

SICORP 日本-スペイン、ドイツ
「食料及びバイオマスの生産技術」分野 事後評価結果

1. 共同研究課題名

「持続的な作物生産のためのジャガイモとキャッサバの比較オミックス解析」

2. 日本－相手国研究代表者名（研究機関名・職名は研究期間終了時点）：

日本側研究代表者

関 原明(理化学研究所 環境資源科学研究センター・チームリーダー)

スペイン側研究代表者

サロメ・プラト(スペイン国立バイオテクノロジーセンター・教授)

ドイツ側研究代表者

ウベ・ソネワルド(フリードリヒ・アレクサンダー大学・教授)

3. 研究実施概要

塊根作物キャッサバおよび塊茎作物ジャガイモは発展途上国を含む世界の多くの地域で生産される重要な炭水化物（貯蔵澱粉）資源であり、食糧、飼料、様々な工業原材料（バイオ燃料の原材料等）として利用されている。貯蔵器官である塊根・塊茎は環境要因の影響により、形成層の細胞分化と細胞伸長の過程を経て形成される。しかし、この塊根・塊茎形成の分子機構には不明な点が多い。本研究では、3つの研究グループ(スペイン国立バイオテクノロジーセンター(CNB-CSIC)、フリードリヒ・アレクサンダー大学(FAU)、理化学研究所(RIKEN)が連携して、キャッサバとジャガイモの貯蔵器官形成の比較統合オミックス解析（遺伝子発現、代謝物、植物ホルモン量の変動）と形態学的研究を実施し、貯蔵器官形成における細胞分化の制御機構と環境要因が塊根・塊茎形成に影響を及ぼす分子メカニズムの解明を目指した。具体的には、RIKENグループはキャッサバ塊根におけるオミックス解析、形質転換体の作成、環境変動下での生理的影響の調査を実施し、CNB-CSICグループはINTACT技術(*TCS* プロモーター+*GUS* の利用)の開発とジャガイモの塊茎のオミックス解析（遺伝子発現、代謝物、植物ホルモン量の変動）を、FAUグループは生育温度等を制御した環境変動下での生理的影響を調査するとともに大腸菌由来の *Glycolate Dehydrogenase* (*EcGlyDH*) 遺伝子の過剰発現ベクターを作成し高温耐性植物の育成を目指した。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況、得られた研究成果及び共同研究による相乗効果

（論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況を含む）

1) キャッサバの塊根と塊根形成前の根について、RIKENが基盤技術を有するオミックス解析により植物ホルモン、代謝物、遺伝子発現の変化を調査、ジャガイモ塊茎形成過程と比較検討した結果を論文発表した。塊根の澱粉蓄積とともに、基質となるグルコース-6-リン酸、ショ糖、ウリジル二リン酸グルコース

が塊根形成前の根と比較して増加し、澱粉合成が活性化されていた。また、塊根の植物ホルモン解析から活性型サイトカイニンの蓄積が明らかとなった。一方、直径 1~5 mm 以上の塊根でアスパラギン酸結合型オーキシニン量が減少したが、塊根形成前の根ではオーキシニンレベルは一定であり、アスパラギン酸結合型オーキシニンやアブシジン酸が一定量蓄積していた。また、網羅的な遺伝子発現解析の結果、塊根中では糖代謝関連の遺伝子発現やオーキシニンやサイトカイニンの代謝に関わる遺伝子発現量も増加していた。塊根形成過程における植物ホルモン制御を検証するためにキャッサバ無菌栽培根を用いた塊根誘導実験系が確立された。同実験系を用いた解析の結果、キャッサバ塊根形成にはオーキシニンとサイトカイニンが主要な役割を担うこと、ジャスモン酸とアブシジン酸は塊根の形成を阻害することが明らかになった。なお、遺伝子発現解析を行った結果、ジャスモン酸処理はオーキシニンシグナルを抑制的に制御し、アブシジン酸は糖代謝を抑制している可能性が示された。ジャガイモの塊茎形成でもサイトカイニンやオーキシニンが塊茎形成に主要な役割を果たしていたが、ジャスモン酸の役割がキャッサバとジャガイモでは異なることが明らかとなった。

2) 貯蔵器官への分化における維管束形成層の役割を解明するために、CNB-CSIC において維管束特異的に発現するシロイヌナズナ由来転写因子 *WUSCHEL-RELATED HOMEODOMAIN 4* (*WOX4*) のプロモーターを用いた INTACT 技術が開発された。*pWOX4::GFP* レポーターを導入したジャガイモ維管束形成層で GFP 活性が検出された。一方、サイトカイニンに応答する *TCS* 遺伝子のプロモーターと *GUS* 遺伝子を連結したコンストラクト (*TCS::GUS*) も作製された。ジャガイモでは、植物を長日条件から短日条件に移すと、形成層細胞でサイトカイニンシグナルが強く誘導されることが示され、塊茎形成では形成層分裂組織細胞から分化することが判明した。RIKEN においても INTACT 技術をキャッサバに導入し塊根形成時の細胞分裂の配向性、細胞分裂の活性化領域に関する重要な知見が得られつつある。

一方、ジャガイモストロンからの塊茎形成では、短日条件下、SP6A(ジャガイモの FT ホモログ)および StCOL1(同 CONSTANS-LIKE1 ホモログ)、および StCDF1(同 Cycling DOF Factor 1 ホモログ)による制御が報告されている。そこで、キャッサバ塊根形成における日長応答性が検証され、キャッサバの塊根形成も日長依存的であることが明らかになった。ペプチドシグナルの関与について今後の検討が予定されている。

3) 高温ストレス時の光呼吸の軽減を目指して、FAU において大腸菌由来の *Glycolate Dehydrogenase* (*EcGlyDH*) を過剰発現したジャガイモの形質転換体の解析が進められた。RIKEN においても、キャッサバの形質転換体を作製され、今後の解析が待たれる。

以上のように、3つの研究グループが連携して、ジャガイモとキャッサバという重要澱粉資源の貯蔵組織が形成される分子機構の解明に重要な貢献がなされ、当初の目的をほぼ達成したと考えられる。特に、RIKEN におけるキャッサバの

塊根誘導条件の解明と人工的な塊根形成系の確立、さらには、キャッサバの塊根形成の日長依存性の解明等の知見は、今後、キャッサバにおける塊根の早熟性に関わる遺伝子の同定につながると期待される。また、キャッサバとジャガイモに共通する貯蔵組織形成の理解から、その生産性向上への応用が期待される。

すでにキャッサバの塊根形成におけるオミックス解析については、論文発表が行われており、今後、他の共同研究の成果の発表も期待できる段階にある。具体的な成果発表は今後に期待するが、本事業に参画した各研究リーダーは塊根・塊茎研究の世界的研究者であり、相互の研究交流により世界的な研究ネットワークが形成されたと評価できる。特に、参画した若手研究者が今後、国際共同研究の中核メンバーとして活躍することが期待される。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、わが国の科学技術力強化への貢献
キャッサバの塊根形成の分子機構の解明に関する論文は重要な知見であり、人工的な塊根形成実験系の確立や、キャッサバの塊根形成の日長依存性の解明と合わせて、キャッサバの育種に貢献すると期待される。また、日本グループはアジア諸国との強い連携を持ち、アジアにおけるキャッサバ研究の拠点として活発に研究発表等がなされてきたが、今後、アフリカを対象とする欧州のキャッサバ研究者、また、ジャガイモ研究者とも強い研究ネットワークを構築することができたことから、塊根・塊茎形成を統合的に解析する研究者のネットワークが構築されたと考えられる。今回の成果が直ちに持続可能な開発目標（SDGs）「目標2：飢餓をゼロに」や「目標13：気候変動に具体的な対策を」の達成には繋がらないが、さらなる研究継続により SDGs に向けた取組の推進が期待される。特に、いくつかの成果は、今後の発展が期待できるものであり、継続的に予算を獲得し、世界規模においていかに実用化研究を発展させるかが重要な課題である。