

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「生物資源」

研究課題名「生物的硝化抑制 (BNI) 技術を用いたヒンドウスタン

平原における窒素利用効率に優れた小麦栽培体系の確立」

採択年度：令和3年（2021年）度/研究期間：5年/相手国名：インド

令和3（2021）年度実施報告書

国際共同研究期間<sup>\*1</sup>

2022年 月 日から2027年 月 日まで

JST側研究期間<sup>\*2</sup>

2021年 6月 1日から2027年 3月 31日まで

(正式契約移行日 2022年 4月 1日)

\*1 R/Dに基づいた協力期間（JICAナレッジサイト等参照）

\*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者： 飛田 哲

国際農林水産業研究センター・特定研究主査

# I. 国際共同研究の内容 (公開)

## 1. 当初の研究計画に対する進捗状況

### (1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2021年度 (10ヶ月)	2022年 度	2023年 度	2024年 度	2025年 度	2026年 度 (12ヶ月)
<p>1. インド優良コムギ品種への BNI能の導入</p> <p>1-1 インド優良コムギ品種と BNI強化国際コムギ系統の交配</p> <p>1-2 戻し交配による遺伝的固定と BNI能の確認</p> <p>1-3 BNI強化インド優良コムギ系統の圃場試験</p> <p>1-4 普及を進めるべき BNI強化インド優良コムギ系統の選定</p>		<p>Lr#n 短腕 導入系統の育成</p> <p>Lr#n 短腕導入インド 優良コムギ系統</p>	<p>BC2F2 世代の BNI 能確認</p> <p>BC4F2 世代の BNI 能確認</p>	<p>BC2F2 での 予備試験</p> <p>BC4F2 での 試験</p> <p>BC4F2 世代の 農業形質情報</p>	<p>普及に向けた BNI 強化インド優良コムギ系統</p>	
<p>2 BNIの分子的機作の解明</p> <p>2-1 BNI強化コムギ系統に導入された Lr#n 短腕の短縮に向けた分子マーカーの開発</p> <p>2-2 Lr#n 短腕を短縮、導入した同祖染色体組換え系統による BNI関連遺伝子の探索</p> <p>2-3 Lr#n 短腕を導入した国際コムギ系統の BNI物質の同定</p>		<p>Lr#n 短腕由来の 遺伝子の単離と マーカーの開発</p>	<p>開発した分子マーカーによる Lr#n 短腕の詳細マッピング</p> <p>Lr#n 短腕内の BNI 関連 遺伝子に関する情報</p>	<p>選抜マーカーとしての BNI 物質 活用プロトコル</p> <p>BNI 物質の圃場における 動態の解析</p>		<p>BNI 物質の探索</p>
<p>3 BNIの土壌窒素動態への影響の評価</p> <p>3-1 BNI強化国際コムギ系統導入による土壌窒素動態への影響調査</p> <p>3-2 BNI強化コムギ系統の導入がコムギ栽培体系の土壌窒素収支に及ぼす影響の評価</p>		<p>窒素動態測定に適した圃場の選定</p> <p>BNI 強化国際コムギ系統を用いた土壌窒素動態の解析</p>	<p>BNI 強化コムギ系統における窒素収支モデルの構築</p> <p>BNI 強化コムギ系統導入前後の窒素収支の解析</p>			

3-3 BNI能を持つインド優良コムギ系統による土壌窒素動態への影響の確認				BC4F2での試験	BNI強化インド優良コムギ系統を用いた土壌窒素動態の解析	
4 BNI強化コムギ品種導入による地球環境ならびに農家経済へのインパクトの評価 4-1 ヒンドウスタン平原のコムギ栽培農家における営農調査 4-2 BNI強化コムギ系統の導入適地の明示 4-3 BNI強化コムギ品種の導入効果の実証と環境ならびに農家経済へのインパクト事前評価 4-4 BNI強化品種の普及に向けたステークホルダーへの啓蒙活動 4-5 広告物の作成 4-6 政策提言ペーパーの作成と手交		コムギ栽培農家のベースライン調査 BNI強化国際コムギ系統の広域多地点栽培試験 BNI強化国際コムギ系統を使用した参加型栽培試験	BNI強化国際コムギ系統の地域適応性 ステークホルダーのBNI技術への理解向上		窒素収支と農家経済を両立するためのBNI強化コムギ系統の事前評価 BNI強化コムギ系統の利用に向けた枠組み BNI強化コムギ系統の利用に向けた広告物 BNI強化コムギ系統の利用に向けた政策提言	

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

構想に大きな変更はなく、2022年度からの日印共同研究プロジェクトの開始に向けて準備を行った。ただし、BNI強化インド品種の育成までをプロジェクトの5年間で達成するのは難しいことから、「BNI技術を導入した窒素利用効率に優れたコムギ栽培システムが提案され、プロジェクトサイトで実証される」ことを達成目標とし、さらに「BNI導入コムギ栽培システムの便益が広く認識される」ことを上位目標とした。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

このプロジェクトは、生物的硝化抑制の能力を持ったコムギ品種の育成と普及という独創的かつ新規的な技術によって、コムギ生産システムにおける窒素利用効率を高め、地球規模課題である反応性窒素による地域環境ならびに地球環境の改善を図ることを目指しており、これがプロジェクトの基本コンセプトとして変わることはない。一方コムギの生産量世界第2位を誇るインドでは熱波によってコムギの生産が大幅に落ち込んだことや、また2022年度に入ってからロシアの侵攻によって

同 7 位のウクライナからのコムギ輸出がストップするなど、改めて世界の食料安全保障の危うさを感じさせる事態が生じている。よって、限られた品種と栽培条件ではあるが同量の窒素施肥量でも大幅に収量を増加させることが示されている BNI 強化コムギの育成と普及は、環境に負担をかけない窒素管理の下での食料生産の増加という、もう一つの地球規模課題にも貢献できる可能性がある。

国内の研究運営体制は、国際農研を中心に鳥取大学乾燥地研究所と農研機構北海道農業研究センターが、国内共同研究機関として参画することを確認した。

インド優良コムギ品種と既存の BNI 強化国際コムギ系統との交配と後代の選抜は、メキシコの国際トウモロコシ・コムギ改良センター(CIMMYT)ではなくインドの研究機関を中心に実施することとした。遺伝・育種の専門家を現地に派遣し、選抜に必要なオオハマニンニクの染色体断片の検出法や BNI のバイオアッセイ法など、インドで実施する研究課題と能力向上のための活動について検討を行っている。

インドでの新型コロナウイルス感染症の影響は昨年と比べ大幅に緩和し、研究活動は一部制限があるものの通常に戻りつつある(2022年4月10日現在)。とはいえ、暫定期間中に研究代表者をはじめとする日本側研究者がインドへ渡航し、対面にて情報共有と共同研究についての協議をすることは叶わなかった。代表機関であるボーローグ南アジア研究所(BISA)とは、オンラインにてインド側の研究実施体制に関してしばしば協議しインド農業研究協議会(ICAR)傘下の国立小麦大麦研究所(IIWBR)、中央土壌塩類研究所(CSSRI)、国立農業研究所(IARI)の参画と協力研究者の確認を行った。またそれぞれの組織の位置づけと組織間の関係、とりわけ BISA は CIMMYT の地域研究所であると同時に、ミッション的にも運営面においても ICAR が認めたインドの研究所でもあることが確認された。このことにより、インドの農業農民福祉省(MAFW)がプロジェクトの責任省庁であり、R/D の署名者は ICAR の所長とすることで合意された。JICA は詳細策定調査を複数回のオンライン会議で実施し、ICAR の担当研究部長も参加する中、PDM と PO に記載されたプロジェクト実施計画ならびに実施体制について議論を行い、また JICA 技術協力プロジェクトの基本的考え方への理解を促し、2021年12月14日に MM が署名された。そして2022年3月31日付けで、本プロジェクト実施に係る日印政府間の合意として、BISA 所長、ICAR 所長、JICA インド事務所長の署名により R/D が締結された。また同日付で、国際農研と BISA の間で、CRA(共同研究に関する覚書)も締結された。

## (2) 研究題目 1 「インド優良コムギ品種への BNI 能の導入」

国際農研(リーダー: G. V. スバラオ)、[農研機構(リーダー: 寺沢洋平) = 活動は次年度から]

### ① 研究題目 1 の当初の計画(全体計画)に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

BNI 強化国際コムギ系統(BNI-Munal と BNI-Roelf)ならびに親品種(Munal と Roelf)の種子は、CIMMYT から BISA に送付され 2020/2021 作期に増殖が進められ、十分な量の種子が確保された。本研究題目で行う交配、ならびに研究題目 3 で実施する圃場試験のため、これらを BISA の 3 つの圃場(Ludhiana=パンジャブ州、Jabalpur=マディヤプラデシュ州、ならびに Samastipur=ビハール州)に加え、BISA と共同してインド側で研究を進める IIWBR、CSSRI(ともに Karnal=ハリヤナ州)ならびに IARI(Pusa=デリー)の圃場にて栽培中である。一方、交配の母本となるインド優良コムギ品種については、地域別に多収性のものを中心に 6 品種がプロジェクト提案時にノミネートされている通りである(平原北東部において DBW303、DBW222 と DBW187、平原北西部にお

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

いて DBW187、DBW252 と HI1612、中央部において DBW110)。交配の母本として使用するため、2021 年 9 月～10 月に BISA の 3 つの試験圃場 (Ludhiana、Jabalpur、ならびに Samastipur) で播種が行われた。これらは無事越冬し 2022 年 5 月に収穫予定である。

② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況 :

本年度に該当なし

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

CIMMYT に所属し国際農研の特定研究主査として研究題目 1 を担当する岸井正浩研究員 (遺伝・育種) がこの 4 月 1 日付けで正式に国際農研に採用されたことから、研究題目 1 で実施する交配と選抜はインド国内で C/P 機関にて実施する計画が確定した。しかし状況が許せば、バックアップのために交配用のインド優良品種の種子をメキシコに送って CIMMYT での試験 (とりわけ選抜の過程) を並行で行うことも考えている。

④ 研究題目 1 の研究のねらい (参考) :

本年度に該当なし

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法 (参考) :

国際農研のリーダーを岸井正浩主任研究員に変更予定

**(3) 研究題目 2 : 「BNI の分子的機作の解明」**

国際農研 (リーダー : 吉橋忠)、[鳥取大学 (リーダー : 石井孝佳) =活動は次年度から]

① 研究題目 2 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

CIMMYT との共同研究によって、コムギ実験系統である Chinese Spring を背景として *Leymus racemosus* の染色体 Lr#n 全短腕が転座した系統、および短腕の一部を欠損した系統が作成されている。それぞれの系統について、BNI 能の評価を実施、短腕の一部の欠損系統が全短腕転座系統とは異なる BNI 能を示すことも確認された。これらの系統を CIMMYT から鳥取大学へ導入し、遺伝子解析の材料とする準備を進めている。

さらに、BNI-Munal 及びその親系統である Munal について、グロースチャンバーにて 30 日育成し、好氣的に 0.5mM 塩化アンモニウムで BNI を誘導した根滲出液を常法により取得しており、BNI-Munal からは 50,000ATU (アシルチオ尿素当量) 以上の親水性 BNI 活性抽出物と共に、根表面疎水性物質を抽出した 30,000ATU の疎水性 BNI 活性抽出物を得ている。さらに、同様の処理を行った Munal の親水性、疎水性 BNI 活性抽出物も取得しており、親系統の BNI 活性は極めて低いものの、BNI 物質の単離を行う際に、比較参照として使用できる。

② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

本年度に該当なし

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

本年度に該当なし

④ 研究題目 2 の研究のねらい (参考)

根からの BNI 活性物質の滲出量が BNI-Munal と親系統 Munal で異なることを確認する (活動 2-3)

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法 (参考)

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

BNI が誘導される同一条件で BNI-Munal と親系統 Munal を栽培し、根からの滲出液から親水性物質と疎水性物質をそれぞれ抽出し、*Nitrosomonas* を用いたアッセイ法により BNI 活性を定量、比較する。

#### (4) 研究題目 3：「BNI の土壌窒素動態への影響の評価」

国際農研（リーダー：飛田哲）

##### ① 研究題目 3 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

つくば市にある国際農研の八幡台圃場において、畑土壌からの亜酸化窒素（ $N_2O$ ）ガス放出量の定量化に向けた検討を行った。土壌にチャンバーを一定時間設置してガスを採取する方法では、デッドスペースが大きくなるため微量の  $N_2O$  ガス放出を時間的にも量的にも感度よく定量できない。そこで、実際に  $N_2O$  が生成される根圏土壌中に微小な穴の空いたチューブを埋設し、吸引することによって土壌空隙の気相中の  $N_2O$  を局所的かつ短いスパンで測定することを試みた。この方法により、窒素施肥後、降雨のイベントの直後に起こる  $N_2O$  ガスのフラッシュを確認することができた。

同じ八幡台圃場において、BNI 強化国際コムギ系統の栽培試験の第 2 年目が終了し、1 年目の結果と同様の結果を確認した。



写真：BNI 強化コムギ圃場に設置した  $N_2O$  ガス測定のためのガスサンプラー

##### ② 研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

本年度に該当なし

##### ③ 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

本研究題目の一部活動を担当する若手研究員（ポスドク）を国際農研にて公募しているが、まだ採用には至っていない。

##### ④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

本年度に該当なし

##### ⑤ 研究題目 3 の研究実施方法（参考）

本年度に該当なし

#### (5) 研究題目 4：「BNI 強化コムギ品種導入による地球環境ならびに農家経済へのインパクトの評価」

国際農研（リーダー：飛田哲）

##### ① 研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

BNI 技術のインパクト評価のための手法は、これまで前例がないため国際農研の研究グループが

中心となり BNI 国際コンソーシアムのメンバーとの共同研究の中で進めてきた。BNI 強化コムギの開発と普及による環境へのインパクト評価が LCA (Life-Cycle Assessment : ライフサイクルアセスメント) によって行われ、BNI 能により硝化抑制率の高い (40%) コムギ品種が、BNI 効果の期待できる全地域に普及すれば、世界のコムギ生産由来のライフサイクル温室効果ガスの 9.5%が削減されるとの試算がなされた。

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

本年度に該当なし

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

本年度に該当なし

④ 研究題目 4 の研究のねらい (参考)

本年度に該当なし

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法 (参考)

本年度に該当なし

## II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

本年度中に R/D と CRA が締結され、いよいよプロジェクトが本格始動した。前述のように、BNI 技術をインドのヒンドゥスタン平原のコムギ栽培に導入し、窒素利用効率が高く環境への負荷が軽減したコムギ栽培システムを実証し、普及につなげるというプロジェクトの目指す方向性について変更はない。しかし、国内の対処方針会議や現地での詳細計画策定調査の中で、5 年のプロジェクトのうちにインドで品種の育成（登録）まで持つて行くのは現実的だろうか、まずはこの技術の農業生産者と環境に対する便益をしっかりと科学的に示すのが先ではないかという議論が行われ、5 年間のプロジェクト目標は具体的な BNI 強化インドコムギ有望系統あるいは品種の育成とはせず、「当該システムの提案とプロジェクトサイトでの実証」とすることとした。もちろん BNI 技術の社会実装のためには、BNI 強化品種の育成と普及が不可欠であるが、5 年間の年限では政策提言とともに、有望系統をインドの品種登録当局に手交するまでとし、ただしそこから先のプロセスをスムーズに進めるため、圃場試験から得られるこれら有望系統の BNI 関連特性に関する客観的データを揃えたとともに、プロジェクト終了後もデータを着実に得るために現地機関、特に CSSRI の能力向上を図ってゆく。さらに上位目標については、プロジェクト 5 年後には BNI 強化インドコムギ品種がリリースされていることを想定し、「インドのコムギ生産に関わるステークホルダーが BNI を導入したコムギの生産システムの便益を正しく理解する」とした。これは、2070 年までに carbon neutrality を実現すると宣言したインドにおいて、農業分野の GHG 排出ゼロに向けた戦略の一つとして BNI が採用され、作物の育種目標に BNI 能強化が加わることも指標となっている。

## III. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

### (1) プロジェクト全体

R/D と CRA の締結以降、BISA との間で現地での試験・調査計画を具体的に詰めるためのやり取りをメールベースで開始している。BISA は、とりわけ研究代表者の Uttam Kumar 氏を中心に他の ICAR 傘下の参画機関との連絡を密に行っており、また BISA のトップである Arun Joshi Kumar 氏からも全面的なサポートをいただいていることから、現地機関の代表として十分に機能することが期待される。日本側の提案や問いに対する反応も早く、対面での話し合いができない状況でも、プロトコルの作成、現地予算の計上など速やかに進むと思われる。ただ、日本側としてはインドでの試験研究のスケジュール感、スケール感ならびにコスト感、さらには試験の質（きめ細かさ）などリモートではなかなか把握できないところもあり、なるべく早い現地への渡航が望まれる。

ICAR 傘下の IIWBR も本プロジェクトに対して深い理解と大きな期待を示している。品種登録、各州への奨励品種に選ばれるために必要な全インド連携試験の調整、そして品種選定推進会議の運営に責任を持つ機関として、新しい BNI 強化コムギ系統の社会実装を積極的に進めていただけるものと考えている。もちろん、2021 年の推進会議（The 60th All India Wheat and Barley Research Workers' Virtual Meet）（オンライン）に国際農研がオブザーバー参加し、本 SATREPS プロジェクトの概要説明を行ったことは、このことに大いに貢献したと考えている。なお 2022 年の同会議は対面での開催が予定されており、国際農研からは SATREPS プロジェクトとして数名の参加を予定して

【令和 3 年度実施報告書】【220531】



いる。

## (2) 研究題目 1 : 「インド優良コムギ品種への BNI 能の導入」

国際農研 (リーダー : G.V.スバラオ)、農研機構 (リーダー : 寺沢洋平)

本研究題目は、限られた時間の中で戻し交配の回数を増やすことが求められていることから、契約前であっても現地機関で材料が揃い次第、最初の交配 (BNI 強化国際コムギ系統×インド各地の優良コムギ品種) を開始することになっている。これはインド側から提案されたもので、プロジェクトに対する非常にポジティブな姿勢を見ることができる。育種においては、交配後の後代選抜技術の善し悪しが成功の鍵を握ると言っても過言ではない。その意味で、インド側になるべく早く選抜のための機器 (GISH 用の蛍光顕微鏡) とプロトコルを整備し能力向上に努めるとともに、これまでの日本での知見を活かして遺伝子マーカーによる簡易選抜の技術開発を現地機関で進める予定である。

## (3) 研究題目 2 : 「BNI の分子的機作の解明」

国際農研 (リーダー : 吉橋忠)、鳥取大学 (リーダー : 石井孝佳)

コムギからの BNI 物質の分離同定の活動に関して、国際農研はこれまで他作物から数種の BNI 物質を単離同定した実績があること、また植物化学の分野ではほぼ専属でこの活動を行う研究員が確保されていることから、順調に進むことが期待されている。

次年度から鳥取大学が、BNI 形質の遺伝子解析を開始する。材料として、Chinese Spring 背景に Lr#n 短腕が導入された系統と、Lr#n 短腕領域が組換えによってさらに Lr#n 染色体導入領域が小さくなった Lr#n 短腕転座系統を研究材料として用いることになっている。種子が得られれば、Lr#n 短腕転座系統を NGS ベース (DArT マーカー : <https://www.diversityarrays.com/>) の方法を利用して Lr#n に特異的な DNA マーカーを多量に取得し、それぞれの系統で転座している Lr 染色体領域を詳細に理解する計画である。一方、マーカーによる選抜は実際にはインドで実施するものであるから、インドの条件に合致したマーカー選抜法が必要である。そのため、少しラフな成果物とはなるが、IIWBR が中心となって実用的な Lr#n の選抜法の開発を進める。

## (4) 研究題目 3 : 「BNI の土壌窒素動態への影響の評価」

国際農研 (リーダー : 飛田哲)

日本の圃場ではすでに 3 作季にわたって行われてきたが、インドにおいて BNI 強化国際コムギ系統 (BNI-Munal と BNI-Roelf) ならびに親品種を材料に、2022 年の Rabi 季 (概ね 10 月開始) に Ludhiana (パンジャブ州) と Jabalpur (マディヤプラデシュ州) にある BISA の圃場で、条件を管理した試験を開始する予定である。圃場での窒素動態に係る施肥反応性、窒素吸収量、窒素利用効率、硝化菌等の微生物叢、硝化速度等、現地のキャパシティービルディング (トレーニング、機器導入を含む) への配慮が必要である。試験のプロトコルについては、すでにインドのカウンターパート機関と協議を開始し、圃場面積や調達できる種子の量などを参考に最適化し、初年度から必要な資機材についてリストアップし調達の手続きを開始する。窒素関連の指標は、信頼に足り、少なくとも本プロジェクトにおいて汎用に使える標準的な方法を検討し、マニュアル化する。特に土壌から放出される

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

N<sub>2</sub>O の採取と定量に関しては、日本で確立しつつある手法をインドに移転する。N<sub>2</sub>O を含むガス試料はハリヤナ州 Karnal の CSSRI に運び、ガスクロマトグラフによって定量する。ガスクロマトグラフは CSSRI でも稼働しているが、本プロジェクトでは多数のガス検体を分析する必要があることから、少なくとも 1 台を提供予定器材とする。

土壌中の窒素の化学種（主に NO<sub>3</sub> と NH<sub>4</sub>）の動態は、BNI の土壌中の機作による重要な結果である。この動きを精密に測定するため、CSSRI のライシメーターにイオンセンサーを埋め込み、土壌内の窒素の動きと NO<sub>3</sub> の溶脱を定量するための手法を検討する必要がある。

#### (5) 研究題目 4：「BNI 強化コムギ品種導入による地球環境ならびに農家経済へのインパクトの評価」

国際農研（リーダー：飛田哲）

まず初年度に、コムギ栽培地帯（パンジャブ州、マディヤプラデシュ州、ビハール州）におけるコムギ栽培農家の営農実態調査が実施される計画である。その準備として 2022 年度前半は国内で文献、インド連邦政府あるいは州政府の統計資料を収集し、これら地域におけるコムギ栽培に関する情報を収集し取りまとめる必要がある。また、BNI の発現を左右する気候や土壌に関するデータも重要である。さらに現地を訪問して実施する営農実態調査の項目は、作付け体系、作付面積、収穫量、販売量、販売価格、生産費、肥料の種類、施肥量と係る費用（うち補助金の割合）等を考えている。

これらの調査活動について早めに打ち合わせを行い、必要な情報を得るとともに現地調査の準備を行う予定ではあるが、インド側のカウンターパート研究者のノミネートが遅れたため、この社会経済の課題を担当する研究者同士の話し合いがまだ開始されていない。

BNI 技術の普及のためには、本プロジェクトの成果のみではなく、BNI 技術自体についての宣伝活動も重要であり、機会があるごとに実施する予定である。プロジェクトの活動としては後半にセットされてはいるが、中身についての検討はインド側の研究機関のみではなく行政機関（連邦＋州）、さらには生産者組合等も巻き込んで早めの実施が望まれる。

### IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

#### (1) 成果展開事例

2021 年度に国際農研では、コムギ BNI 技術の進展に関する研究成果に係るプレスリリースを 2 件行った。ともに、このプロジェクトのベースとなる成果である。① 8 月 31 日：「世界初！少ない窒素肥料で高い生産性を示すコムギの開発に成功—窒素汚染防止と食料増産をアンモニウムの活用で両立—」（CIMMYT、スペイン・バスク大学ならびに日本大学との共同発表）、② 12 月 10 日：「BNI 強化コムギの温室効果ガス削減効果を LCA で評価—硝化抑制率 40% の BNI 強化コムギの開発により、世界のコムギ生産由来の温室効果ガスを 9.5% 削減へ—」（CIMMYT との共同発表）。

#### (2) 社会実装に向けた取り組み

2021 年には、数多くの内外のイベントやアカデミアで BNI 技術に関する発表や講演が行われた。

中でも 2021 年に米国科学アカデミー紀要 (PNAS) に発表したオピニオンペーパー<sup>1</sup>と、同じく PNAS 誌に掲載され最優秀論文賞を受賞した BNI 強化コムギ系統の育成に関する論文<sup>2</sup>は、BNI 技術への理解を大いに高めた。これにより国際農研のスバラオ主任研究員が、2022 年 4 月 13 日にカナダのバンクーバーに招待され、地球の窒素危機とその解決の一助としての BNI 技術と期待について TED Talk 講演を行ったことは、環境問題と気候変動に興味を持つ多くの人々に大きなインパクトを与えると思われる。

BNI 技術の社会実装は、現地の生産者が BNI 強化品種を導入、すなわち種子を購入して積極的に使うことであると考えている。したがって生産者ならびに関係者には、BNI 技術の意義を正しく理解してもらうことが肝要である。暫定期間中の詳細計画策定調査などを通じて、ICAR 関係者にはこのプロジェクトの目指すところとインドへの裨益について理解していただけたと思っている。しかし生産者の理解につなげるためには、研究題目 4 で実施予定の啓蒙活動・教育の実践が必要である。またインドの場合、連邦政府とともに州政府の農業技術普及機関の役割が大きい。詳細計画策定調査の中でビハール州の普及機関の代表から、品種普及のプロセスをうかがえたのは大きな収穫であった。

## V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

アカデミアの話ではあるが、BNI 強化コムギに限らず、ここ数年でこれまでの BNI 研究の成果が国際的に認知され高く評価されたことから、先進国の advanced institutions ならびに種苗業界大手からの問い合わせと共同研究の申し出が、国際農研に多く寄せられるようになった。内外のメディアでの取り上げも多く、リストは別様式に報告している。

以上

---

<sup>1</sup> Subbarao and Searchinger (2021) A “more ammonium solution” to mitigate nitrogen pollution and boost crop yields. PNAS 118 21

<sup>2</sup> Subbarao et al. (2021)

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
----	------------------------------------	--------	---------------	---------------------------------	--

論文数 0 件  
うち国内誌 0 件  
うち国際誌 0 件  
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2021	Subbarao, G.V., Searchinger, T.D., "Opinion: A " more ammonium solution" to mitigate nitrogen pollution and to boost crop yields", Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 2021.05.11822, pp.e2107576118-	doi: 10.1073/pnas.2107576118	国際誌	発表済	IF = 11.205
2021	Subbarao G.V., Kishii, M., Bozal-Leorri, A., Oritz-Monasterio, I., Gao, X.A., Ibba, M.I., Karwat, H., Gonzalez-Moro, M.B., Gonzalez-Murua, C., Yoshihashi, T., Tobita, S., Kommerell, V., Braun, H.J., Iwanaga, M., "Enlisting wild grass genes to combat nitrification in wheat farming: A nature-based solution", Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), 2021.08.11835, pp.e2106595118-	doi: 10.1073/pnas.2106595118	国際誌	発表済	IF = 11.205; PNAS Cozzarelli賞受賞論文
2021	Leon, A., Subbarao, G.V., Kishii, M., Matsumoto, N., Kruseman, G., "An ex-ante life cycle assessment of wheat with high biological nitrification inhibition capacity", Environmental Science and Pollution Research, 2021.09.29-, pp.7153-7169	doi: 10.1007/s11356-021-16132-2	国際誌	発表済	IF = 4.223

論文数 3 件  
うち国内誌 0 件  
うち国際誌 3 件  
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
----	-------------------------	--------	---------------------------------	------

著作物数 0 件  
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2021	G.V.スバラオ・吉橋忠, 少ない窒素肥料で高い生産性を示すBNI強化コムギの開発, 国際農林水産業研究センター研究成果情報, 2022, -, -, -	国内誌	in press	5月発刊予定、国際農研の主要普及成果
2021	レオン愛・G.V.スバラオ, BNI強化コムギによる窒素肥料由来温室効果ガス削減効果, 国際農林水産業研究センター研究成果情報, 2022, -, -, -	国内誌	in press	5月発刊予定

著作物数 2 件  
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2021	JICA課題別研修 「気候変動の解決策として有望な農業技術」コース, 1回, 8名(オンライン)	動画形式のプレゼンテーション及びオンライン経由での質疑応答セッションの開催	JICA課題別研修の一部を実施

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
			招待講演 0 件
			口頭発表 0 件
			ポスター発表 0 件

② 学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
			招待講演 0 件
			口頭発表 0 件
			ポスター発表 0 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件  
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件  
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2022	2022/5/1	2021 Cozzarelli Prize	Enlisting wild grass genes to combat nitrification in wheat farming: A nature-based solution	Subbarao G.V., Kishii, M., Bozal-Leorri, A., Oritz-Monasterio, I., Gao, X.A., Ibba, M.I., Karwat, H., Gonzalez-Moro, M.B., Gonzalez-Murua, C., Yoshihashi, T., Tobita, S., Kommerell, V., Braun, H.J., Iwanaga, M.	National Academy of Science	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

1件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2021	2021/8/31	国際農研プレスリリース	世界初！少ない窒素肥料で高い生産性を示すコムギの開発に成功 —窒素汚染防止と食料増産をアンモニアの活用で両立—	<a href="https://www.iircas.go.jp/ja/release/2021/press202107">https://www.iircas.go.jp/ja/release/2021/press202107</a>	その他	先行研究の成果 SATREPSについても言及
2021	2021/9/2	日本農業新聞	窒素6割減でも小麦多収 温室ガス削減へ 国内育種に活用	1面	その他	
2021	2021/9/2	農業協同組合新聞	国際農研が新たな小麦開発 窒素肥料6割減でも多収 環境負荷低減へ	<a href="https://www.agrinews.co.jp/news/index/23320">https://www.agrinews.co.jp/news/index/23320</a>	その他	
2021	2021/9/2	Yahooニュース	国際農研が新たな小麦開発 窒素肥料6割減でも多収 環境負荷低減へ	<a href="https://news.yahoo.co.jp/articles/c60cd9c42cc2e989cec62e6288bc44e93eec4fee">https://news.yahoo.co.jp/articles/c60cd9c42cc2e989cec62e6288bc44e93eec4fee</a>	その他	
2021	2021/9/2	環境展望台	国際農研など、GHG削減につながる多収コムギ品種を開発	<a href="https://tenbou.nies.go.jp/news/ine/ws/detail.php?i=32387">https://tenbou.nies.go.jp/news/ine/ws/detail.php?i=32387</a>	その他	
2021	2021/9/2	SeedQuest	Nitrogen-efficient wheats can provide more food with fewer greenhouse gas emissions, new study shows	<a href="http://ct.moreover.com/?a=45763980979&amp;p=1p&amp;v=1&amp;x=XrFn-KNtc4oMOvEGLM30fw">http://ct.moreover.com/?a=45763980979&amp;p=1p&amp;v=1&amp;x=XrFn-KNtc4oMOvEGLM30fw</a>	その他	
2021	2021/9/2	EurekAlert	Nitrogen-efficient wheats can provide more food with fewer greenhouse gas emissions, new study shows	<a href="https://www.eurekalert.org/news-releases/927195">https://www.eurekalert.org/news-releases/927195</a>	その他	
2021	2021/9/2	Livedoor News	窒素6割減でも小麦多収 温室ガス削減へ 国内育種に活用	<a href="https://news.livedoor.com/article/detail/20799739/">https://news.livedoor.com/article/detail/20799739/</a>	その他	
2021	2021/9/3	農業ビジネス	少ない窒素肥料で高い生産性を示すコムギを開発	<a href="https://nou-biz.com/news/wheat-bni-iircas/">https://nou-biz.com/news/wheat-bni-iircas/</a>	その他	
2021	2021/9/3	Sustainable Japan	【日本】国際農研、窒素肥料削減でも生産性高いコムギ品種の開発に成功。硝化抑制	<a href="https://sustainablejapan.jp/2021/09/02/high-yield-wheat/65756">https://sustainablejapan.jp/2021/09/02/high-yield-wheat/65756</a>	その他	
2021	2021/9/3	Eurasia Review	Nitrogen-Efficient Wheats Can Provide More Food With Fewer Greenhouse Gas Emissions	<a href="https://www.eurasiareview.com/02092021-nitrogen-efficient-wheats-can-provide-more-food-with-fewer-greenhouse-gas-emissions/">https://www.eurasiareview.com/02092021-nitrogen-efficient-wheats-can-provide-more-food-with-fewer-greenhouse-gas-emissions/</a>	その他	

2021	2021/9/3	News-Medical	Growing wheat varieties with biological nitrification inhibition trait could increase yields	<a href="https://www.news-medical.net/news/20210902/Growing-wheat-varieties-with-biological-nitrification-inhibition-trait-could-increase-yields.aspx?fr=operanews">https://www.news-medical.net/news/20210902/Growing-wheat-varieties-with-biological-nitrification-inhibition-trait-could-increase-yields.aspx?fr=operanews</a>	その他	
2021	2021/9/3	Florida News Times	Wheat with high nitrogen efficiency provides more food with less greenhouse gas emissions	<a href="https://floridanewstimes.com/wheat-with-high-nitrogen-efficiency-provides-more-food-with-less-greenhouse-gas-emissions/335427/">https://floridanewstimes.com/wheat-with-high-nitrogen-efficiency-provides-more-food-with-less-greenhouse-gas-emissions/335427/</a>	その他	
2021	2021/9/7	NHK総合テレビ	温室効果“CO2の300倍”「一酸化二窒素」排出削減へ 研究進むインタビュー	朝6:30付近	その他	
2021	2021/9/7	NHK NEWS WEB	温室効果“CO2の300倍”「一酸化二窒素」排出削減へ 研究進む	<a href="https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210907/k10013247351000.html">https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210907/k10013247351000.html</a>	その他	
2021	2021/9/7	NHKラジオ第一	NHKラジオ第1 温室効果“CO2の300倍”「一酸化二窒素」排出削減へ 研究進む	<a href="https://www.nhk.or.jp/radio/player/ondemand.html?p=5642_02_3725167">https://www.nhk.or.jp/radio/player/ondemand.html?p=5642_02_3725167</a>	その他	
2021	2021/9/7	Phys.org	Nitrogen-efficient wheats provide more food with fewer greenhouse gas emissions	<a href="https://phys.org/news/2021-09-nitrogen-efficient-wheats-food-greenhouse-gas.html">https://phys.org/news/2021-09-nitrogen-efficient-wheats-food-greenhouse-gas.html</a>	その他	
2021	2021/9/7	化学工業日報	少肥料コムギ開発	1面	その他	
2021	2021/9/9	NHK World-Japan News	Trigos más eficientes en el consumo de nitrógeno	<a href="https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/366447-Trigos-mas-eficientes-en-el-consumo-de-nitrogeno.html">https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/366447-Trigos-mas-eficientes-en-el-consumo-de-nitrogeno.html</a>	その他	スペイン
2021	2021/9/14	農機新聞	国際農研、世界初コムギ開発に成功	<a href="http://www.shin-norin.co.jp/?p=36306">http://www.shin-norin.co.jp/?p=36306</a>	その他	
2021	2021/11/5	Planet Philadelphia	New Planet Philadelphiaインタビュー	米国ラジオ	その他	
2021	2021/12/10	国際農研プレスリリース	BNI強化コムギの温室効果ガス削減効果をLCAで評価—硝化抑制率40%のBNI強化コムギの開発により、世界のコムギ生産由来の温室効果ガスを9.5%削減へ—	<a href="https://www.jircas.go.jp/ja/release/2021/press202119">https://www.jircas.go.jp/ja/release/2021/press202119</a>	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/12/16	日本農業新聞	「少ない肥料で育つ小麦」温暖化対策に N2O排出量を削減 国際農研が試算	<a href="https://www.agrinews.co.jp/farming/index/45720">https://www.agrinews.co.jp/farming/index/45720</a>	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/12/16	Yahooニュース	少ない窒素肥料で育つ小麦があれば…温室効果ガス9.5%減	<a href="https://news.yahoo.co.jp/articles/05445ee58197e19707bccc46b1433aef2d48be79">https://news.yahoo.co.jp/articles/05445ee58197e19707bccc46b1433aef2d48be79</a>	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/12/16	Livedoorニュース	「少ない肥料で育つ小麦」温暖化対策に N2O排出量を削減 国際農研が試算	<a href="https://news.livedoor.com/article/detail/21362096/">https://news.livedoor.com/article/detail/21362096/</a>	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/12/16	環境展望台	国際農研など、BNI強化作物の事前評価手法を構築	<a href="https://tenbou.nies.go.jp/news/news/detail.php?i=32953">https://tenbou.nies.go.jp/news/news/detail.php?i=32953</a>	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/12/16	つくばサイエンスニュース	コムギの栽培で発生する温室効果ガスを削減—硝化を抑える品種を世界で栽培すると10%弱減る	<a href="http://www.tsukuba-sci.com/?p=10011">http://www.tsukuba-sci.com/?p=10011</a>	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2021/12/23	みんなの農業広場	2021年農業技術10大ニュースを選定	<a href="https://www.ieinou.com/technology/2021/12/23/135000.html">https://www.ieinou.com/technology/2021/12/23/135000.html</a>	その他	



2021	2021/12/24	日本農業新聞	今年の農業技術10大ニュース「基腐病すぐ検出」1位	<a href="https://www.agrnews.co.jp/news/index/47703">https://www.agrnews.co.jp/news/index/47703</a>	その他	
2021	2021/12/24	Yahooニュース	農業技術10大ニュース 1位は「基腐病すぐ検出」	<a href="https://news.yahoo.co.jp/articles/f15678339de82718801bf90342e63ad60f362bf5">https://news.yahoo.co.jp/articles/f15678339de82718801bf90342e63ad60f362bf5</a>	その他	
2021	2021/12/24	農業協同組合新聞	2021年農業技術10大ニュースを選定－農水省	<a href="https://www.iacom.or.jp/nousei/news/2021/12/211224-55856.php">https://www.iacom.or.jp/nousei/news/2021/12/211224-55856.php</a>	その他	
2021	2021/12/24	Livedoorニュース	今年の農業技術10大ニュース「基腐病すぐ検出」1位	<a href="https://news.livedoor.com/article/detail/21406816/">https://news.livedoor.com/article/detail/21406816/</a>	その他	
2021	2021/12/24	農業ビジネス	2021年農業技術10大ニュースを選定－農水省	<a href="https://nowbiz.com/news/top_10_news-agricultural-technology-maff/">https://nowbiz.com/news/top_10_news-agricultural-technology-maff/</a>	その他	
2021	2021/12/27	SMART AGRI	農林水産省、「2021年農業10大ニュース」を発表 環境への配慮もキーワードに	<a href="https://smartagri.jp.com/news/3844">https://smartagri.jp.com/news/3844</a>	その他	

34 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2021	2021/8/24	60th All India Wheat & Barley Research Workers' Virtual Meet	オンライン (インド)	300名 (インドコムギ・オオムギ育種 担当者)	非公開	All India Coordinated Research Program - Wheat and Barley主催の毎年度検討会で SATREPSの課題について2題講演
2021	2021/10/20	ビル・ミランダ・ゲイツ財団/世界資源研究所 Workshop	オンライン (米国)	80名	非公開	BNI強化コムギについて講演。当日は非公開、その後公開。世界各国のドナーが参加。
2021	2021/11/24 -26	アグリビジネス創出フェア	東京ビックサイト 青海 (日本)	多数	公開	農林水産大臣らご一行来訪、ブースにて質疑 応答
2021	2021/2/4	アバディーン大学生物科学部招待講演	オンライン (英国)	300名 (学部学生及び教職員)	公開	
2021	2021/3/29	プリンストン大学招待講演	オンライン (米国)	50名 (政策関連学部研究者)	公開	
2022	2022/4/14	TED2022 "THE NEW ERA"講演	バンクーバー (カナダ)	2000名以上	公開	

6 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要

0 件

# 成果目標シート

研究課題名	生物的硝化抑制(BNI)技術を用いたヒンドゥスタン平原における窒素利用効率に優れた小麦栽培体系の確立
研究代表者名 (所属機関)	飛田 哲 (国立研究開発法人国際農林水産業研究センター)
研究期間	R3採択(令和3年6月1日~令和9年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	インド共和国/ポーローグ南アジア研究所、小麦大麦研究所、中央土壌塩類研究所、インド農業研究所
関連するSDGs	目標 2. 飢餓をゼロに 目標 13. 気候変動に具体的な政策を 目標 15. 陸の豊かさを守ろう

## 上位目標

窒素利用効率に優れたコムギ品種が普及し、施用窒素量の減少に伴い農家・農村の収益増と生活改善が実現する。また、環境への窒素負荷が軽減し地域の水質汚染ならびに地球の温暖化進行が緩和される。

窒素利用効率に優れたコムギ品種が、インド政府の実施するコムギ育成プログラムによって品種登録される。

## プロジェクト目標

生物的硝化抑制(BNI)を強化したコムギシステムを育成し、窒素施肥量を3割減らしても収量が維持されることを示すとともに、ヒンドゥスタン平原において窒素負荷の少ないコムギ栽培システムを提案する。

## 成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>日印二国間の科学技術協力を通じた関係強化</li> <li>BNI導入による日本コムギ品種の窒素利用効率向上</li> <li>低窒素社会構築への日本の貢献に対する国際評価</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>気候変動下での環境負荷低減農業を実現する基盤の創出</li> <li>地球の限界を超えた窒素循環を正常に戻すための画期的な農業技術</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>窒素利用効率が向上したコムギ品種とその普及</li> <li>コムギにおける有効な硝化抑制物質の同定とその発展的利用</li> <li>作物全般における、育種の重要な目標としての高窒素利用効率の標準化</li> </ul>
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本の若手研究者の育成(国際会議での発言力、査読付雑誌への論文掲載、国際交渉力などを指標)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>生物的硝化抑制(BNI)研究の国際的ネットワーク強化</li> <li>地球の窒素管理に係る国際的イニシアティブへの貢献</li> </ul>
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>インド向けBNI強化コムギ品種、育種素材</li> <li>コムギ栽培生態系における窒素動態の解明とBNI効果のモデル化</li> <li>BNI導入の事前インパクト分析と長期シナリオ</li> <li>原著論文</li> </ul>

