

## 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

### 研究課題別中間評価報告書

#### 1. 研究課題名

高栄養価作物キヌアのレジリエンス強化生産技術の開発と普及

(2021年06月～2026年06月)

#### 2. 研究代表者

2.1 日本側研究代表者：藤田 泰成

(国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域 プロジェクトリーダー)

2.2 相手側研究代表者：Giovanna Rocío Almanza Vega

(サン・アンドレス大学 化学研究所 教授)

#### 3. 研究概要

干ばつや砂漠化は、全世界で食料の供給不安・水不足・貧困などの深刻な社会問題を引き起こしており、乾燥地域での持続的な農業生産体系の確立は地球規模の最重要課題の一つである。そのような状況の下、南米アンデス地方原産の作物であるキヌアは、高い栄養価と優れた栄養バランスをもった食用穀物としての有用性に加え、干ばつや塩害などの不良環境を含めた多様な農業生態環境への高い適応能力があることから、世界の食料安全保障と飢餓の解消に大きな役割を果たす作物として期待されている。2013年には、国連により「国際キヌア年」が制定され、キヌアの栄養価・経済性・文化的価値についての認識を高めるとともにキヌアの持続可能な栽培や利用に向けた政策の奨励が提唱された。しかし、頻発する極端気象や無計画な農地拡大による土壌侵食などによって、原産国のひとつであるボリビアにおいてもキヌアの生産は危機に瀕している。

本プロジェクトは、キヌアの遺伝資源の整備やレジリエンス強化育種素材の開発に加えて、休閑地管理や耕畜連携を改善することにより、持続可能な農業生態系の保全管理技術を基盤としたキヌアのレジリエンス強化生産技術の開発および普及によるボリビア国内の生産基盤の強化を目指す。さらに、究極の不良環境地で培われる本プロジェクトの成果を砂漠化に瀕した世界の他の乾燥地域だけでなく、多様な農業環境に適用することにより、将来的には世界の食料安全保障の強化や持続可能な農業生態系の保全に貢献することが期待される。

プロジェクトは下記4つの研究題目で構成されている。

研究題目1：遺伝資源の整備とゲノム育種基盤の構築

研究題目2：早生およびレジリエンス強化に関わる育種素材の開発

研究題目3：持続的高生産を実現する栽培体系の開発

研究題目4：アルティプラノにおける普及ネットワークの構築

## 4. 評価結果

総合評価：A

(所期の計画と同等の取組みが行われている)

プロジェクト外に起因するさまざまな制約や状況の変化にもかかわらず、研究代表者の的確な判断やプロジェクトメンバーおよび関係者の尽力によって、日本側で実施された研究を中心に4つの研究題目いずれにおいても着実に進捗している。

育種基盤の整備と育種素材の開発研究は順調に進められ、育種素材の開発研究においては一部計画以上の進捗も見られる。特に、これまでのキヌアのゲノム解析などの研究実績を基盤として、キヌアの自殖系統の遺伝子型・表現型の相関解析を行うなど、キヌアの品種改良につながる分子生物学的基盤を構築しつつある点は高く評価される。

研究題目1および2では順調に研究が進展している一方で、研究題目3および4については、ボリビアにおける試験や活動の開始がコロナ禍により遅れたことに加え、相手国への供与機材の搬入の遅れも大きく影響した。しかし、実質の活動期間で見れば順調に進捗しているといえる。

ただし、日本側の成果である遺伝資源や育種におけるインパクトの高い基盤研究と比較すると、現地圃場での栽培試験や現地での技術開発と普及システムの構築には遅延が見られる。プロジェクト後半は、相手国での研究活動に残されている部分が多いと思われることから、現地における研究活動を促進していただきたい。

以上のことから、所期の計画と同等の取組みが行われていると評価できる。プロジェクト後半には、これまでの研究成果を活用した加速を期待したい。

### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

研究題目1では、キヌア栽培種74系統、近縁野生種207系統を収集し、野生種アハラの遺伝資源としての重要性を証明した。遺伝子解析のために有用形質を親にもつ交配集団(NAM集団)の構築を図り、共同研究機関であるNGO組織PROINPA財団ではF2(雑種第二代)まで、日本側ではF2~F5世代まで育種を進めた。さらに、精製したDNAや特殊な酵素類を用いずに、簡便にゲノムワイドマーカー<sup>1</sup>を取得できる「degenerate oligonucleotide primer MIG-seq(dp-MigSeq)法」を完成し、ボリビアへ技術移転を行うなどの着実な成果を挙げている。研究題目2については、年4回の世代促進を可能としたコンパクト栽培技術の開発に加え、キヌア遺伝子の機能解析技術を世界に先駆けて確立するなどの当初の計画を上回る成果が創出された。非モデル植物であるキヌアの研究成果をさまざまな作物でも追隨する動きが見られることは、研究成果のインパクトの高さを物語っている。研究題目3では、コロナ禍により開始が遅れたが、現地での作付け体系改善

<sup>1</sup>ゲノム全体にわたって形質の違い等を調査するための目印となる特定の塩基配列

および風食被害低減のための栽培試験を開始した。研究題目 4 もコロナ禍により現地での活動が制限されていたが、現地農家へのベースライン調査や現地での技術講習会を実施するなど、着実に計画を進めている。

今後は、遺伝資源の基盤整備と有望系統の作出研究を継続するとともに、これまで主に相手国側の研究者だけで実施していた栽培試験を両国共同で実施し、持続的高生産を実現する安定多収の栽培体系の構築と技術の普及システムの開発に向けた研究を促進し、残りのプロジェクト期間を考えながら過酷なアルティプラノの環境におけるキヌアの安定栽培法の確立を目指していただきたい。現地の微生物資源からの生物肥料や生物農薬の開発と利用、キヌアの飼料価値の向上、リヤマの飼養管理モデルの開発による耕畜連携技術の改善、さらにはボリビア高地住民に適合する普及システムの開発とキヌアと食用ルピナスの混作等の新しい農業技術の移転・定着が重要になると思われる。

#### 4-2. 国際共同研究の実施体制について

政治的不安定やコロナ禍の影響など、さまざまな国際共同研究に関わる深刻な制約があるなかで、プロジェクト全体として研究代表者を中心に関係者の真摯な尽力やアイデアなどによって、多くの課題への対応がなされてきた。コロナ禍での渡航制限により対面での事業実施は困難な状況であったが、両国研究者がリモートでのコミュニケーションを密に行い、4つの研究題目いずれにおいても大凡着実に進めてきたことは評価できる。

日本側研究代表者のリーダーシップで両国の研究者間の情報共有はしっかりとされており、信頼関係が築かれている。引き続き、参画している研究者間の積極的な交流を図っていただきたい。一方で、ボリビア側との共著論文がまだなく、いかに国際共同研究を実質化していくかは今後の課題である。

両国ともに2割以上の女性研究者が参画し、将来を担う45歳以下の研究者が過半数を占めている。さらに、多くの大学院生も参画しており、充実した若手人材育成の場を提供している。ボリビアから若手研究者を積極的に招へいして技術研修を行い、日本の学生がボリビア現地での活動を行うなど、将来を見据えた両国間の人的交流の礎は着実に築かれている。

供与機材については、搬入の遅延が大きな課題となっていたが、調達における問題点の解決に努めたことで、概ね計画通り現地に導入・活用されている。相手国における早めの機材装備がプロジェクト終了後の持続的研究の実施に大きな影響を与えるため、搬入が未達のものについては早急に手配いただきたい。

#### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

キヌアは、劣悪な農業環境の活用や飢餓の撲滅等の観点から、国際的に極めて重要な作物である。本プロジェクトの成果は、日本の科学技術が国際的な農業分野に大きく貢献する高い可能性

を秘めており、日本のプレゼンス向上の絶好の機会になり得るものである。主要な作物と比較して研究蓄積の少ないキヌアを対象に遺伝資源の収集と特性調査を行い、その育種の基盤を構築した点は高く評価される。特に、簡便にゲノムワイドマーカーを取得できる「dp-MigSeq 法」を開発したことは、ゲノム育種に必要な分子基盤の確立に向けた大きな進展である。また、年4回栽培可能なコンパクト植物を利用した世代促進技術の開発は、レジリエンス強化有望系統の育種期間を短縮するために効果的に使用できるという点でインパクトが極めて高いと言える。さらに、世界に先駆けて確立したウイルス利用の遺伝子機能解析技術も、広く植物遺伝子の機能解析に使用されることが大いに期待される。今後、これらの国内研究における成果を基盤に、相手国における品種改良に向けた具体的な研究進捗とそれらを用いた栽培技術の改良に関する成果を期待したい。

キヌアの遺伝子型・表現型統合データベース構築、有用遺伝子同定が可能な品種母本集団の作出が完成され、早生およびレジリエンス強化に関わる育種素材の開発が達成されれば、その後の育種における活用が期待される。キヌアは乾燥地や塩類集積が起こっている地域でも生育可能であるため、そのような地域に適合した有望品種の開発に至れば、地球規模での有用作物育種の突破口となる可能性があり、インパクトは大きいと考えられる。

#### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

ボリビアにとって重要な食用作物であるキヌアの遺伝資源の保全と種子の保管とレジリエンスを強化した品種の育成と利用は大きな意味がある。プロジェクト期間内に今後育成予定の有望系統の栽培技術を開発し、実際にその有用性を圃場で実証することで持続的発展の見込みを高くしてもらいたい。特に、共同研究の相手国機関である PROINPA は、ボリビアにおける農業技術の普及に係る相当な経験を有しており、研究成果の社会実装に対して役割がとても大きい。国際農林水産業研究センターと PROINPA は長い交流実績があり、今後の継続した協働が着実に実施できる見込みである。

また、プロジェクト終了後、それらが適切に継続されるためには、人材育成が極めて重要である。PROINPA とは、若手研究者・技術者の育成も進めることになっており、継続的な人的交流も期待できる。

キヌアおよび未利用作物の研究者などへの基礎的研究のアウトリーチ活動、およびキヌアの栽培、加工、利用に係る技術専門家に対するアウトリーチ活動など、プロジェクト開始時からしっかりと行われている。プロジェクト後半は世界のキヌア研究者の組織化など、PROINPA と相談して、成果のアウトリーチを継続していただきたい。

成果の社会実装については、JICA の技術協力プロジェクトとの連携も視野に入れて、プロジェクトの研究成果を最大限活用していただきたい。

#### 4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

1. 本プロジェクトは、プロジェクト目標として育種素材の開発・品種候補の選抜までを掲げている。プロジェクト終了後の品種開発は相手国機関である PROINPA が担い、品種登録や販売を行う予定としているが、具体的な計画については十分に検討していただきたい。
2. 遺伝資源の保全是作物育種の根幹である。プロジェクトで探索・収集したキヌア遺伝資源について、その特性評価および種子増殖を確実にし、質・量ともに世界に誇れるキヌアの遺伝バンクを確立し、プロジェクトで育成されるキヌアの育種材料および実験集団についても国際的に利用できる基盤を作っていただきたい。加えて、当初の計画通り PROINPA に遺伝資源保管システムを構築し、遺伝型および表現型の特性評価や圃場を利用した種子更新プログラムの運用を早々に開始してもらいたい。
3. 研究題目 4 のアルティプラノにおける普及ネットワークの構築については、どこまでプロジェクト期間中に達成できるのか見通しを明らかにしていただきたい。本来普及ネットワークの構築はボリビア政府あるいは地方政府の責務と思われる。どのようにプロジェクト側が貢献するのも明らかにしていただきたい。
4. 極限環境に生育するキヌアの耐塩性、耐乾燥性等の生理学的メカニズムは、他の植物においても重要な知見をもたらす可能性が高い。キヌア生産の社会実装を目指す一方で、基礎研究の発展にも貢献していただきたい。
5. キヌアは環境の厳しい中での継続した生産が特徴であり、環境ストレスの評価と品種・栽培技術、さらには土壌基盤の管理・保全との関係の評価が求められる。今後進められる気象観測の結果を踏まえ、干ばつなど環境ストレスの評価から生育の規定要因の明確化を進めていただきたい。
6. 研究題目 4 の現地調査でも指摘されているように、キヌアの低地への拡大が予測される。本プロジェクトにおいても、高地に限定せずに低地も主要な対象地域に含めてはどうか。近年、キヌアの需要は世界的にも高まりつつあり、低地に適応した品種についても品種育成と栽培技術の改善も課題として設定していただきたい。

以上

# 成果目標シート

研究課題名	高栄養価作物キヌアのレジリエンス強化生産技術の開発と普及
研究代表者名(所属機関)	藤田泰成(国際農林水産業研究センター)
研究期間	2019年度採択(2019年6月1日-2025年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	ボリビア多民族国サン・アンドレス大学、PROINPA財団
関連するSDGs	2.4 レジリエントな農業生産体系を基盤とした持続可能な食料生産システムの確保 2.5 近縁野生種も含めた遺伝的多様性の維持 15.3 砂漠化への対処と劣化した土地・土地の回復

## 成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	ボリビア政府が進める高地民族への支援に貢献
科学技術の発展	作物栽培限界地における農業生態系の保全(生物多様性の保全)
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	レジリエンス強化に寄与するキヌアの有用遺伝資源に関する知財獲得とボリビアでのキヌア品種登録
世界で活躍できる日本人人材の育成	国際共同研究の推進、国際学会、査読付き国際学術論文への成果公表を通じた、国際的認知度の高い若手研究者の育成
技術及び人的ネットワークの構築	ボリビアにおけるレジリエンス強化品種開発体制の整備
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	キヌア育種マニュアル、耕畜連携マニュアル、野草育苗マニュアル、査読付き国際共著論文(25報)

## 上位目標

開発技術が世界各地に普及し、キヌア生産が飢餓や栄養不良の削減に貢献する

農業生態系のレジリエンス強化と持続的管理のための技術が開発され、その普及を通して持続可能なキヌア生産が行われる

## プロジェクト目標

地球規模で急激に増加する砂漠化の影響を受けやすい乾燥地域における持続可能な農業生態系の保全と管理を基盤としたキヌアのレジリエンス強化生産技術が開発され、技術普及のための基盤整備を行う

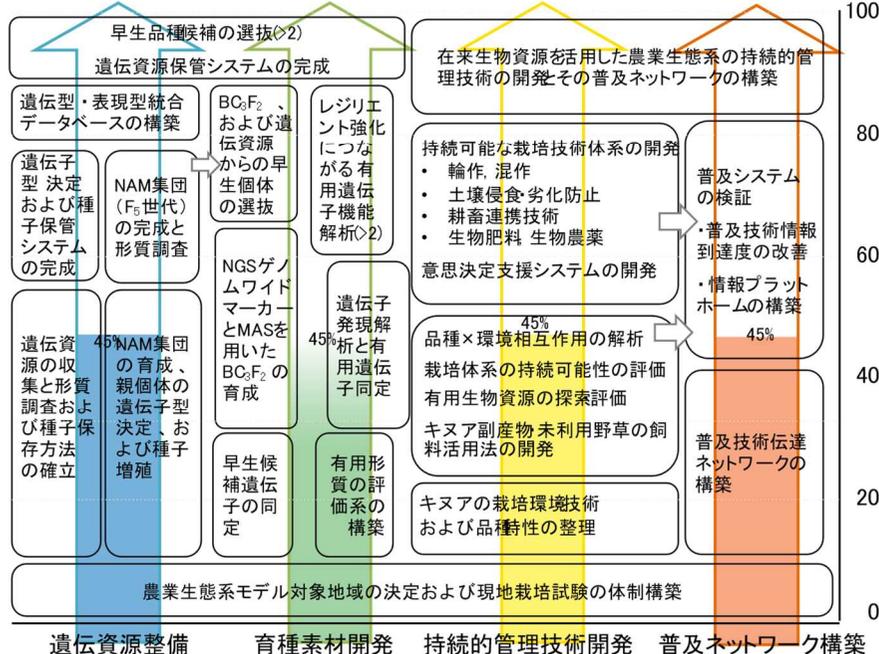


図1 成果目標シートと達成状況(2023年5月時点)