様なNirKの分布を明らかにするため、黒ボク土の農地土壌からDNAを抽出し、ショットガンメタゲノムシーケンスを実施した。その結果、NirKの中で存在割合が高いグループ(CladeII)を特定した。特に、サブクレードII-3、II-17に属するNirKの存在割合が高く、抑制剤の標的として重要なことが判明した。
- (4) 実験室レベルの土壌(灰色低地土)マイクロコズム系において、 N_2O の生成を約95%阻害する化合物を同定し、目標としていた90%以上の抑制率を達成した。

3 今後の展開方向

- (1) 19万種より大規模なライブラリからのスクリーニングと化合物構造の最適化により、圃場において N_2O 発生抑制効果を50%まで強化した化合物を創出する。
- (2) 脱窒抑制剤のNirK阻害機構を明らかにして、阻害機構に基づいた合理的デザイン手法を確立する。
- (3) 農耕地土壌でのNirKメタゲノムデータを用いてNirKの分布と土壌特性との関係を解明し、作物の栽培特性や圃場環境に合わせた制御法を構築する。

【今後の開発・普及目標】

- ① 2年後(2026年度)までに、NirK阻害剤候補の圃場での効果を検証。
- ② 5年後(2029年度)ごろまでに慢性毒性、残留毒性、生態毒性等の農薬と同等の安全性試験を実施。
- ③ 最終目標は上市(2033年度以降)。地域別、作物別の利用法の検討。カーボנקレジット市場の検討。

4 開発した技術・成果の実用化により見込まれる波及効果及び国民生活への貢献

- (1) 脱窒抑制剤(NirK阻害剤)は、硝化抑制剤との併用により N_2O 発生を抑制し、カーボンニュートラルに貢献するとともに、化学肥料の使用量を削減する。カーボנקレジット市場の活用により1兆円規模を超える市場の創出が期待できる。さらに本技術は排水や廃棄物処理への応用も期待される。
- (2) 世界の農耕地土壌で微生物による N_2O 生成を50%抑制できれば4000万t-Nの窒素損失防止が期待でき、石油消費削減、 N_2O 発生抑制、富栄養化等環境汚染の防止に繋がる。さらに、窒素あたりのバイオマス生産効率が向上することで、施肥等にかかる労働コストを大幅に削減できる。

(06003a1) 農地からのN₂O排出抑制のための窒素循環・微生物叢制御技術開発

研究終了時の達成目標

メタゲノム情報を基にした構造ベース創農薬の手法を駆使し、土壌マイクロコズム系でN₂Oの生成を90%以上抑制するNirK阻害剤のリード化合物を複数選抜する。

研究の主要な成果

- (1) 大規模探索により、多様な構造のNirK阻害候補化合物を得た。

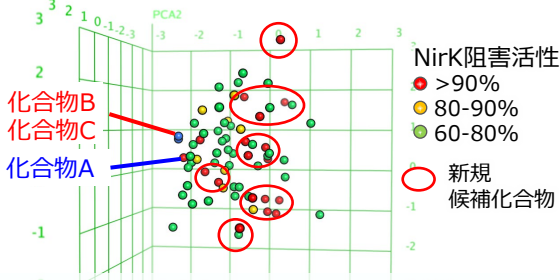


図1. 取得した阻害化合物の構造多様性
空間上のポイントが遠いほど、化合物構造が異なる
→ 化合物構造を拡充することで、新たなNirK阻害化合物のデザインに必要な情報が得られた

- (3) 多様な農耕地土壌からDNAを抽出しショットガンメタゲノム解析を行った。Clade IIタイプNirKの存在割合が高く、抑制剤の標的として重要なことが判明した。

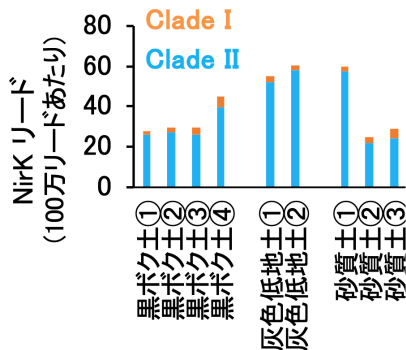


図3. 日本の農耕地土壌で検出されたNirKのリード数（存在割合）

- (2) 土壌添加時に阻害活性が20%以上残存する2化合物を選抜した。

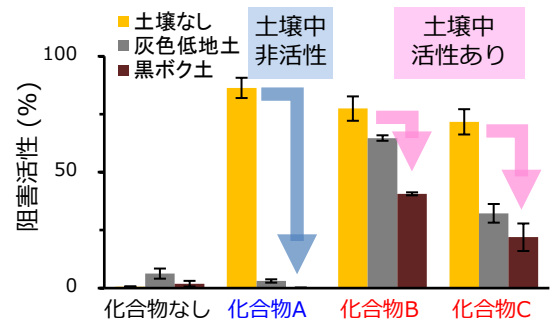


図2. 脱窒菌培養液に土壌を添加したときの阻害活性

- (4) 実験室レベルの土壌（灰色低地土）系において、N₂O生成を約95%阻害する化合物を同定し、目標とする90%以上の抑制率を達成した。

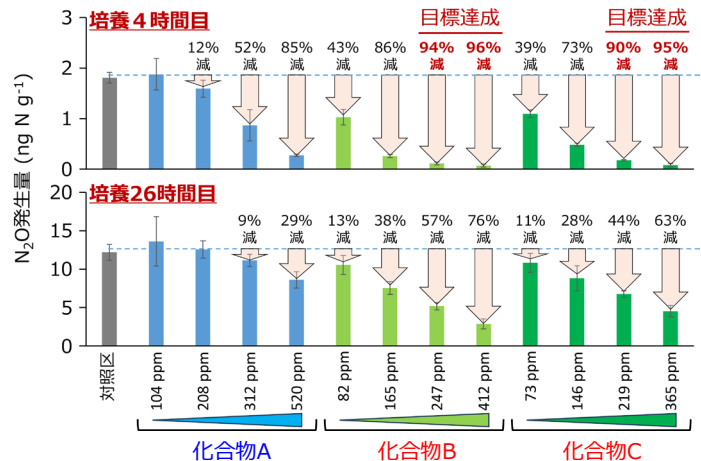


図4. 土壌からのN₂O発生量に対する化合物の影響

今後の展開方向

- (1) 化合物構造の最適化により、圃場における微生物由来のN₂O発生抑制効果を強化
- (2) 脱窒抑制剤のNirK阻害機構を明らかにし、阻害機構に基づいた合理的デザイン手法を確立
- (3) 土壌特性とNirKの分布の関係を解明し、作物の栽培特性や圃場環境に合わせた制御法を構築

見込まれる波及効果及び国民生活への貢献

- (1) N₂O発生抑制によるカーボンニュートラルの実現と化学肥料の使用量削減
- (2) 石油消費の削減、N₂O発生抑制、富栄養化などの環境汚染の防止
- (3) カーボンクレジット市場の活用による農業収益の向上