

国際農林水産業
研究成果情報

－ 2021 年度 －



地球と食料の未来のために



国立研究開発法人
国際農林水産業研究センター

令和3年度国際農林水産研究成果情報

プログラム名	No.	研究成果情報 主要普及成果 の別	分類	プロジェクト略称	P L 名	執筆責任者	
環境（A）	A01	研究成果情報	研究	気候変動総合	泉 太郎	南川和則	宇野健一
			水田でのメタン発酵消化液の施用によるメタン排出促進は間断灌漑で相殺できる				
	A02	研究成果情報	研究	気候変動総合	泉太郎	白木秀太郎	－
			再生稲の水分消費は、移植稲と比較して生育初期で大きく生育後期で小さい				
	A03	研究成果情報	研究	カーボンリサイクル	小杉昭彦	鶴家綾香	小杉昭彦
			オイルパーム古木の慣例的農地還元は土壤環境に負の影響を及ぼす				
	A04	主要普及成果	技術	BNIシステム	吉橋忠	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生物的硝化抑制(BNI)強化コムギの開発				
	A05	研究成果情報	研究	BNIシステム	吉橋忠	大高潤之介	吉橋忠
			トモロコシ根の生物的硝化抑制(BNI)物質の発見				
	A06	研究成果情報	行政	BNIシステム	吉橋忠	レオン愛	－
			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				
	A07	研究成果情報	研究	環境適応型林業	岡裕泰	小林正樹	谷尚樹
			フタバガキ科熱帯林業樹種 <i>Shorea leprosula</i> の茎の成長と新葉の関係				
食料（B）	B01	研究成果情報	研究	レジリエント作物	藤田泰成	許 東河	－
			ダイズ根系の改良に資する根長に関する遺伝子座の特定				
	B02	研究成果情報	研究	レジリエント作物	藤田泰成	許 東河	－
			ダイズの種子サイズと形状に関する遺伝子座の特定				
	B03	研究成果情報	研究	レジリエント作物	藤田泰成	小賀田拓也	藤田泰成
			ウイルスベクターを用いたキヌアの遺伝子機能解析法				
	B04	研究成果情報	研究	レジリエント作物	藤田泰成	柏毅	－
			ダイズ紫斑病菌のゲノム情報				
	B05	研究成果情報	研究	レジリエント作物	藤田泰成	山中直樹	－
			メキシコのダイズさび病菌の病原性は2つの傾向に大別される				
	B06	研究成果情報	研究	越境性害虫	小堀陽一	前野浩太郎	－
			西アフリカの群生相化したサバクトビバッタは産卵直前に雌雄が合流				
	B07	研究成果情報	研究	熱帯水産養殖	宮田勉	宮田勉	－
			フィリピンにおける養殖ミルクフィッシュの成長と肥満度は水温で予測できる				
	B08	研究成果情報	研究	熱帯水産養殖	宮田勉	奥津智之	－
			生殖細胞凍結保存技術によりクルマエビ類の遺伝的多様性保全を図る				
	B09	研究成果情報	研究	アフリカ稲作システム	辻本泰弘	西垣智弘	辻本泰弘
			リン欠乏水田でのリン施肥による水稻増収量は土壌リン吸着能から推定できる				
	B10	研究成果情報	研究	アフリカ稲作システム	辻本泰弘	川村健介	西垣智弘
			深層学習で熱帯の多様な生態系における土壌のリン供給能を推定するモデル				
	B11	研究成果情報	研究	アフリカ稲作システム	辻本泰弘	辻本泰弘	－
			イネのリン欠乏と低温不稔が問題となる栽培環境での効率的なリン施肥法				
	B12	研究成果情報	研究	アフリカ稲作システム	辻本泰弘	浅井英利	川村健介
			メタ解析により明らかになったアフリカ陸稲への施肥効果				
	B13	研究成果情報	行政	アフリカ稲作システム	辻本泰弘	横山繁樹	－
			灌漑地区上流への野菜作導入で農家の所得向上と灌漑水の均等な配分が両立する				

令和3年度国際農林水産研究成果情報

プログラム名	No.	研究成果情報 主要普及成果 の別	分類	プロジェクト略称	P L 名	執筆責任者	
情報（C）	C01	研究成果情報	研究	熱帯作物資源	山中慎介	寺島義文	－
			タイに自生するエリアンサス遺伝資源の多回株出し栽培における農業形質情報				
	C02	主要普及成果	技術	熱帯作物資源	山中慎介	緒方達志	山中慎介
			簡易茎頂接ぎ木法によるパッションフルーツのウイルスフリー化技術				

水田でのメタン発酵消化液の施用によるメタン排出促進は間断灌漑で相殺できる

〔要約〕 ベトナム・メコンデルタの水稲三期作において、メタン発酵消化液の肥料利用と間断灌漑の組み合わせは、現地慣行である化学肥料と常時湛水の組み合わせと比較して、水稲収量を減らすことなくメタン排出量を11～13%削減できる。

〔キーワード〕

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

ベトナムにおいて普及している家畜糞を原料とする小規模バイオガス生産とその家庭内利用は、窒素等の植物養分を多く含む廃液（メタン発酵消化液）が未処理のまま水系へ排出されるために、水質汚染等の地域環境問題を引き起こしている。その解決策として、消化液を現地の主要作物である水稲の肥料として利用することは有効であるものの（令和元年度国際農林水産業研究成果情報A01「水稲の葉色に基づく施肥設計はメタン発酵消化液の肥料利用でも有効である」）、消化液には分解されやすい有機物が含まれることから、土壌からのメタン(CH_4)排出を増加させる恐れがある。そこで、間断灌漑を組み合わせることで、この CH_4 増加を相殺できると仮説立てて、メコンデルタの水稲三期作における農家圃場での観測から、その効果を検証する。

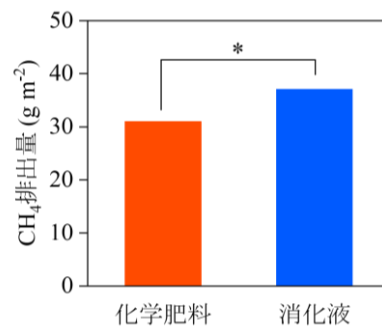
〔成果の内容・特徴〕

1. 牛糞を原料とする消化液の有機物含量等の性質は作期間で異なるが、その施用により、化学肥料に比べて CH_4 排出量は三作の平均で19%増加する（図1）。
2. 現地は起伏の少ない低地のため自然落水が困難であるが、日本型の中干し+日数を指標とした間断灌漑(MiDi)や田面水深を指標とした間断灌漑(AWD)実施下での落水日数が多いほど、 CH_4 排出量は低下する（図2）。
3. 現地慣行の化学肥料と常時湛水の組み合わせに対して、提案する消化液と間断灌漑の組み合わせは、収量やわら収量を減らすことなく、 CH_4 排出量を11～13%、一酸化二窒素(N_2O)排出量を35～54%それぞれ削減できる（図3）。 CH_4 と N_2O の合計排出量を CO_2 等価に換算した地球温暖化係数(GWP)や、GWPを収量で除して求めた収量あたりGWPも、消化液と間断灌漑の組み合わせによって削減できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 本成果は、家畜糞を原料とする消化液を肥料利用する他の水稲作地域にも適用できる。
2. 排水が良好な圃場立地ならば、間断灌漑による CH_4 排出削減効果は高まる可能性がある。

[具体的データ]

図1 化学肥料と消化液施用からのCH₄排出量

分割区法による分散分析の結果、5%水準の有意差がある。

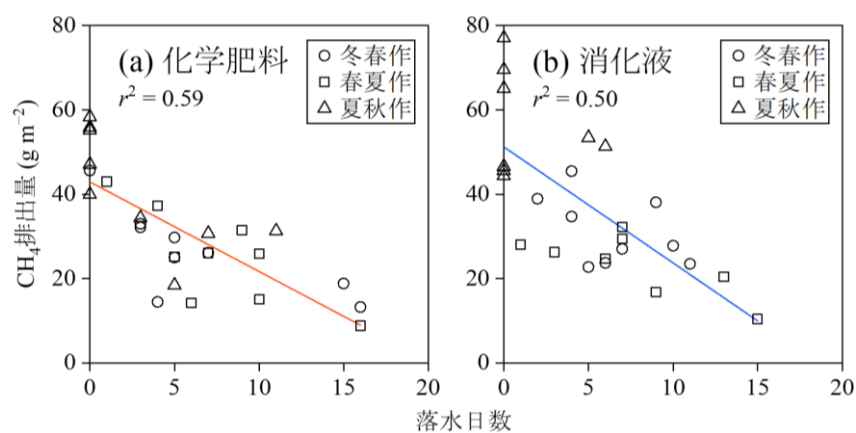
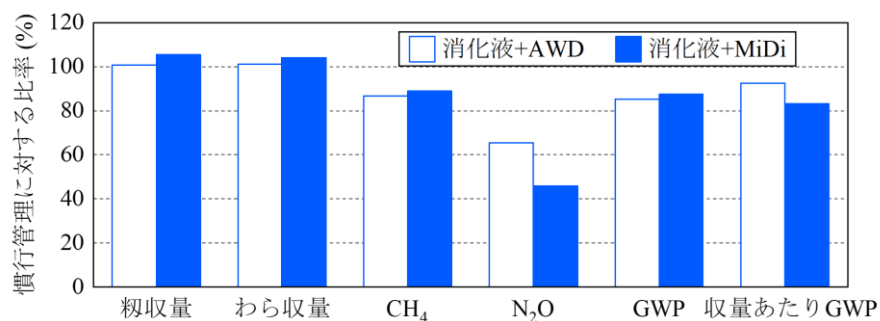
図2 各作期の苗立ちから最終落水までの落水日数とCH₄排出量の関係

図3 化学肥料+常時湛水の慣行管理と提案管理の比較

図は Minamikawa et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔資源・環境管理／気候変動対応〕

研究期間：2019～2021年度

研究担当者：南川和則（生産環境・畜産領域）・宇野健一（農村開発領域）、Huynh CK・Tran SN・
Nguyen HC（ベトナム カントー大学）

発表論文等：Minamikawa K et al. (2021) *Agriculture, Ecosystems and Environment* 319: 107568

再生稲の水分消費は、移植稲と比較して生育初期で大きく生育後期で小さい

〔要約〕 これまでに報告事例のない水稻再生二期作の用水計画の策定に必要な再生稲の水分消費割合を明らかにする。再生稲の生育に応じた水分消費割合はその旺盛な分げつ特性により生育初期から放物線的増加を示すことから、移植稲と異なる用水計画の策定が必要となる。

〔キーワード〕 水稻再生作、水分消費割合、減水深、統計モデリング

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

再生稲による水稻二期作は育苗、代かき・田植えを必要とせず、また、再生作は本作に比べて生育期間が短縮することから、灌漑水量を削減できる作付け体系であることが報告されている。しかし、用水計画の策定に必要な再生稲の生育に応じた水分消費割合（基準蒸発量に対する蒸発散量の割合）はこれまで報告されていない。さらに、蒸発散量計測はライシメータ等の高額な機材が必要なため、特に途上国ではその水分消費割合の決定が難しい。そこで本研究では、連続計測はできないが簡易かつ高精度の水田減水深計測とその欠損データを内挿補間する統計モデリングの手法を組み合わせ、再生稲の生育に応じた水分消費割合を算定する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ミャンマーの熱帯地域における再生稲の水分消費割合の算定手順は、コンクリートタンク（幅 0.9 m × 長 1.8 m × 深 0.4 m）を用いて常時湛水下で再生稲による水稻二期作（本作＋再生作）を年2作行い、イネ有・無しタンクにおける非降水時の日減水深（湛水深の日差）をそれぞれ蒸発散量と基準蒸発量とする。欠損値は実測値と気象データ、統計モデリングを用いてモデル推定し内挿補間する。そして、決定した蒸発散量と基準蒸発量から水分消費割合を算定する（図1）。
2. 本作に対する再生作の蒸発散量と基準蒸発量のそれぞれの割合は雨期作が 59%と 55%、冷涼乾期作が 74%と 82%であり、蒸発散量と基準蒸発量の割合はほぼ同等である（図2）。このことは、本作と再生作の蒸発散量の違いは主に作付期間の気候条件の違いに起因しており、ミャンマーの熱帯地域においては再生稲と同時期に栽培される移植稲の積算蒸発散量は大きく変わらないことを示唆している。
3. 移植稲（1本/株）の株当たり茎数は移植後から積算気温の上昇に応じて徐々に増加し、約 1,600℃で最高分げつ期に達する。一方、残株から発芽する再生稲は生育初期からバラツキの大きい旺盛な分げつを示し、移植稲より株当たり茎数は2倍程度多い（図3）。
4. 移植稲と再生稲の分げつ形態の違いから、生育に応じた水分消費割合は移植稲が S 字型、再生稲が放物線の増加曲線を示す。再生稲による水稻二期作では本作と再生作の水分消費特性の違いに留意して用水計画を策定する必要がある（図4）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 水田用水量の決定にあたっては、水分消費割合から推定した蒸発散量に加えて、水田の環境条件に応じた土壌浸透量、栽培管理用水量、有効雨量を考慮する。
2. イネの再生能は遺伝と環境要因の両方の影響を受けることが報告されていることから、様々な用水計画に対応するため、再生作の水分消費特性に関する研究の蓄積が期待される。

[具体的データ]



図1 水分消費割合の算定手順

イネ有無しタンク内の日減水深を蒸発散量、基準蒸発量とする。気象データは正味放射量、気温、湿度、風速。

異なる季節における再生稲を用いた水稻二期作

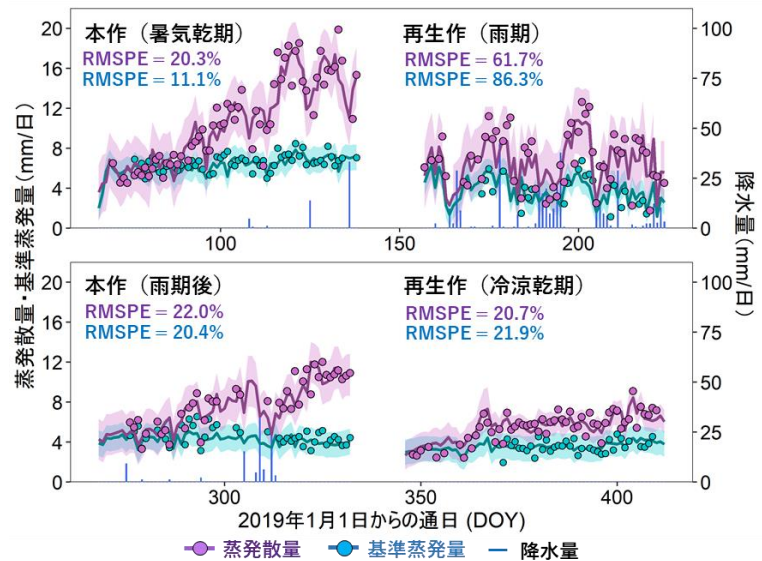


図2 蒸発散量と基準蒸発量の観測値と推定値

再生稲による水稻二期作の栽培期間は2019/2～8と2019/9～2020/4の2作である。点は観測値、帯は95%信用区間、線は推定値（予測分布の平均値）、RMSPEは二乗平均平方根誤差率。

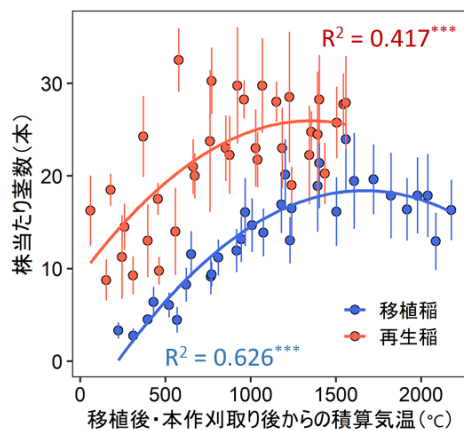


図3 移植稲と再生稲の茎数と移植後・本作刈取り後からの積算気温の関係

点は平均値、縦バーは標準偏差 (n=4～8)、線は二次回帰曲線、R²は決定係数、***は有意水準0.001%。

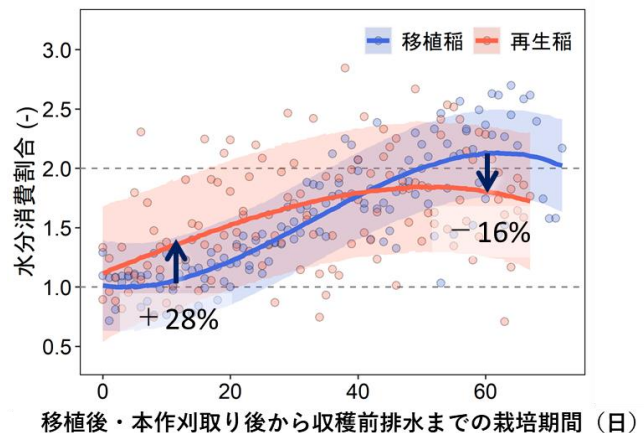


図4 移植稲と再生稲の生育に応じた水分消費割合

移植稲 n=138、再生稲 n=135、帯は95%信用区間、線は予測分布の平均値。数値%は移植稲に対する再生稲の水分消費割合の差（増減率）。

図は Shiraki et al. (2021)より 改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金 [資源・環境管理／気候変動対応]、科研費 [挑戦的研究（開拓）]

研究期間：2019～2020年度

研究担当者：白木秀太郎（農村開発領域）、Thin MC（ミャンマー農業研究局）

発表論文等：Shiraki et al. (2021) Agronomy, <https://doi.org/10.3390/agronomy11081573>

オイルパーム古木の慣例的農地還元は土壤環境に負の影響を及ぼす

【要約】 オイルパーム古木の慣例的農地還元による影響を確認するために、パーム古木繊維を混合した土壌で植物栽培を行った結果、生育不良や土壌に糸状菌 *Trichocladium* 属菌が有意に増殖する。パーム古木繊維の直接的な農地還元は土壤環境に負の影響を与える。

【キーワード】 オイルパーム幹、農地還元、窒素欠乏、土壤環境、*Trichocladium* 属菌

【分類】 研究

【背景・ねらい】

世界で最も消費される植物油脂「パーム油」の原料である果房は、マレーシアやインドネシアのパーム農園で栽培されるヤシ科の植物であるオイルパームから収穫される。オイルパームは、栽培年数と共に、その果房の生産量が低下することから、25年周期で伐採され、植替えられる。伐採されたオイルパーム古木(OPT)は、農園への肥沃度向上に効果があるとされ、細かく裁断し放置した後、新しいパーム苗木の再植時に慣例的に農園に施肥することで農地還元している。しかし、OPT 繊維は分解されず、長期間土壌に残り続けることから、果たしてその慣例的農地還元が土壌の肥沃度向上に繋がるのか科学的知見は少ない。そこで本研究では、植替え前に、OPT 繊維が施肥されたと想定した土壌をモデルとして作出し、苗木の生長期間中（3年間）に間作作物として栽培されるトウモロコシ、トマト、ダイズ栽培を例に、OPT 繊維が直接農地還元された際の植物生長や土壤環境にどういった影響を与えるかについてモデル的に検証を行った。

【成果の内容・特徴】

1. OPT 繊維を混在させた土壌（OPT 区：5 g/100 g 土壌）で栽培したトウモロコシ、トマト、ダイズはすべて生育不良となる。OPT を含まない土壌（標準区）で生育したトウモロコシ、トマト、ダイズと比較すると、それぞれの植物体の高さは、27.6%、35.9%、54.9%、葉緑素量（SPAD 値）は、58.8%、35.5%、48.9%、乾物重量は、52.5%、53.3%、42.8%の減少を示す（図1）。
2. OPT 区で栽培したすべての植物体では、窒素欠乏症状である黄化や、マグネシウム欠乏症状である葉脈透過が認められる。植物体地上部の元素分析から、OPT 区で栽培したすべての植物体で、窒素及びマグネシウムの欠乏が生じる（表1）。
3. 窒素及びマグネシウム欠乏の原因を検討するため、栽培後の標準区と OPT 区の微生物叢を比較したところ、根圏糸状菌である *Trichocladium* 属菌が有意に増殖する（図2）。
4. OPT 繊維の主成分であるセルロースの混在土壌（セルロース区）の場合、OPT 区と比較し *Trichocladium* 属菌の検出量は低く、目立った増殖は認められない（図2）。このことは、OPT 繊維の土壌還元により、特異的な *Trichocladium* 属菌の増殖を引き起こすことを示唆している。*Trichocladium* 属菌は、根腐病を引き起こすとされる *Fusarium oxysporum* と同症状を誘発するとの報告があることから、土壤環境に負の影響を与える可能性がある。

【成果の活用面・留意点】

1. OPT 繊維による *Trichocladium* 属菌の特異的増殖を示した初めての報告であり、*Trichocladium* 属菌の植物病理学的知見を明らかにすることで、パーム農園管理改善への知見となる。
2. OPT の農地還元の仕方により土壌に与える影響は異なる可能性がある。

[具体的データ]

表1 植物体元素分析結果

分析項目	トウモロコシ		トマト		ダイズ	
	標準区	OPT 区	標準区	OPT 区	標準区	OPT 区
リン	0.09%	0.07%	0.11%	0.18%	0.08%	0.09%
マグネシウム	0.25%	0.17%	1.18%	0.70%	0.60%	0.53%
カリウム	3.16%	2.91%	3.49%	3.75%	1.32%	1.42%
全窒素	2.09%	0.73%	3.36%	1.56%	1.58%	0.68%
無機態窒素*	0.24%	0.01%	0.22%	0.01%	0.02%	0.01%

標準区：OPT 繊維を含まない土壌区 OPT 区：OPT 繊維を含む土壌区。*無機態窒素は、硝酸態窒素、アンモニウム態窒素の合計。%：乾燥重量パーセント濃度。数値は3回の植物体試験数の分析平均値を示す。



図1 栽培試験における植物体の様子

A: トウモロコシ、B: トマト、C: ダイズ。左側：OPT 繊維を混合させた土壌（OPT 区） 右側：OPT 繊維を混合しない土壌（標準区）。

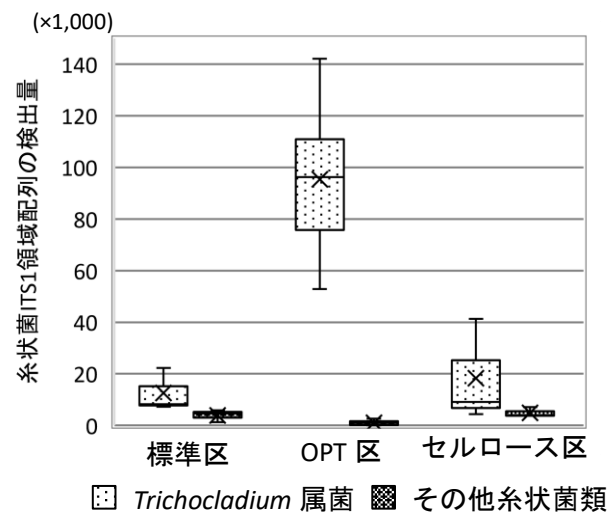


図2 土壌中に存在する各糸状菌量の比較

菌叢解析で検出された *Trichocladium* 属菌及びその他糸状菌類 (*Trichoderma* 属等) の ITS1 領域配列量を示す。対照としてセルロース (Sigma-Aldrich 社製) を混在させた土壌 (セルロース区) の菌叢解析を示す。

図表は Uke et al. (2021) より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：受託 [JST/JICA・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究期間：2019～2021 年度

研究担当者：鵜家綾香・小杉昭彦（生物資源・利用領域）、Chuah JA・Sudesh K（マレーシア理科大学）、Abidin NZHAZ・Hashim Z（マレーシアパームオイル庁）

発表論文等：Uke et al. (2021) *Journal of Environmental Management*, 295:113050

少ない窒素肥料で高い生産性を示す生物的硝化抑制(BNI)強化コムギの開発

〔要約〕 高い BNI 能を持つ野生コムギ近縁種であるオオハマニンニクとの属間交配により、多収品種に BNI 能を付与した BNI 強化コムギを開発できる。BNI 強化コムギは、土壌中のアンモニア態窒素の硝化を遅らせ、その土壌中濃度を向上させ、低窒素環境でも生産性が向上する。

BNI 強化コムギの活用により、窒素肥料の損失に伴う N_2O 排出による地球温暖化の緩和と水質汚濁物質の削減が期待できる。

〔キーワード〕 コムギ、生物的硝化抑制、野生コムギ近縁種、アンモニア態窒素、窒素利用効率

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

近代農業は、工業的に固定した窒素を農地に投入することを基盤としている。しかし、アンモニア態窒素として投入した窒素の過半は、作物に利用されず農地外へと溶脱・流出している。窒素の損失の多くは、土壌細菌による硝化を原因としており、生成物の硝酸態窒素は、水圏環境の悪化を引き起こすと共に、その後の窒素循環により CO_2 の 298 倍の温室効果のある N_2O が生じる。植物が根から硝化を抑制する物質を分泌し、土壌窒素の溶脱を防ぐ BNI は、熱帯牧草の機能として 2009 年に世界に先駆けて国際農研が証明し、作物への展開が期待されている。BNI を食料システムに応用することで、窒素を土壌に留め、作物の窒素利用効率を向上させることが出来る。これにより、少ない窒素投入で高い生産性を確保できると共に、窒素の損失に伴う環境汚染を低減でき、地球温暖化の緩和に繋がる。コムギは三大作物の 1 つで、世界で最も広く栽培されると共に、最も多くの窒素が投入される作物であるが、BNI 能の高い品種は現在まで見出されていない。このため、高い BNI 能を示す野生コムギ遺伝資源の活用による BNI 能の強化により、生産力向上と持続性の両立を図る。

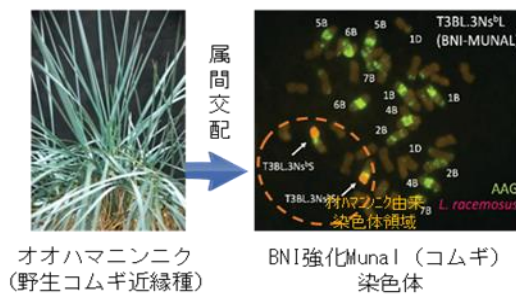
〔成果の内容・特徴〕

1. 属間交配によりコムギの 3B 染色体短腕を野生コムギ近縁種オオハマニンニク (*Leymus racemosus*) n 染色体短腕に置き換えることで、コムギの BNI 能強化が期待できる。(図 1)
2. 多収国際コムギ品種“Munal”にオオハマニンニク由来の BNI 能を導入した系統(BNI 強化 Munal)では、BNI 能が親系統の根乾物 1g、1 日あたり 92.7 ± 12.1 ATU (アリルチオ尿素当量; 硝化抑制の程度を示す) から、 181.7 ± 12.1 ATU となり、2 倍程度に強化され、圃場での根圏土壌硝化菌数の抑制、硝化速度の低下、 N_2O 排出量の低下 (図 2) で、環境負荷が低減される。
3. BNI 能強化に伴い、コムギの窒素代謝が変化し、葉の硝酸量、硝酸還元酵素活性の低下 (図 3) や、グルタミン合成酵素活性の上昇など、アンモニア態窒素を活用する代謝が活発になる。さらに、低窒素施肥条件では、地力窒素からの窒素取り込み能が向上する。
4. “BNI 強化 Munal”と親系統の Munal を比較するとバイオマス生産量、子実収量、窒素吸収量は施肥量に関わらず、有意に高くなり、250 kg/ha から 100 kg/ha に 6 割の窒素施肥量を削減しても子実収量 (図 4)、穀粒のタンパク質含量、製パン特性 (図 5) について有意差がない。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 多収国際コムギ品種に導入されたオオハマニンニク n 染色体短腕は、戻し交配により地域の特性に適合した品種へ導入することができ、BNI 能を持つ品種を世界各地で育成できる。
2. BNI 能を示す n 染色体短腕には、野生コムギに由来する他の遺伝子も座乗することや、BNI 能の発揮に土壌条件 (pH など) 等の影響があることに留意が必要。

[具体的データ]



圃場試験（つくば市）における生育の違い

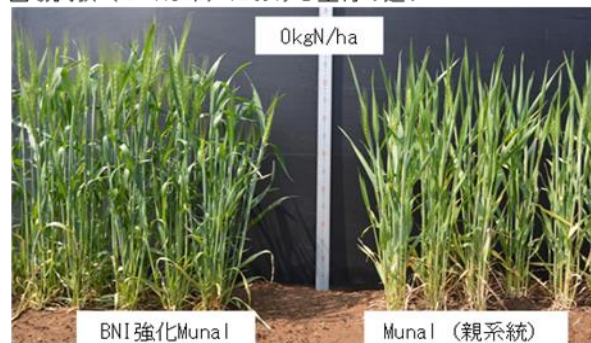


図1 BNI 強化コムギ（例：BNI 強化 Muna I）

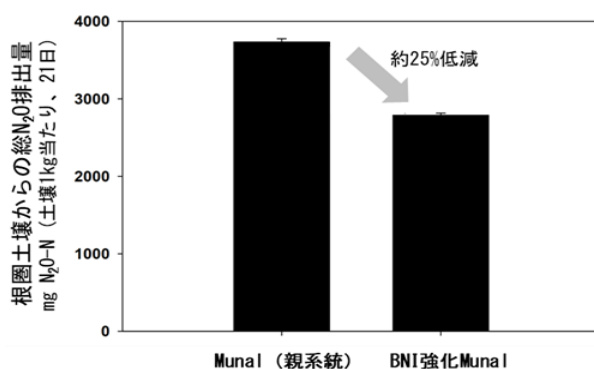
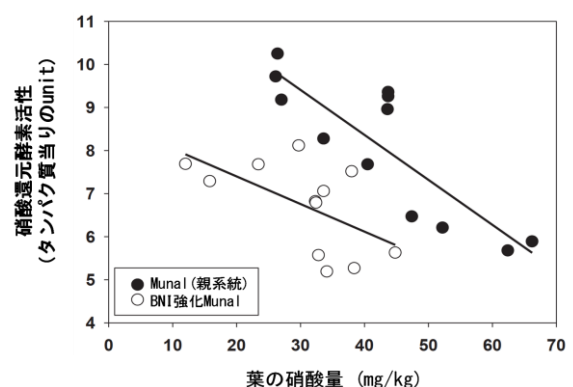
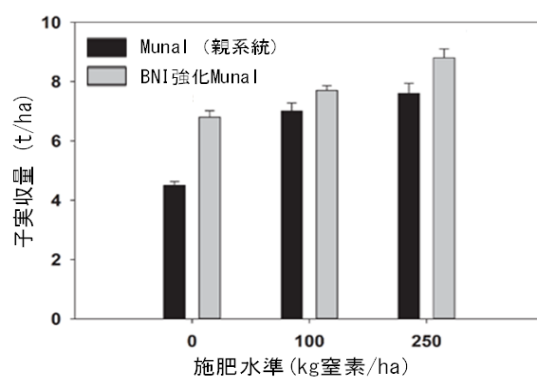
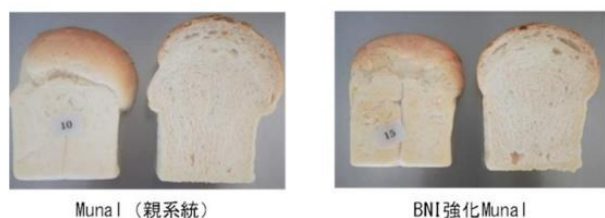
図2 BNI 強化 Muna I 根圏土壌からの N_2O 排出量
根圏土壌からの N_2O 排出は約 25%抑制される。図3 BNI 強化によるコムギの窒素代謝の変化
BNI 強化コムギはアンモニア態窒素を選好する。図4 異なる施肥水準における子実収量
250 kg/ha の親系統と 100 kg/ha の BNI 強化コムギの
収量に有意差はない。

図5 BNI 強化コムギの製パン特性

BNI 強化コムギも親系統と同様にパンに加工可能。

図は Subbarao et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金 [環境／BNI システム]

研究期間：2021～2025 年度

研究担当者：G.V.スバラオ（生産環境・畜産領域）・吉橋忠（生物資源・利用領域）・飛田哲・岩永勝・岸井正浩（国際トモロシコムギ改良センター）ら

発表論文等：Subbarao et al. (2021) *PNAS* 118: e2106595118, <https://doi.org/10.1073/pnas.2106595118>

トウモロコシ根の生物的硝化抑制 (BNI) 物質の発見

[要約] BNI 活性を有するトウモロコシ根の表層の疎水性画分から、新規高活性 BNI 物質ゼアノンが見出されるとともに、HDMBOA とその類縁体、HMBOA 及び HDMBOA- β -グルコシドが見出される。今回同定した4物質が、トウモロコシ根の BNI 活性の重要な役割を担っている。

[キーワード] トウモロコシ、生物的硝化抑制、二次代謝物質、キノン類、ベンゾキサジノイド

[分類] 研究

[背景・ねらい]

近代農業では、工業生産されたアンモニア態窒素肥料が農地に多量投入され、土壌細菌により硝化されることで、温室効果ガス排出や水質汚染など、窒素損失に起因する様々な問題を引き起こしている。硝化をコントロールすることができれば作物の窒素利用効率を向上させるだけでなく、窒素肥料の損失と環境汚染を減らし、地球の窒素循環を改善することに繋がる。本研究では作物が根から物質を分泌し硝化を抑制する現象「生物学的硝化抑制 (Biological Nitrification Inhibition=BNI)」に着目し、地球に優しく高効率な BNI を活用したトウモロコシ生産システムの確立に向け、トウモロコシ根由来の疎水性 BNI 物質の同定を行う。

[成果の内容・特徴]

1. トウモロコシの根表層をジクロロメタン（1%酢酸含有）で抽出することで BNI 活性を持つ疎水性画分を得ることができ、BNI 活性の強さを指標に、高速液体クロマトグラフィーによる疎水性画分の分離・精製により、BNI 物質を単離できる。
2. 最も強力な BNI 物質 (ED_{50} ; 活性を 50%抑制する実効濃度 = $2\ \mu\text{M}$) は、質量分析、核磁気共鳴装置による解析によりゼアノンと同定できる。本物質は自然界では初めての発見である (図 1)。
3. 2 番目に強力な BNI 活性を示すベンゾキサジノイドの 1 種である HDMBOA ($ED_{50} = 13\ \mu\text{M}$) も同定できる (図 1)。本物質はトウモロコシ根の表層疎水性画分の 50%以上を占め、トウモロコシ根ではゼアノンと同様に BNI の発揮に重要な役割を持つことが推定される (表 1)。さらに、根内部から BNI 活性を示す HDMBOA の類縁体 2 種、HMBOA と HDMBOA- β -グルコシドも同定できる (図 1、表 1)。
4. トウモロコシ根の疎水性画分における主要な BNI 活性は同定した4物質で説明できる (表 1)。
5. 根内部に含まれる HDMBOA- β -グルコシドは、土壌微生物由来の糖分解酵素によって高い BNI 活性を持つ HDMBOA に変換される (図 2)。

[成果の活用面・留意点]

1. 世界で栽培されるトウモロコシの BNI 活性はブラキアリアや、BNI 強化コムギに比べ低いが、BNI 物質を指標に BNI を強化することが期待できる。(図 1、表 1、図 2)
2. トウモロコシ生産システムにおける BNI の活用に向け、親水性 BNI 物質を検討する必要があると共に、選抜育種での使用に耐えるスクリーニング手法を確立する必要がある。

[具体的データ]

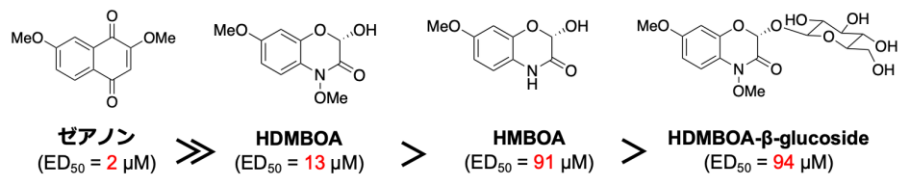


図1 BNI 物質の化学構造と活性の強さ

表1 トウモロコシ根抽出物中の BNI 物質の存在量

化合物	根表層 (220 mg)	根内部 ジクロロメ タン抽出物 (395 mg)	根内部 メタノール 抽出物 (10 g)	根全体 (10.615 g)
ゼアノン	0.1 mg	0.05 mg	—	0.15 mg (全BNI活性の19%)
HDMBOA	110 mg	132 mg	—	242 mg (全BNI活性の20%)
HMBOA	—	—	3.0 mg	3.0 mg (全BNI活性の2%)
HDMBOA- β-glc	—	—	20 mg	20 mg (全BNI活性の4%)

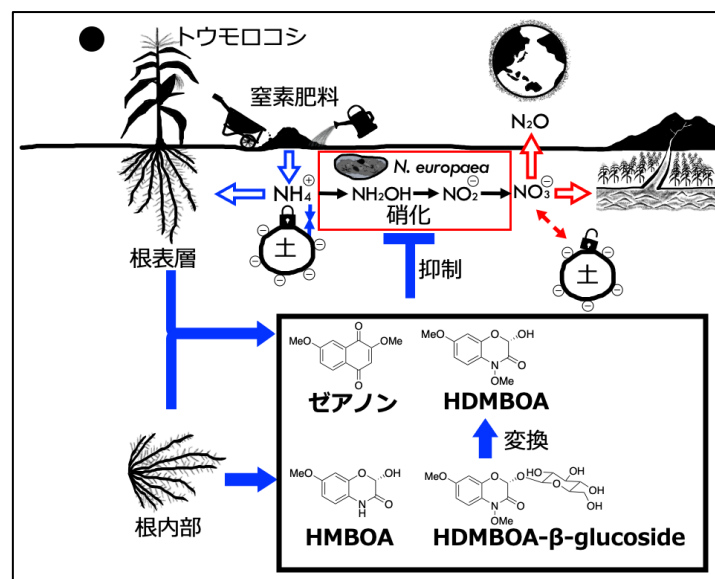


図2 トウモロコシの BNI メカニズム

図表は Otaka et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金 [環境／BNI システム]

研究期間：2021～2025 年度

研究担当者：大高潤之介・吉橋忠(生物資源・利用領域)・G.V.スバラオ(生産環境・畜産領域)、小野裕嗣(農研機構)

発表論文等：Otaka et al. (2021) *Biol Fertil Soils* 58: 251–264, <https://doi.org/10.1007/s00374-021-01577-x>

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

〔要約〕 開発済の土壌の硝化抑制率 30%の BNI 強化コムギにより、2030 年までに施肥窒素量を 11.7%削減、窒素利用効率を 12.5%向上可能と試算される。さらに、土壌の硝化抑制率が 40%に向上し、最適栽培地域に導入された場合、ライフサイクルアセスメントを用いた評価に基づく、2050 年までに世界のコムギ栽培地域から窒素肥料由来の温室効果ガスを 9.5%削減可能と推定される。

〔キーワード〕 BNI 強化コムギ、温室効果ガス、土壌の硝化抑制率

〔分類〕 行政

〔背景・ねらい〕

国際農研では、作物が根から物質を分泌し、硝化を抑制する現象「BNI (Biological Nitrification Inhibition: 生物的硝化抑制)」に着目し、環境負荷低減と食料増産を両立する BNI を使った「アンモニウムの活用」を提案している (Subbarao and Searchinger, 2021)。また、国際トウモロコシ・コムギ改良センター等と共同で、オオハマニンニクの高い BNI 能をコムギに導入し、約 30%の硝化抑制率を有し、少ない窒素肥料で高い生産性を示す BNI 強化コムギの開発に成功し (Subbarao et al., 2021)、2050 年カーボンニュートラルの実現に向け、硝化抑制率 40%を実現可能な目標として開発を進めている。

しかし、BNI 強化コムギが普及した場合の環境負荷低減量はこれまでに予測されていない。ここでは、ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用い、BNI 強化コムギによる窒素肥料由来 (図 1、赤枠) の温室効果ガス削減を考慮しながら、コムギ生産の資材及び機械の製造から作物収穫までの各段階で発生する温室効果ガスの総排出量 (図 1、①②③の合計) をライフサイクル温室効果ガスとして評価する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 2030 年までに土壌の硝化抑制率 30%の BNI 強化コムギが普及した場合 (図 2、横軸 30%参照)、ライフサイクル温室効果ガス排出量は 12.3%、施肥窒素量は 11.7%それぞれ低減し、コムギの窒素利用効率は 12.5%向上する。さらに、2050 年までに硝化抑制率 40%の BNI 強化コムギが普及した場合、ライフサイクル温室効果ガス排出量は 15.9%、施肥窒素量は 15.0%それぞれ低減し、コムギの窒素利用効率は 16.7%向上すると推定される (図 2、横軸 40%参照)。
2. BNI 強化コムギは、弱酸性から中性の土壌 (pH5.5~7.0) で、硝化抑制作用をよく発揮する。世界のコムギ生産面積の約 3 割がこの条件を満たしており、今後開発される硝化抑制率 40%の BNI 強化コムギを導入した場合、世界のコムギ栽培地域から窒素肥料由来の温室効果ガスを 9.5%削減可能と推定される (図 3)。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 気候変動の対策立案に関わる行政官は、本研究結果を用いて、BNI強化コムギの開発と普及を一つの有効な気候変動の緩和策として示すことができる。
2. 行政官などに、施肥窒素量削減と窒素利用効率向上が期待できる技術としてBNI強化コムギを示すことができる。
3. 硝化抑制作用は最適土壌pH (5.5~7.0) 以外でも一定の効果が期待されることに留意する。

[具体的データ]

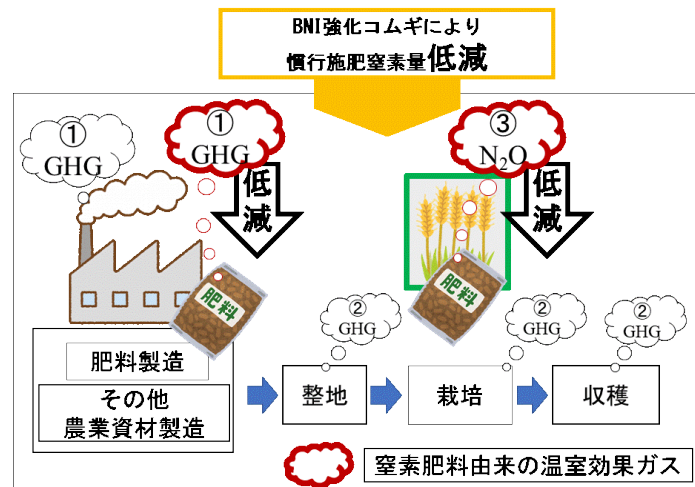


図1 BNI強化コムギによる窒素肥料由来の温室効果ガス(GHG)削減を考慮したライフサイクル温室効果ガス排出量

①肥料等の農業資材の製造時に発生するGHG量、②整地・栽培・収穫で使用される機械の燃料消費時に発生するGHG量、③コムギに施肥した窒素由来のN₂O発生量の合計を「ライフサイクル温室効果ガス」と定義。BNI強化コムギにより施肥窒素量が低減することで、窒素肥料由来の温室効果ガス（肥料製造時に発生するGHG量とコムギに施肥した窒素に由来する亜酸化窒素発生量、図中、赤枠）が低減。

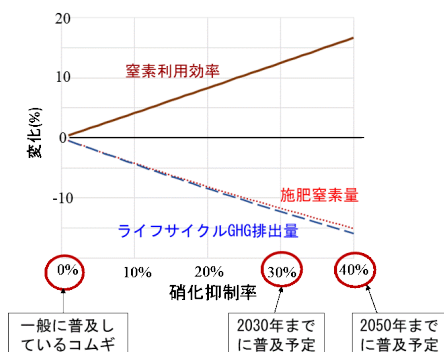


図2 硝化抑制率の変化に伴うライフサイクル温室効果ガス排出量、施肥窒素量、窒素利用効率の変化の推定

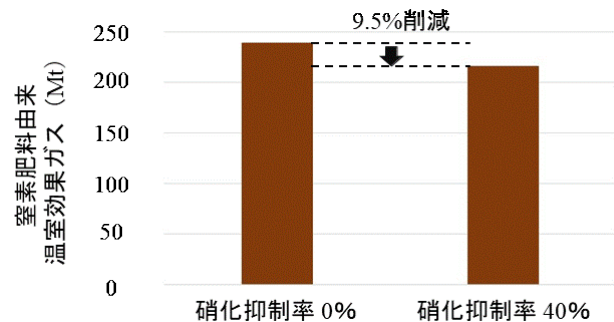


図3 世界のコムギ生産地域の3割にBNI強化コムギを導入した場合の窒素肥料由来の温室効果ガス削減

図は Leon et al. (2022)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分： 交付金 [環境／BNIシステム]

研究期間： 2021～2025 年度

研究担当者：レオン愛（社会科学領域）・Subbarao D.V.・松本成夫（生産環境・畜産領域）・岸井正浩（国際トウモロコシ・コムギ改良センター）・Kruseman D.（国際トウモロコシ・コムギ改良センター）

発表論文等：Leon et al. (2022) *Environmental Science and Pollution Research*, 29:7153–7169, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16132-2>

フタバガキ科熱帯林業樹種 *Shorea leprosula* の茎の成長と新葉の関係

〔要約〕 フタバガキ科樹木の *S. leprosula* では、茎は葉と同調して断続的に成長し、葉の切除により茎の伸長が顕著に抑制される。葉の成長は茎の伸長の制御要因となっており、その制御機構の解明は、木材生産や適切なサイズの苗木の安定供給に役立つことが期待される。

〔キーワード〕 熱帯林業、茎の成長制御、木材生産、気候変動

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

東南アジアの代表的な林業樹種を多く有するフタバガキ科では、数年に一度しか開花・結実が起らないことから植林に適したサイズの苗木の安定供給に課題がある。また、フタバガキを含む熱帯樹木の木材生産に気候変動が与える影響を理解することは喫緊の課題となっている。これらの課題の解決には、苗木の成長や木材生産の基礎である茎の伸長成長の制御機構を理解することが不可欠であるが、その制御機構については不明な点が多い。そのため本研究では、フタバガキ科の重要な林業樹種の一つである *S. leprosula* の枝を材料に、茎の伸長がどのように起こるのかを、伸長する茎に付属する葉との関係とともに検討する。

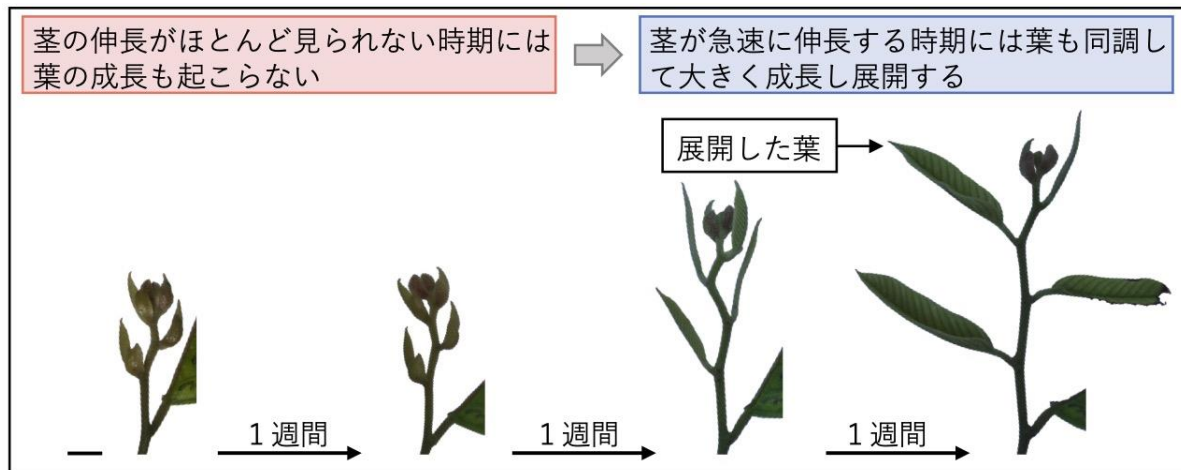
〔成果の内容・特徴〕

1. *S. leprosula* の枝では、茎の伸長がほぼ起らない時期と、急速に伸長する時期が存在する（図 1）。フタバガキの茎の伸長が連続的あるいは断続的かは議論があるが、この結果は *S. leprosula* の枝では茎は断続的に伸長することを示す。また、茎の成長がほとんど起きない時期には葉も成長しないのに対し、茎が急速に伸長する時期には葉も同調して成長する（図 1）。
2. また、枝の伸長時に葉と茎は単に同調して成長するだけでなく、成長する葉を切除するとその基部側の茎（節間）の伸長が有意に低下する（図 2）。この結果は、新葉と茎の間に成長を制御する関係が存在することを示す。
3. これまでの研究から、フタバガキの葉の成長を制御する要因の一つとして、僅かな温度の変化が重要であることが示されている（令和2年度国際農林水産業研究成果情報 C07 「温度のわずかな変化がフタバガキ科林業樹種の葉の生産のタイミングを制御する」）。茎の伸長が新葉の制御を受けることから、茎の伸長時期もまた温度に影響を受けている可能性がある。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 茎の伸長は木材生産や苗木のサイズ調節の基盤であるため、茎の伸長時期と温度の関連は、フタバガキの木材生産に対する温暖化の影響評価や、気温の異なる苗畑を利用した適正サイズのフタバガキ苗木の安定供給などへと活用できる。
2. これまでに葉が展開するタイミングを長期間にわたりカメラを利用し観測するための手法を開発している（令和2年度国際農林水産業研究成果情報 C07 「温度のわずかな変化がフタバガキ科林業樹種の葉の生産のタイミングを制御する」）。葉と茎の成長が同調することから、展開する葉をこの手法で観察することで調査を半自動化し、茎の伸長時期を簡便に知ることができる。これにより、フタバガキの茎の伸長時期を制御する環境要因を特定する研究が加速される。
3. 新葉の切除が茎の成長を抑制することから、新葉が傷害を受けると茎の成長にも影響が現れることが懸念される。気候変動により虫害や乾燥による新葉への傷害が増加した場合には、茎の伸長をはじめ、苗木の成長や木材生産にも負の影響が出る可能性があり、注意が必要である。

[具体的データ]

図1 断続的に成長する *S. leprosula* の枝での茎と葉の変化

S. leprosula の枝を1週間ごとに観察した結果を示す。*S. leprosula* の枝では、左側2つのように数週間にわたりほとんど茎の伸長が見られない時期と、右側2つのように急速に茎が伸長する時期が存在し、断続的な伸長を示す。茎と葉は同調して成長するため、急速に茎が伸長する時期にだけ、葉が成長し展開する。スケールバーは、1 cmを表す。

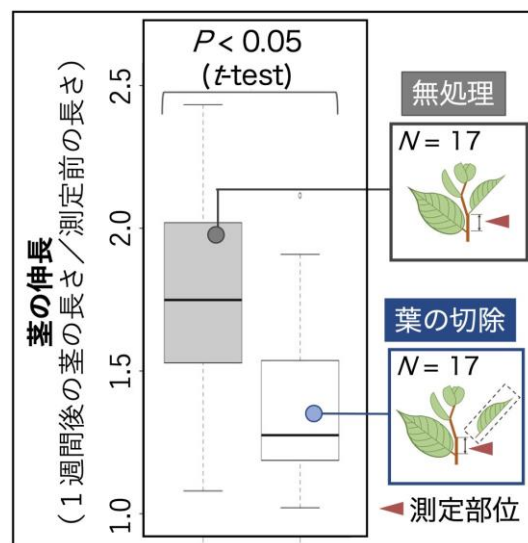


図2 茎の伸長に対する成長する新葉の効果

成長中の *S. leprosula* の枝において、成長する新葉を実験的に切除した場合（右）、無処理の場合（左）と比べて、新葉の基部側の茎（節間：赤い線部分）の伸長が有意に小さくなった。Nは実験に用いた枝の数を示す。

図は Kobayashi et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔高付加価値化／価値化林業、環境／環境適応型林業〕

研究期間：2016～2021年度

研究担当者：小林正樹・谷尚樹（林業領域）、Ng K K S・Lee S L・Muhammad N（マレーシア森林研究所）

発表論文等：Kobayashi et al. (2021) *JARQ*, 55(3):273–283

ラオス山地では植栽密度と立地選択によりチーク成長が倍増する

〔要約〕 ラオス山間部では植栽密度のコントロールと植栽する斜面の形状や傾斜の選択によって人工林チークは肥大成長および伸長成長に倍程度の差異を持つことから、適地判定が重要である。凹形緩傾斜面の下部が適地として最も推奨され、密植は避けた方が成長がよい。

〔キーワード〕 ラオス、チーク、立地、成長、適地

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

インドシナ半島の内陸部に広がる山地帯はインドとともにチーク天然材の産地であるが、天然林資源の枯渇と保護により人工林での生産が急務である。焼畑耕作地等へのチーク人工林の殖産においては、造林を成功させるとともに生産量の予測が必要である。インドシナ半島の中央に位置するラオス山地において植栽が進められている人工林チークの成長に係る因子を明らかにし適地判定手法の確立を図ることで、山間部における有効な土地利用と農家所得の向上が期待できる。

〔成果の内容・特徴〕

1. ラオス国ルアンパバン県南西部約 30km×30km の範囲にあるチーク人工林のうち 20 年生以上の 27 ヶ所において代表となる優勢木を 3 本ずつ、計 81 本のチーク個体を伐採し、樹幹解析（根元から樹木先端までを一定の間隔で輪切りにして、1 本あたり平均 17 枚、合計 1,374 枚の円盤を作成し、年輪を読み取る）を行い、各チーク個体の林齢に伴う肥大成長および樹高成長過程を解析した結果に基づいている。
2. ラオス山地の人工林におけるチーク個体の肥大成長（図 1 左）および伸長成長（図 1 右）は植えられた場所によりそれぞれ 2 倍程度の差異がある。
3. チーク個体の肥大成長および伸長成長は、植栽される斜面の形状や傾斜の影響を大きく受ける（図 2）。地形的には急斜面を避けるとともに、凸地よりも凹地が、斜面上部よりも下部が適地として推奨される。
4. 調査対象地では 20 年生を超えた時点における立木密度が約 500～1,600 本/ha であったが、その範囲においては立木密度が低いほど肥大成長、伸長成長ともに良好となる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. チークの適地判定手法は、利用した指標が現場において簡易な測器もしくは目測によって値の得られるものであることから、技術指導員等の養成により、容易に農家に普及可能である。
2. 肥大成長および伸長成長の予測式の出力を材積換算式に代入すればチーク収穫量の予測も期待される。
3. 気候や気象条件、地質や土壌条件の類似した地域（例えばタイ北部など）への拡大適用が期待されるが、そのためには検証調査による補正が必要である。

[具体的データ]

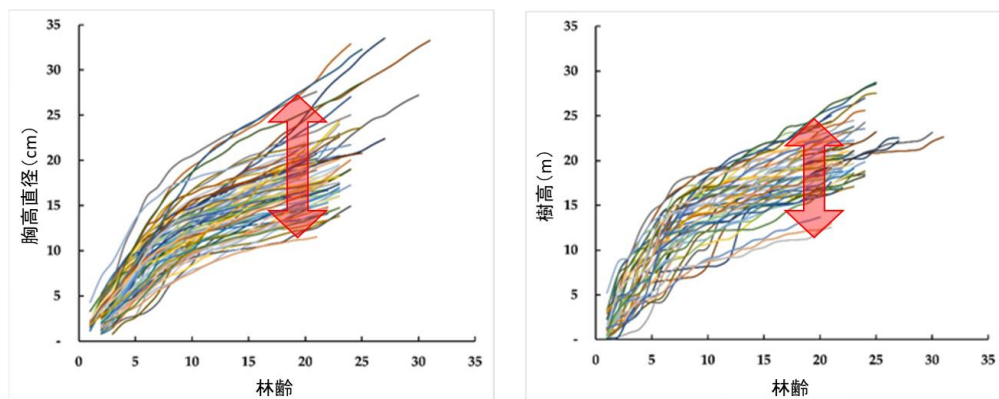


図1 人工林チーク個体の肥大成長（左）および伸長成長（右）

チーク人工林 27 カ所から伐採した各 3 本の上層木について年輪から成長履歴を推定したデータ

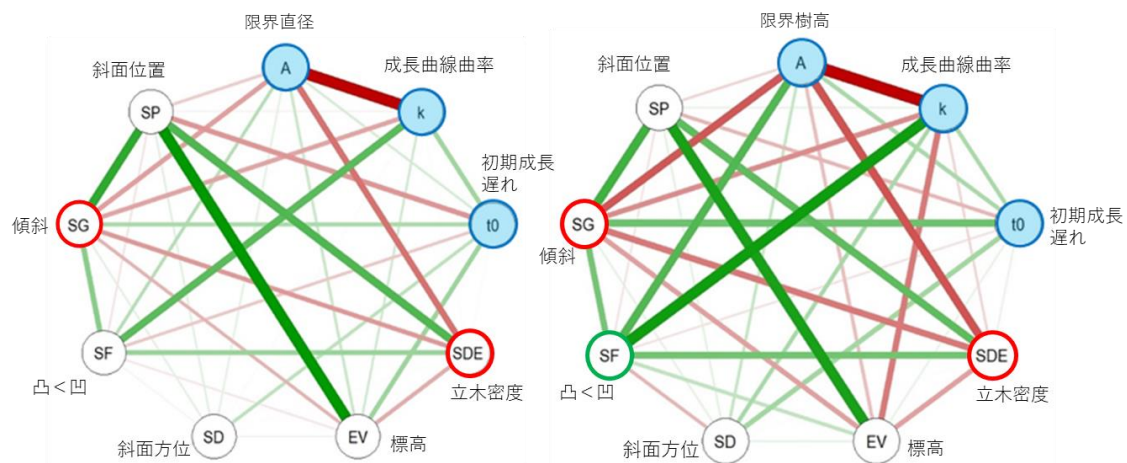


図2 チークの肥大成長（左）および伸長成長（右）の経験則式におけるパラメータと立木密度および立地条件との関係

偏相関解析による結果。因子間の関係はそれらを結合する線の太さによって強度を、色によって正負（緑：正、赤：負）を表す。林齢と胸高直径および樹高との関係を表す経験則式にはミッチャーリッヒ式

$Y=A(1-\exp(-k(t-t_0)))$, Y :ある林齢 i の時の直径もしくは樹高, t :林齢)を用い、その各パラメータ（青丸）： A （成長上限）、 k （成長曲線の曲率）、 t_0 （成長開始のタイムラグ）は各個体の樹幹解析により導出。白地丸は林況および立地条件の因子で SDE ：立木密度、 EV ：標高、 SD ：斜面方位（北→西）、 SF ：斜面形状（凸→凹）、 SG ：傾斜、 SP ：斜面位置（下→上）。○と●は 1%水準で成長と有意な正および負の関係にある因子。

図は Vongkhamho et al. (2022)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔高付加価値化／価値化林業〕

研究期間：2016～2020 年度

研究担当者：今矢明宏（林業領域、現森林機構）、Vongkhamho S（ラオス農林研究所 林業研究センター）、竹中千里・山本一清・山本浩之（名古屋大学）

発表論文等：Vongkhamho S et al. (2022) *Forests*, 13:118

洪水インデックス保険に対して稲作農家が支払う保険料の算出

〔要約〕 気象災害の多いミャンマー国の沿岸域の稲作農家の経営安定化のためには、農家が受け取る最適なインデックス保険の保険金と保険会社の保険料を求める必要がある。降水量、リスク回避度、コメ販売価格変化にしたがって保険金と保険料を算出する手法を開発する。

〔キーワード〕 天候インデックス保険、洪水被害、最適保険金、リスク回避的な農家

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

気候変動により、干ばつ強度の増加や高い潮位の発生、熱帯低気圧の活発化などの極端現象を招くことが懸念されている。サイクロンにより大きな被害を受けたミャンマー国エーヤワディー地域では、被災農家の生産復帰を助けるため、作物を対象とした保険の開発が望まれている。

天候インデックス保険は、実際の被害面積の把握が必要でなく、農家が保険金を得るために被害の拡大を放置することもないため、各国で開発が進んでいる。しかしながら、エーヤワディー地域での聞き取り調査の限りでは、農家には、作物保険そのものの理解が難しく、また、経営維持のために必要な保険金の計算が難しい。そこで、本研究では、農家にとって最適な保険金の算出を試みる。

〔成果の内容・特徴〕

1. リスク回避的な農家を想定し、保険金の受け取りと保険料の支払いを考慮した効用最大化問題を設定した上で、最適な保険金の関数を導く。ここで、効用関数を相対的リスク回避度一定型に特定化する。
2. 現地で収集した 320 戸のデータの平均値（表 1）を保険金の関数に挿入し、コメの価格と農家のリスク回避度に従って保険金と保険料を求める。相対的リスク回避度が 0 であればリスク中立的、正值であればリスク回避的、負値であればリスク愛好的となる。
3. コメの価格が 1kg あたり 280 から 320Kyat（チャット）に上昇すると、支払ってもよい 1 戸あたり（平均的農家の作付面積は 5.6ha、コメ生産量は 13.8t）年間保険料は 1 万から 12 万 Kyat に増える（図 1）。
4. もし、相対的リスク回避度が 0.1 から 0.9 に上昇すると、要する保険金は 1 戸あたり 3 万から 80 万 Kyat に増える（図 2）。
5. 5 月–10 月の合計降水量が地域平均の 3,700mm、相対的リスク回避度が 0.68（先行研究より）、コメの価格が地域平均の 306Kyat/kg であれば、保険料は、平均的農家 1 戸あたり年額 5 万 8 千 Kyat、すなわち約 42.6 ドルとなり、所得の 3%程度である。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 降水量、リスク回避度、コメ販売価格、肥料などの投入財の価格の変化に応じて、保険料を求めることができる。
2. 洪水のみを対象としている。
3. 他地域への適用のためには、一定期間の洪水被害面積率、降雨量 1mm の増加に対する被害の増加割合を示す限界被害面積率が必要となる。

[具体的データ]

表1 効用最大化の下での保険金と保険料算出に用いたデータ(n=320)

変数	単位	数値
洪水被害面積率	%	0.929
限界被害面積率	%	0.00065
降水量 (5月-10月合計)	mm	3,700
降水量閾値	mm	3,500
農産物価格	Kyat/kg	306
肥料等価格	Kyat/kg	630
賃金率	000Kyat/(日人)	2.5
資本費用価格	000Kyat/トラクター	1,007
地代	000Kyat/acre	2,500
平均肥料等投入量	kg	1,128
平均労働投入量	日人	392.1
平均資本投入量	収穫料 000Kyat	607.8
平均土地投入量	acre	13.77
経常財割合	無次元	0.165 (0.232 へ修正)
労働費割合	無次元	0.274 (0.386 へ修正)
資本費割合	無次元	0.167 (0.235 へ修正)
借地料割合	無次元	0.104 (0.146 へ修正)
生産パラメータ合計	無次元	0.710 (1.000 へ修正)
相対的リスク回避度	無次元	0.68
保険会社のマージン	%	0.1

注) 1ドル = 1,360Kyat, 108.8円, 2016年（調査時）平均、相対的リスク回避度は他国の先行研究

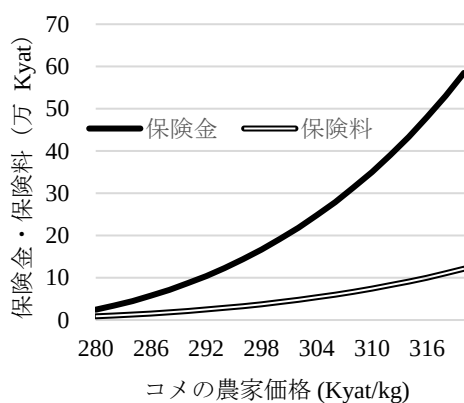


図1 コメ価格と保険料

生産するコメの価格が上昇すると、保険の需要も増える。

注) 5月-10月の合計降水量は3,700mm

リスク回避度は0.68

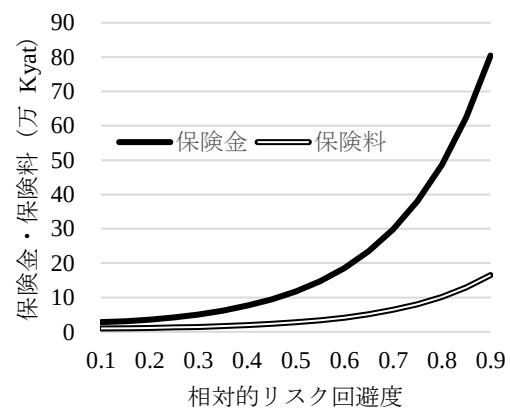


図2 リスク回避度と保険料

リスク回避度が1.0に近づくと、必要となる保険金は大きく増加する。

注) 5月-10月の合計降水量は3,700mm

コメ価格は1kg 306 Kyat（平均値）

図表は Furuya et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔資源・環境管理／気候変動対応〕

研究期間：2016～2020年度

研究担当者：古家淳・平野聡（社会科学領域）、Swe Swe Mar（イエジン農業大学）、櫻井武司（東京大学）

発表論文等：Furuya et al. (2021) *Paddy and Water Environment* 19: 319–330,

<https://doi.org/10.1007/s10333-021-00859-2>

アフリカ産低品位リン鉱石を用いて製造したリン肥料は天水稲作で輸入肥料を代替できる

〔要約〕 未利用のアフリカ産低品位リン鉱石を用いて製造したリン肥料は、ブルキナファソの天水稲作において、高価な輸入リン肥料である過リン酸石灰と同等の施肥効果を示すことから、代替となり得る。収量に寄与する肥料中のリン成分は場所で異なり、地下水位の高い河床では水溶性リンと可溶性リンの両者が、地下水位の低い河岸斜面では水溶性リンが寄与する。

〔キーワード〕 低品位リン鉱石、天水稲作、熱帯半乾燥地、地下水位

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

ブルキナファソを含む熱帯半乾燥地ではリン供給能が低い土壌が広がり、天水稲作において収量を制限している。しかし、現在流通している輸入リン肥料は農家にとって高価であり、施肥量は低く停滞している。アフリカには多くのリン鉱床が分布しているが、不純物を多く含み溶解度が低いものは低品位リン鉱石に分類され、未利用のままである。この未利用資源を活用し、国産リン肥料を製造できれば、肥料価格を低減することが期待される。国際農研では、アフリカ産低品位リン鉱石に対して、硫酸と反応させる部分酸性化法と、アルカリ塩とともに 900℃以上の高温で焼成する焼成法を適用することで溶解性を高めることに成功している（令和元年度国際農林水産業研究成果情報 A06「アフリカ産低品位リン鉱石は炭酸カリウム添加焼成により肥料化できる」）。既存の輸入リン肥料である過リン酸石灰（SSP）が水溶性リンを主体とするのに対して、部分酸性化リン肥料は水溶性リンと可溶性リンを、焼成リン肥料は可溶性リンと不溶性リンをそれぞれ主体とする（表 1）。ブルキナファソにおいて、現在の天水稲作の中心である河床、および地下水位は河床に比べ低いものの今後天水稲作が展開可能な河岸斜面を対象として圃場試験を行い（図 1 上段）、低品位リン鉱石を用いて製造した部分酸性化リン肥料と焼成リン肥料が SSP の代替となり得るか検証するとともに、場所ごとに収量に寄与するリン成分を明らかにする。

〔成果の内容・特徴〕

1. 河床、河岸斜面の全ての地点で収量はリン肥料の施用によって大幅に増加する（図 1 中段）。
2. 現在天水稲作の中心である河床では、焼成リン肥料も部分酸性化リン肥料も輸入リン肥料である SSP と同等の施肥効果を示し、両者は輸入リン肥料を代替できる（図 1 下段）。
3. 河岸斜面の下部および中部では、部分酸性化リン肥料は SSP と同等の施肥効果を示すが、焼成リン肥料の施肥効果は SSP の約 55~75%である（図 1 下段）。
4. 地下水位が高い河床では水溶性リンと可溶性リンの両者が収量に寄与し、地下水位の低い河岸斜面では主に水溶性リンが収量に寄与したことから、上記の施肥効果の違いは肥料中のリン成分の違いによって説明できる（表 2）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. アフリカに分布する低品位リン鉱石を用いた焼成リン肥料および部分酸性化リン肥料は、熱帯半乾燥地の天水稲作において広く利用できる可能性がある。
2. 熱帯半乾燥地の天水稲作において有効なリン成分が明らかになり、肥料製造の指標となる。
3. 地下水位が低い場所では河床であっても十分な施肥効果が得られない可能性があることから、技術の普及に当たっては多地点での検証が必要である。

[具体的データ]

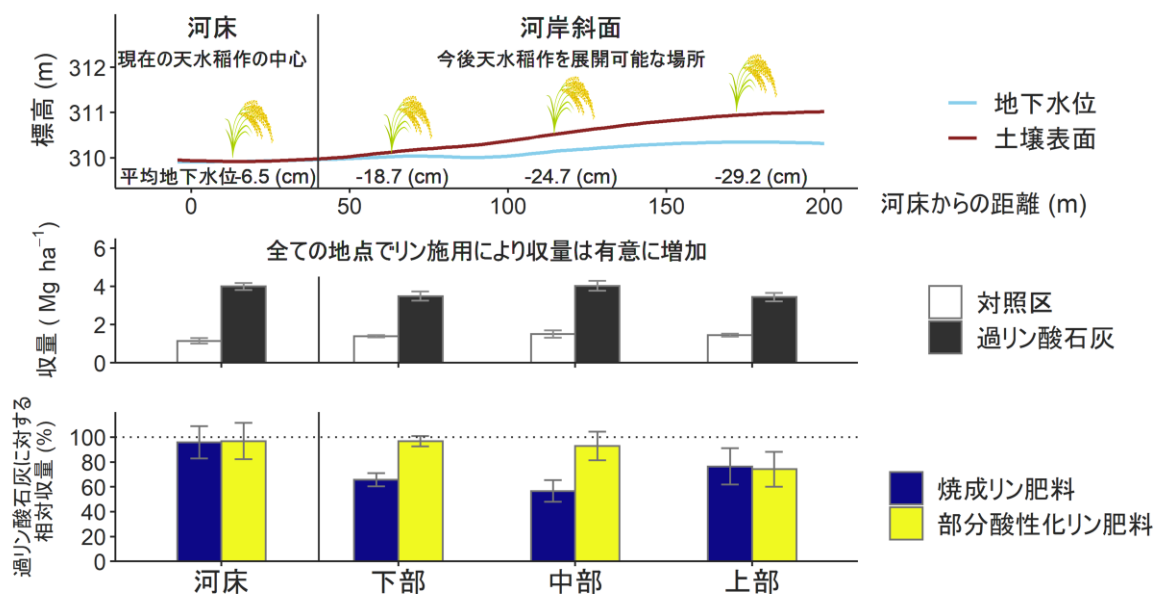


図1 試験概要およびアフリカ産低品位リン鉱石を用いて製造したリン肥料の施肥効果

リン肥料を施用しない区を対照として、過リン酸石灰および低品位リン鉱石を用いて製造したリン肥料を施用し、施肥効果を比較する。平均地下水位：生育期間中の地下水位の平均値、エラーバー：標準誤差。

表1 肥料中の主要なリン成分

肥料の種類	肥料中のリン成分		
	高い ←	溶解性 ←	低い
	水溶性	可溶性	ク溶性
	リン	リン	リン
過リン酸石灰 (輸入リン肥料)	◎	×	×
部分酸性化リン肥料	○	○	×
焼成リン肥料	×	○	◎

可溶性リン：中性クエン酸アンモニウム溶液に溶けるリン

ク溶性リン：2%クエン酸溶液に溶けるリン

◎：50%以上、○：25-50%、×：25%未満。

表2 収量に有意に寄与するリン成分

リン成分	河床	河岸斜面		
		下部	中部	上部
水溶性リン	◎	◎	◎	◎
可溶性リン	◎	○	△	×
ク溶性リン	×	×	×	×

収量を目的変数、リン成分の投入量を説明変数とする重回帰分析で有意に収量に寄与するリン成分を求める。◎：1%水準で寄与、○：5%水準で寄与、△：10%水準で寄与。

図表は Iwasaki et al. (2021) より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：受託 [JST/JICA・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究期間：2019～2021年度

研究担当者：岩崎真也（農村開発領域）・伊ヶ崎健大・中村智史・南雲不二男（生産環境・畜産領域）・福田モンラウィー（農研機構）、Ouattara K (INERA)

発表論文等：Iwasaki et al. (2021) *Soil Science and Plant Nutrition*, 67: 460–470

ダイズ根系の改良に資する根長に関与する遺伝子座の特定

【要約】ダイズ品種「Fendou 16」は長い主根を持つ。QTL解析の結果、主根長に関与する遺伝子座は第16番染色体のDNAマーカーSat_165とSatt621間のゲノム領域に存在する。同定されたダイズの長根型品種ならびにその遺伝的な情報はダイズの根系の遺伝的改良に利用できる。

【キーワード】ダイズ、主根長、QTL

【分類】研究

【背景・ねらい】

根は植物の成長に必須である水と栄養分を土壌から吸収する重要な器官である。発達した理想的な根系の形成は、成長生育環境への適応性と低投入環境での栄養分獲得の改善を保証するため、作物生産を向上させるには不可欠である。しかしながら、根は土中にあり容易に計測することができないため、圃場条件下における根の特性評価には多大な労力が必要である。そのような中、イネにおいては、根の形質を制御する遺伝子が単離され、イネの干ばつ耐性、耐塩性、およびリン酸欠乏耐性育種に利用されてきた。一方、ダイズにおいては、根系の改良によりその生産性を向上させる例は、ほとんど報告されていない。本成果は、ダイズ遺伝資源を評価することにより見出された長根型品種に由来する組換え自殖系統を用いて、根系の改良に資する根長関連遺伝子座を同定したものである。

【成果の内容・特徴】

1. 中国山西省の乾燥地域に由来するダイズ品種「Fendou 16」は長根型である（図1）。
2. 短根型ダイズ品種「K099」と長根型品種「Fendou 16」の交雑に由来する組換え自殖系統（F₂世代の個体別に何代も自殖を続けて得られる系統）集団（ $n=103$ ）を用いた、水耕試験条件下でのダイズ根長と関連するQTL（量的形質遺伝子座）の解析では、第16番染色体のDNAマーカーSat_165とSatt621間のゲノム領域に、主根長に関与する新規のQTL（*qRL16.1*、寄与率=30.25%）が検出される（図1）。
3. *qRL16.1*の準同質遺伝子系統（「Fendou 16」遺伝子型NILs-Fと「K099」遺伝子型NILs-K）の比較においても*qRL16.1*の効果が確認される（図2）。
4. 中根長型ダイズ品種「Union」と「Fendou 16」の交雑に由来する組換え自殖系統分離集団（ $n=109$ ）の遺伝的背景でも、「K099」と「Fendou 16」の分離集団で同定されたゲノム領域と同じ領域に根長QTLが認められる。

【成果の活用面・留意点】

1. 本研究で同定された根長を増加させる対立遺伝子をマーカー選抜で導入することにより、ダイズ根系を改良し、耐乾性のポテンシャルがある長根型のダイズ品種の開発が可能となる。
2. 本研究で明らかとなった遺伝子座の効果は水耕条件下で得られたものであるため、圃場や様々な環境ストレス条件下で遺伝子座の効果を検証する必要がある。

[具体的データ]

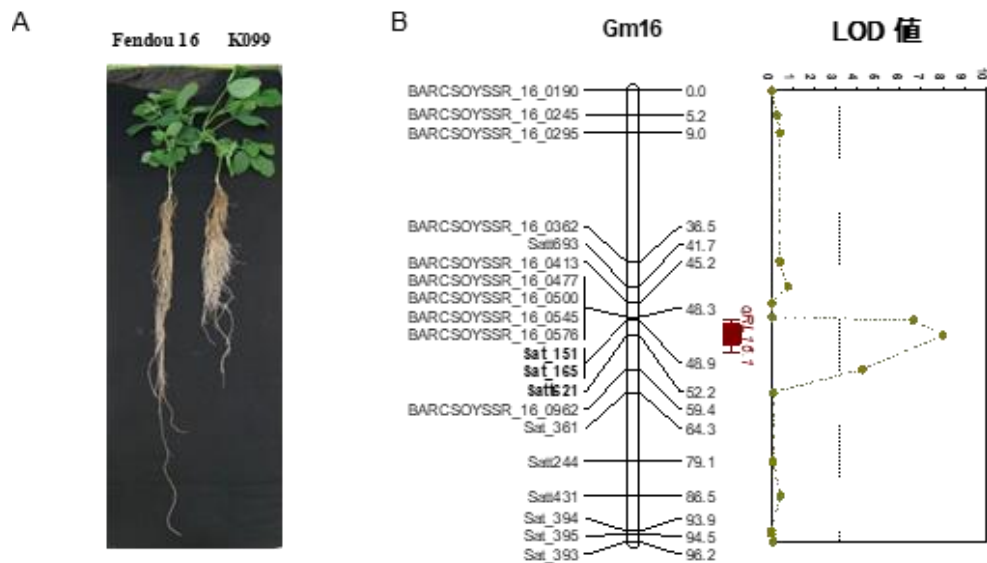


図1 短根型ダイズ品種「K099」と長根型品種「Fendou 16」の交雑から育成した組換え自殖系統集団 ($n = 103$) において第16番染色体に検出された主根長 QTL

A: 「Fendou 16」と「K099」の根長の比較。B: 主根長 QTL の第16番染色体に座乗する位置および連鎖しているかどうかを統計学的に推定するための LOD 値。

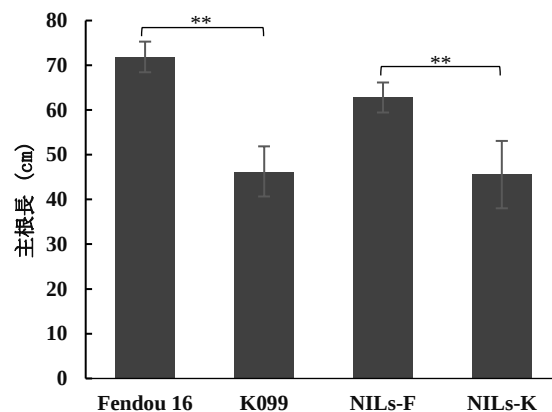


図2 *qRL16.1* の準同質遺伝子系統を用いた QTL 効果の確認

NILs-F: 「Fendou 16」遺伝子型; NILs-K: 「K099」遺伝子型。

**: $p < 0.01$ 。

図は Chen et al., 2021 より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分: 交付金 [農産物安定生産/不良環境耐性作物開発]

研究期間: 2016~2020 年度

研究担当者: 許東河 (生物資源・利用領域)、Chen H (中国・江蘇省農業科学院)、Kumawat G (ICAR-インド大豆研究所)、Yan Y (中国・新疆農業科学院)、Fan B (中国・河北省農林科学院)

発表論文等: Chen H et al. (2021) *BMC Genomics*, 22:132, <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07445-0>

ダイズの種子サイズと形状に関する遺伝子座の特定

〔要約〕 ダイズ種子のサイズと形状を制御する多数の QTL が検出され、特に効果の大きい QTL クラスター(*qSS2*)は、第2番染色体に座乗している。準同質遺伝子系統を用いた圃場試験により、*qSS2* の効果が実証できたことから、これらの QTL が、ダイズの種子サイズや形状の改善に資することが期待される。

〔キーワード〕 ダイズ、種子、サイズと形状、QTL

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

ダイズは、タンパク質と脂質の豊富な供給源として世界で最も重要な食用・油糧作物の一つである。ダイズ種子のサイズは収量を決定する重要なファクターであり、形状は外観品質的にも加工上でも重要である。そのため、種子のサイズと形状は、ダイズの品種開発における主要な育種目標になっている。用途に応じて望ましいサイズや形状のダイズ品種を開発するためには、形質を決定する遺伝子を解明する必要がある。しかし、ダイズの種子形質の遺伝様式は複雑であり、遺伝背景や生育環境によって大きな影響を受けるため、種子のサイズと形状を制御する遺伝子の探索は十分に進められていない。本研究では、種子のサイズと形状が異なるダイズ品種の交雑後代に由来する組換え自殖系統集団を用いた次世代シーケンス解析によりダイズ種子のサイズと形状に関する遺伝子座の同定を目指し、多収で加工に適するダイズ新品種の開発に向けて種子のサイズと形状形質の改善に資する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ダイズ品種「K099」と「Fendou 16」の組換え自殖系統（F₂世代の個体別に何代も自殖を続けて得られる系統）集団(*n*=94)を用いて次世代シーケンス解析を行い、連鎖地図（1,662 マーカー）を構築した後、QTL（量的形質遺伝子座）解析を行い、種子のサイズと形状に関する 80 個の有意な QTL を検出している。
2. 検出した QTL のうち、24 個の QTL が 11 個のクラスターに分類され、特に効果の大きい 3 個の QTL (*qSL2.3*、*qSLW2.1* および *qSLT2.1*) が第2番染色体にクラスター化して座乗している (*qSS2*) (図 1)。
3. 準同質遺伝子系統を用いた 2 年間の圃場試験により、QTL クラスター *qSS2* が種子のサイズと形状に与える効果を実証している (図 2)。
4. 遺伝子発現データベースを用いた解析から、*qSS2* の候補遺伝子として、5 個の遺伝子（*Glyma.02G269400*、*Glyma.02G272100*、*Glyma.02G274900*、*Glyma.02G277200* および *Glyma.02G277600*）が推定されている。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 同定されたダイズ種子のサイズと形状に関する遺伝子座に関する情報は、関連する遺伝子の単離や種子形質を制御するメカニズムの基礎的な理解だけでなく、実際の育種目標に応じて、望ましい種子サイズと形状を持つダイズ品種の分子デザイン育種への利用できる。
2. QTL クラスターを形成する各 QTL は隣接する独立した遺伝子ではなく、同一遺伝子の多発現の可能性も考えられる。

[具体的データ]

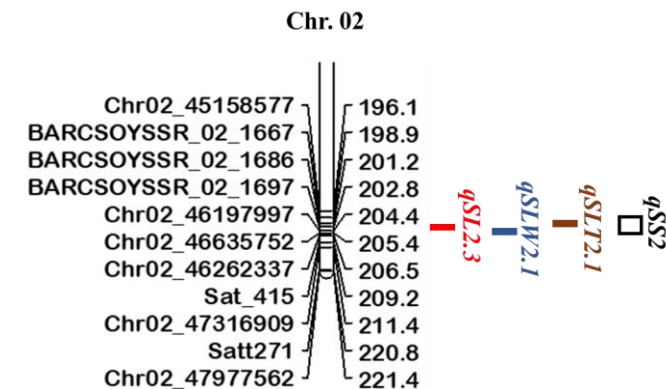


図1 「K099」と「Fendou 16」の組換え自殖系統集団において第2番染色体に同定された種子のサイズと形状に関するQTLクラスター($qSS2$)

染色体の右側に cM 単位の距離を表し、左側にマーカーを表す。 $qSL2.3$ 、 $qSLW2.1$ および $qSLT2.1$ はそれぞれ種子の長さ、長さ/幅、長さ/厚さの QTL として同定されている。

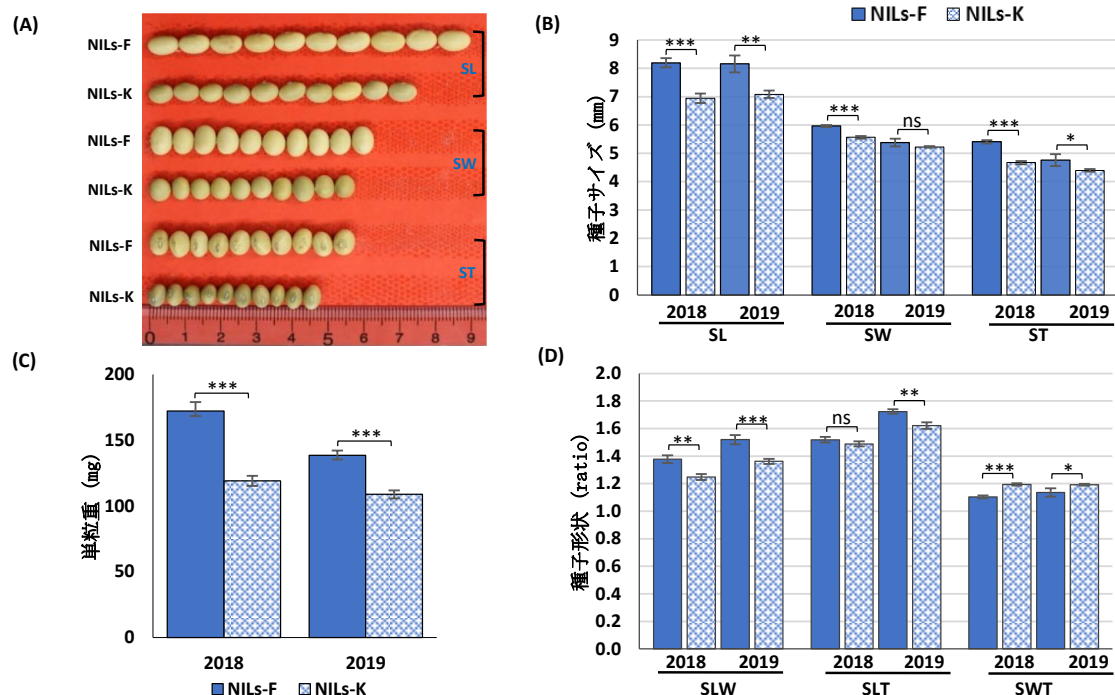


図2 $qSS2$ の準同質遺伝子系統を用いた2年間の圃場試験(2018、2019)により種子のサイズと形状に関するQTLクラスター($qSS2$)効果の確認。(A)種子の外観；(B)種子のサイズ；(C)種子の単粒重；(D)種子の形状

NILs-F: 「Fendou 16」遺伝子型；NILs-K: 「K099」遺伝子型；SL:長さ；SW:幅；ST:厚さ；SLW: 長さ/幅；SLT: 長さ/厚さ；SWT: 幅/厚さ。

図は Kumawat and Xu (2021)より改変（改変・転載許諾済）

[その他]

予算区分: 交付金 [農産物安定生産／不良環境耐性作物開発, 食料／レジリエント作物]

研究期間: 2016～2021 年度

研究担当者: 許東河 (生物資源・利用領域)、Kumawat G (ICAR-インド大豆研究所)

発表論文等: Kumawat, G. and Xu, D. (2021) *Frontiers in Genetics*, 12: 646102,

<https://doi.org/10.3389/fgene.2021.646102>

ウイルスベクターを用いたキヌアの遺伝子機能解析法

〔要約〕 有用な分子育種技術が開発されていないキヌアにおいて、ウイルスベクターを用いてキヌアの遺伝子発現を制御し、遺伝子機能を解析する技術を確立する。本手法はキヌアの新規遺伝子の同定や、分子育種素材の開発に利用できる。

〔キーワード〕 キヌア、ウイルスベクター、遺伝子機能解析、分子育種

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

南米アンデス原産のキヌアは、栄養バランスに優れているだけでなく、干ばつなどの過酷環境下でも栽培できることから、世界の食料・栄養問題の解決の切り札になり得る作物として期待されている。国際農研などの共同研究グループは、世界に先駆けてキヌアのゲノム配列情報を解読し（平成28年度国際農林水産業研究成果情報 B03「キヌアの標準自殖系統とゲノム配列」）、キヌア系統の多様性を解明している（令和2年度国際農林水産業研究成果情報 B08「キヌア自殖系統コレクションの多様性」）。これらの情報は、キヌアのゲノム情報を用いた育種研究に活用することができる。一方、キヌアでは遺伝子組換えなどの分子育種技術が開発されておらず、ゲノム配列より予測された遺伝子が実際にどのような機能を持っているかを調べる方法がなく、キヌアの分子育種を推進する上で大きな障壁となっている。そこで本研究では、ウイルスベクターを用いた方法によりキヌアの遺伝子発現を制御し、遺伝子機能を解析する技術を確立する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 植物ウイルスの一種であるリンゴ小球形潜在ウイルス(ALSV)を、キヌア植物体に遺伝子を運ぶベクターとして用いる。解析対象のキヌア遺伝子の配列を ALSV ベクターに組み込み、キヌアに感染させると、ウイルス感染部位では対象遺伝子の発現量が制御される（図1）。
2. キヌアのカロテノイド生合成遺伝子 *CqPDS1* の遺伝子配列断片を組み込んだウイルスベクターを用いて、キヌアの中で本来発現している *CqPDS1* 遺伝子の発現を抑制できる（図2）。*CqPDS1* の遺伝子発現が抑制されたキヌアは、カロテノイドの蓄積量が減少することにより、葉で白化症状が誘導される（図3）。
3. キヌアのゲノム情報を用いて同定したベタレイン色素生合成に関与する酵素遺伝子の発現を、本手法を用いて抑制すると、キヌア植物中のベタレイン色素の蓄積量が減少する（図4）。
4. ALSV ベクターを用いた本手法は、キヌアの遺伝的分類群（北部高地型、南部高地型および低地型）を代表する多くのキヌア系統で利用できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 遺伝子組換えなどの技術が確立されていないキヌアにおいて、本手法はキヌア植物体内の遺伝子発現量を制御するための有効な手段となる。公開されているキヌアのゲノム情報と組み合わせることで、新規遺伝子の同定や遺伝子機能の解析を推進できる。
2. 本手法は、キヌアの遺伝的分類群間あるいは系統間における遺伝子機能や表現型の比較といった解析に利用できる。
3. 本手法は一時的な遺伝子発現量の変化を誘導するものであり、育種素材の開発を加速化していくためには、さらにゲノム編集技術などの開発が求められる。

[具体的データ]

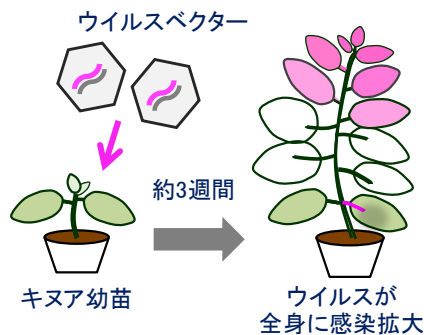


図1 ウイルスベクターを用いたキヌア遺伝子の機能解析実験の模式図

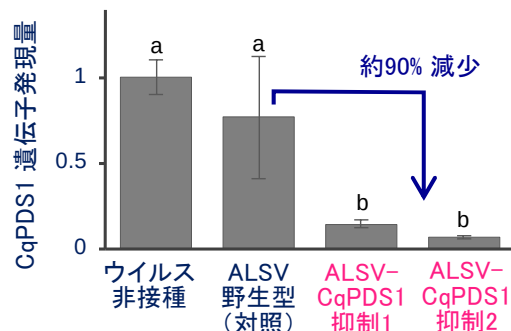


図2 ウイルスベクターを用いたキヌアのカロテノイド合成遺伝子 *CqPDS1* の発現の抑制

CqPDS1 抑制1、抑制2は、ALSVベクターに組込んだ *CqPDS1* 遺伝子断片の配列が異なる。エラーバーは標準偏差、アルファベットの違い (a, b) は統計的有意差を表す ($n=3, p<0.05$)。

発芽後12日目ウイルス接種
→ 接種後14日目撮影

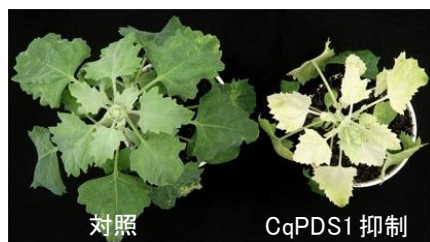


図3 *CqPDS1* 遺伝子の発現抑制により生じる葉の白化症状

図中では低地型キヌア (Iw 系統) を用い、対照植物には野生型 ALSV ベクター接種個体を使用。

ウイルス非接種 対照 *CqDODA1* 抑制 *CqCYP76AD1* 抑制



図4 ウイルスベクター法を用いてキヌアの色素遺伝子の機能を解明

ALSVベクターによりベタレイン色素合成遺伝子 *CqDODA1* および *CqCYP76AD1* の発現を抑制したキヌアの植物体、および葉からのベタレイン色素抽出液を示す。図中ではベタレイン高蓄積キヌア (J056 系統) を用い、対照植物には野生型 ALSV ベクター接種個体を使用。

図は Ogata et al. (2021) より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔農産物安定生産／病虫害防除，食料／レジリエント作物〕

研究期間：2016～2025年度

研究担当者：小賀田拓也・豊島真実・小田（山溝）千尋・小林安文・藤井健一朗・永利友佳理・藤田泰成（生物資源・利用領域）、田中孝二郎・田中努・水越裕治（株式会社アクトリ）、安井康夫（京都大学）、吉川信行（岩手大学）

発表論文等：Ogata et al. (2021) *Frontiers in Plant Science* 12: 643499,
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643499>

ダイズ紫斑病菌のゲノム情報

〔要約〕 新たに取得したダイズ紫斑病菌のゲノム配列は、完成度が高く、ダイズ紫斑病菌の病原性関連遺伝子等の研究、分子生物学的情報に基づいた病害診断技術の開発などに利用できる。

〔キーワード〕 ダイズ、ダイズ紫斑病、ゲノム

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

紫斑病は世界各国のダイズ栽培地域で被害をもたらす重要な病害である。特にアルゼンチン等の南米地域において大きな問題となっている。紫斑病は、葉や葉柄、種子等に発生して減収を引き起こす。本病原菌の性状に合わせた的確な病害防除手段・診断技術を開発するためには、完成度の高い分子生物学的な基盤情報が必要である。そこで、ダイズ紫斑病菌の代表的菌株として選出した MAFF 305040 株のゲノムを解析し、病原性に関与することが推定される遺伝子群を調査する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 新たに取得したダイズ紫斑病菌のゲノム配列は、9本の塩基配列で構成される（図 1A）。ゲノム配列の総長は約 34 Mb（メガベース = 100 万塩基対）である（表 1）。
2. ゲノム配列から、13,001 遺伝子が予測されている（表 1）。予測遺伝子情報に基づき、ゲノム配列の完成度(BUSCO completeness)を調査すると、その数値は 99.4%を示す（表 1）。従って、ゲノム配列の完成度は高いと考えられる。
3. 既知遺伝子の情報等を基に病原性に関与する遺伝子群の推定が可能である。実際に、宿主の抵抗性抑制等に関与するエフェクター遺伝子（図 1B）、毒素等の生合成に関与する二次代謝遺伝子クラスター（図 1C）および植物組織分解等に関与する糖質関連酵素群の遺伝子（図 1D）が推定される。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 取得したダイズ紫斑病菌のゲノム配列は、オンラインデータベースに登録してある（表 1）。病原性に関与する遺伝子の探索や、薬剤耐性機構の調査等の際に、基盤的な情報として利用できる。
2. ゲノム配列情報を利用して、ダイズ紫斑病菌を標的とした分子診断技術等を開発できる。
3. ゲノム配列中の遺伝子は、他の生物の既知遺伝子等の情報に基づいて予測したもので、実際のコーディング領域、翻訳産物の機能等は、異なる場合も想定される。

[具体的データ]

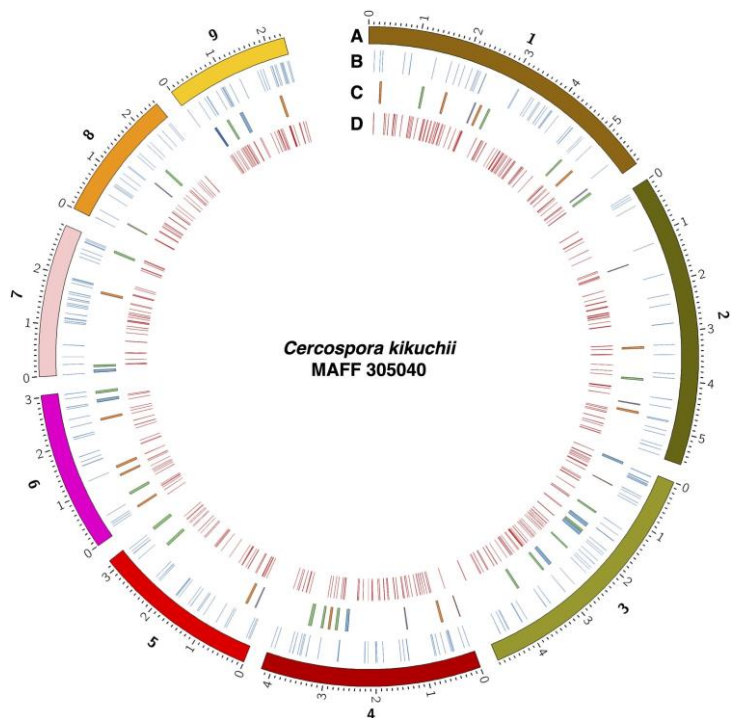


図 1 ダイズ紫斑病菌 MAFF 305040 株のゲノム配列の模式図

MAFF 305040 株のゲノム配列を構成する 9 本の塩基配列(A)を環状に並べた。目盛の最小値は 0.1 Mb（メガベース）を表す。ゲノム配列から予測された遺伝子群のうち病原性への関与が推定される、エフェクター遺伝子(B)、二次代謝遺伝子クラスター(C)、糖質関連酵素遺伝子(D)の座乗位置を示した。

表 1 ダイズ紫斑病菌 MAFF 305040 株のゲノム配列の概要

項目	数値等
菌株名	MAFF 305040
ゲノムシーケンスのサイズ (bp)	34,440,063
コンティグ数	9
遺伝子数	13,001
BUSCO completeness	99.4%
参照番号*	BOLY00000000

*DDBJ/EMBL/GenBank データベースの参照番号。

図表は Kashiwa and Suzuki (2021) より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分： 交付金 [農産物安定生産／病虫害防除, 食料／レジリエント作物]

研究期間： 2017～2021 年度

研究担当者： 柏穀（生物資源・利用領域）、鈴木智大（宇都宮大学）

発表論文等： Kashiwa and Suzuki (2021) *G3: Genes|Genomes|Genetics*, 11 (10), jkab277.

<https://doi.org/10.1093/g3journal/jkab277>

メキシコのダイズさび病菌の病原性は2つの傾向に大別される

【要約】メキシコの2州で2016年から2019年に採取されたダイズさび病菌は、全く異なる病原性の特徴を示す2つのグループに分けられる。病原性の明瞭な地理的差異の情報は、さび病抵抗性品種の導入による病害防除に利用できる。

【キーワード】ダイズ、メキシコ、ダイズさび病、病原性、抵抗性遺伝子

【分類】研究

【背景・ねらい】

ダイズさび病は熱帯・亜熱帯のダイズ栽培地域で最も重要なダイズ病害である。メキシコでは年々国内のダイズ生産が増加しており、それに伴いさび病が大きな問題となっている。抵抗性品種の導入による病害防除はコストや環境負荷の面で優れているが、対象となる病原菌の病原性に合わせて抵抗性遺伝子を選択する必要がある。しかしメキシコのさび病菌が持つ病原性とその防除に有効な抵抗性遺伝子は明らかになっていない。そこで、主要なダイズ生産地のさび病菌の病原性を解析して有効な抵抗性遺伝子を明らかにする。

【成果の内容・特徴】

1. メキシコの主要なダイズ生産地のうち、タマウリパス州とチアパス州で2016年から2019年にかけて採取したダイズさび病菌、2015年にタマウリパス州及びサンルイスポトシ州から採取したダイズさび病菌は、クラスター分析により、異なる病原性の特徴を示す2つのグループ（グループ1、グループ2）に分けられる（図1A）。
2. グループ1はタマウリパス州から採取したさび病菌からなり、抵抗性遺伝子 *Rpp1-b* を持つダイズ品種が抵抗性となり防除に有効であるが、ダイズ PI 200492 の *Rpp1*、PI 230970 の *Rpp2* および PI 462312 の *Rpp3* に対してほとんどのさび病菌が病原性を示し、感受性反応が観察される（図1B、1C）。この特徴は南米諸国のさび病菌の多くが示す特徴と一致する。
3. グループ2はチアパス州から採取したさび病菌、2015年にタマウリパス州から採取したほとんどのさび病菌とサンルイスポトシ州から採取したさび病菌からなり、4種の抵抗性遺伝子を持つ5つの判別品種に対してタマウリパス州のものと逆の反応パターン、すなわち、抵抗性遺伝子 *Rpp1-b* を持つダイズ品種が感受性となるが、ダイズ PI 200492 の *Rpp1*、PI 230970 の *Rpp2* および PI 462312 の *Rpp3* に対し、多くのさび病菌で抵抗性反応が観察される（図1B、1C）。このグループの病原性の特徴は北米のさび病菌で多く報告されている特徴と一致する。
4. 7つの抵抗性遺伝子のうち、ダイズ PI 587880A の *Rpp1-b* 以外の全ての抵抗性遺伝子に病原性を示す強病原性のさび病菌 MRP-16 がメキシコには存在するが、そのさび病菌を含めた全てのさび病菌に対して3つの抵抗性遺伝子 *Rpp2*、*Rpp4* および *Rpp5* を持つ集積系統 No6-12-1 は抵抗性となり、防除に効果がある（図1B）。

【成果の活用面・留意点】

1. メキシコのさび病に有効な集積系統は抵抗性程度も高いため、育種素材として有望である。
2. 州間のさび病菌の病原性の大きな違いをもたらす気候や代替宿主等の要因を明らかにすることで、さび病菌に好適な期間のダイズ栽培禁止や代替宿主の除去等さび病防除に役立つ。
3. さび病菌の病原性には年次変動があるため、長期間のモニタリングが必要である。

[具体的データ]

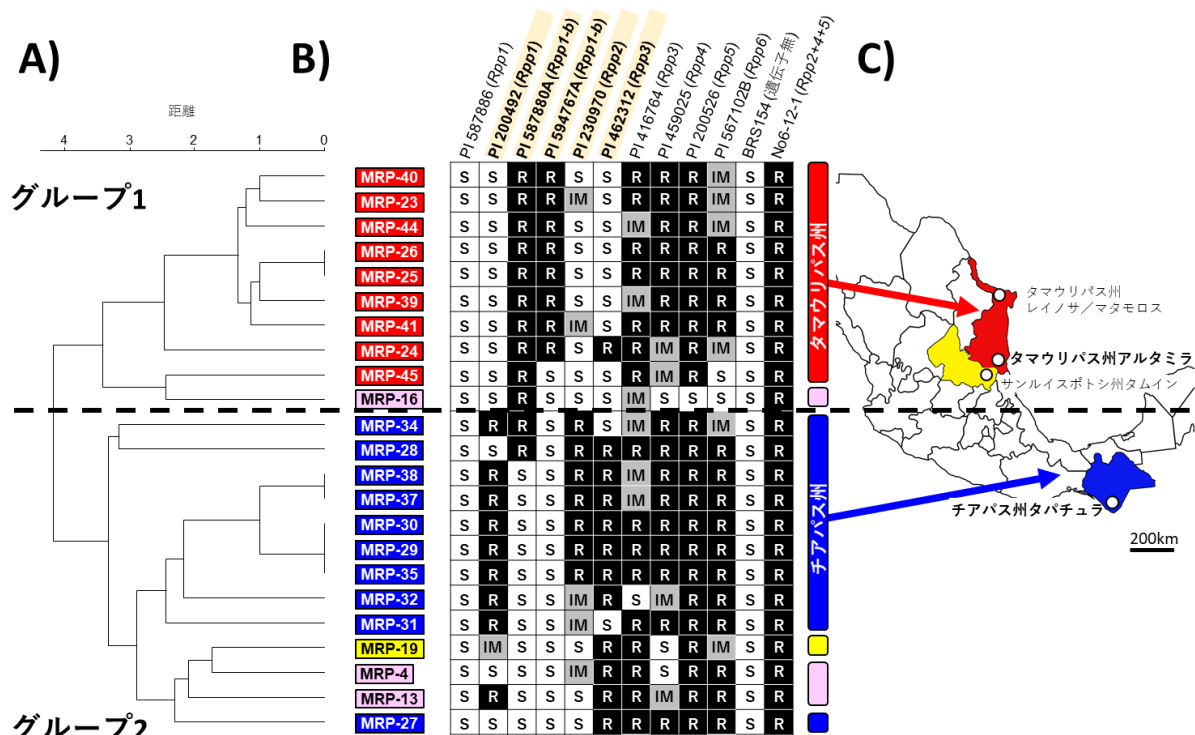


図1 メキシコで採集されたダイズさび病菌サンプル(MRP)の病原性に基づくデンドログラム(A)と判別品種上での反応プロファイル(B)、採集した地域(C)

タマウリパス州で2016-2019年に得られたサンプルを赤、2015年に得られたサンプルをピンク、サンルイスポトシ州で2015年に得られたサンプルを黄、チアパス州で2018年に得られたサンプルを青でそれぞれ示す。判別品種名後のカッコ内は保有するさび病抵抗性遺伝子(Rpp)をR、IM、Sは抵抗性型、中間型、感受性型をそれぞれ示す。

図は García-Rodríguez et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔農産物安定生産／病害虫防除，食料／レジリエント作物〕

研究期間：2015～2021年度

研究担当者：山中直樹（生物資源・利用領域）、García-Rodríguez JC（メキシコ国立農牧林研究所）

発表論文等：1) García-Rodríguez et al. (2017) *Mexican Journal of Phytopathology*, 35(2):338–349, <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1701-5>, 2) García-Rodríguez JC et al. (2021) *PhytoFrontiers*, 2(1):52–57, <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-06-21-0044-R>

西アフリカの群生相化したサバクトビバッタは産卵直前に雌雄が合流

【要約】 アフリカで大発生するサバクトビバッタの群生相化した成虫は、雌雄がそれぞれの性に偏った集団を形成しているが、日中、産卵直前のメスがオスの集団に飛来、交尾し、夜間に集団で産卵している。この行動特性を応用することで、集団形成の時間と場所を特定でき、使用する農薬の量の軽減が期待できる。

【キーワード】 交尾行動、サバクトビバッタ、サハラ砂漠、西アフリカ

【分類】 研究

【背景・ねらい】

サバクトビバッタ (*Schistocerca gregaria*、以下バッタ) は、アフリカ等でしばしば大発生し農作物に深刻な被害を及ぼす。低密度下では孤独相と呼ばれる状態で点在して生活しているが、生息密度が高まると群れで生活する群生相に相変異する。群生相化した集団は長距離移動し、農作物などに大きな被害を及ぼす。バッタに対しては、殺虫剤の直接散布が主な防除技術として活用されているが、生息地における行動パターンは詳しくわかっていないため、効率よく殺虫剤を散布できていない。発生地である西アフリカのモーリタニアのサハラ砂漠において、バッタの集団形成行動を解明することで、効率的な殺虫剤散布方法の開発が期待できる。

【成果の内容・特徴】

1. 9月から12月にかけて2014年を除く9年間、野外調査を行った結果、日中、性成熟し群生相化したバッタは、雌雄どちらかに性比が偏った群れ（メス群、オス群）を形成している（図1左）。
2. メス群では、ほとんどの個体が交尾していない。一方、オス群では、メスは産卵直前の大きな卵を持っており、ほとんどが交尾している（図1右）。
3. オス群に産卵直前のメスが飛来する。（図2）、その後、交尾し、夜間にペアのままで集団産卵する（図3）。
4. すなわち、アフリカで群生相化したバッタは雌雄がそれぞれの性に偏った集団を形成しているが、夕方、産卵直前のメスがオス群に飛来して交尾し、夜間に集団で産卵する（図4）。

【成果の活用面・留意点】

1. 産卵中のペアは狭い範囲に集合し、その場に数時間留まるため、夜間の集団産卵のタイミングを見計らって集中的に農薬を散布することで、必要以上に農薬を使用しない、環境や健康に配慮した防除に結び付くことが期待される。
2. メス群、オス群の集団間の距離と産卵後の移動様式は不明であり、今後の調査が必要である。

[具体的データ]

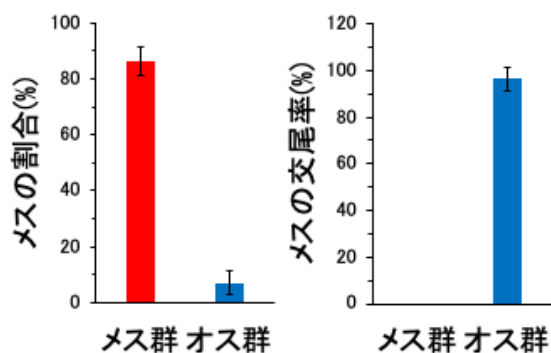


図1 異なる性比の集団

メスの割合(左)とメスの交尾率(右)。メス群：n=40、オス群 n=65（2016年）。エラーバーは標準誤差。

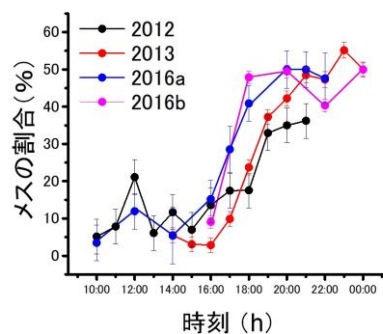


図2 オス群における一日の性比の変化

2×25m のコドラート内の数を毎時間観測した結果。夕方、オス群にメスが飛来するため、メスの性比が高まる。エラーバーは標準誤差。2016年は2地区の結果を示している。



図3 サバクトビバッタの繁殖行動

夕方、産卵場所に群がる雌雄のペア。

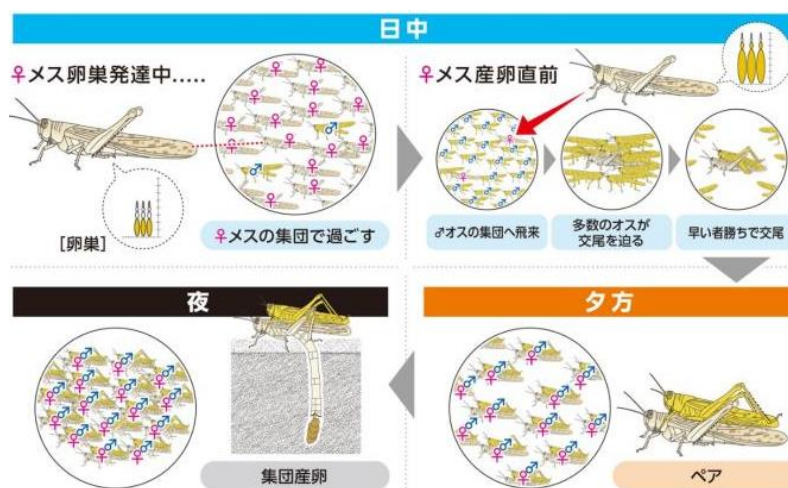


図4 繁殖行動の流れの模式図

日中、卵巣発達中のメスは、メスに性比が偏った集団で過ごし、交尾はしない。産卵直前の大きな卵を持ったメスがオスの集団に飛来すると、多数のオスが争って交尾を試みる。一匹のオスがメスの背中に乗ると他のオスは諦めてそれ以上の争いは生じない。その後、交尾し、産卵に適した砂地に雌雄のペアで移動して、夜間、集団産卵する。

図は Maeno et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔農産物安定生産／病虫害防除，食料／越境性害虫〕

研究期間：2016～2025年度

研究担当者：前野 浩太郎（生産環境・畜産領域）、Piou C.（フランス農業開発研究国際協力センター）、Ould Ely S・Ould Mohamed S・Jaavar MEH・Ould Babah Ebbe MA（モーリタニア国立バッタ防除センター）、Ghaout S（モロッコ国立バッタ防除センター）

発表論文等：Maeno et al. (2021) *Proceedings of National Academy of Science USA*, 118 (42): e2104673118, <https://doi.org/10.1073/pnas.12104673118>

フィリピンにおける養殖ミルクフィッシュの成長と肥満度は水温で予測できる

〔要約〕 フィリピンにおいて、ミルクフィッシュの成長と肥満度、水温のデータを解析することで、魚の成長予測が可能になる。水温を把握することによって、肥満度予測の可能性を示すことができ、適切な給餌にも役立つ。

〔キーワード〕 成長曲線、肥満度、水温

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

養殖魚の成長に関する情報は、養殖の生産計画や経営費用の管理において重要である。また、養殖魚の肥満度や水温の情報は、品質（脂質含量の多寡）および魚の健康状態なども把握できる。そこで、フィリピンにおいて最も重要な養殖対象種であるミルクフィッシュについて、水温の変化が成長や肥満度に及ぼす影響を明らかにする。実際のミルクフィッシュは野外の養殖場で生産されるが、水温に着目した先行研究はほとんどない。そこで本研究は、野外において成長、肥満度、水温に着目する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ミルクフィッシュ養殖における養殖日数、水温と成長の関係について、高水温期と低水温にフィリピンで現地試験を行うとともに統計的な解析を行い、最も当てはまるモデルとしてロジスティックモデルを提案する（図 1）。一般的な養殖方法に準じ、飽食（満腹）給餌として実験しており、ミルクフィッシュの魚体が大きくなるほど日々の成長率（日間成長率）は低減する（図 2）。当該モデルは、このような生理的特徴も反映されている。
2. 肥満度と水温の関係として、低温期（29℃～30℃前後）に肥満度（脂ののり）が高くなり、より高温期（>30℃）になると肥満度が低下する。また、最低温期（27～28℃）でも肥満度が低下する（図 3）。
3. 肥満度と水温および餌料要求率には関係があり、高温期には餌料要求率が低下し、肥満度も低下する。低水温期には、餌料要求率が上昇し、肥満度も上昇する（図 4）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. これまでの研究では、線形回帰によって分析されており、出荷サイズ（300-400 g/尾）までの成長予測は過大に推計される傾向にあったが、本モデルではこのような過大推計を補正できるため、より正確な成長予測や養殖経営体による出荷予測などに活用できる。
2. 魚体重と成長率の関係から、どのサイズで出荷すれば養殖の効率性が高いのか予測することができる。ただし、費用のデータを分析していないため、養殖経営体にとっての最適なサイズを推計することはできないことが、今後の課題である。
3. 水温を把握することによって、肥満度の予測の可能性を示すことができるが、これらの予測をさらに精緻化するために、さらになるデータ収集とモデル修正が必要である。
4. どのような水温の時期に、どの程度餌を与えれば良いのか、例えば低温期の給餌量を削減し、肥満度を通年一定化させるなど、給餌量の目安を提供できる。魚類養殖において、餌料代は最も大きな割合を占める経費であり、これを抑制することに貢献することが可能である。

[具体的データ]

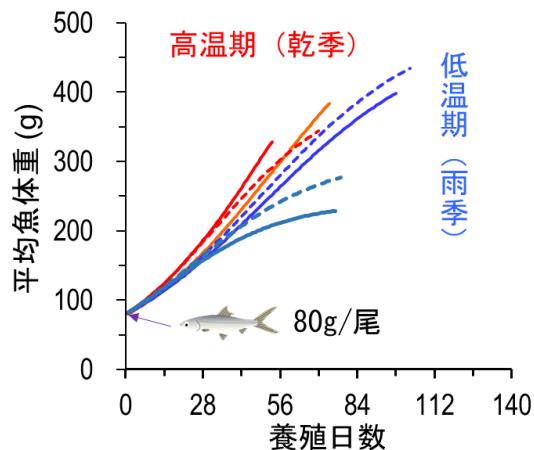


図1 養殖水温など異なる条件の成長の推計例

実線と破線は異なる養殖施設場所。高温期は3回、低温期は4回実験を実施。80g/尾の種苗で試験を開始。

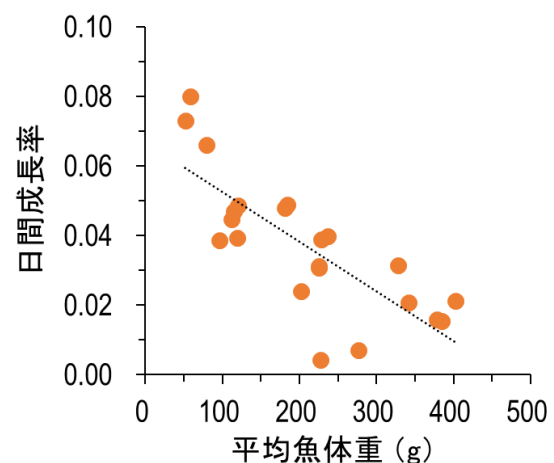


図2 日間成長率と魚体重の関係

日間成長率 $=100 \times \exp(((\ln(W_f) - \ln(W_i))/\text{養殖期間}) - 1)$ 。
 W_f は計測時の重量(g)、 W_i は養殖開始時の重量(g)。

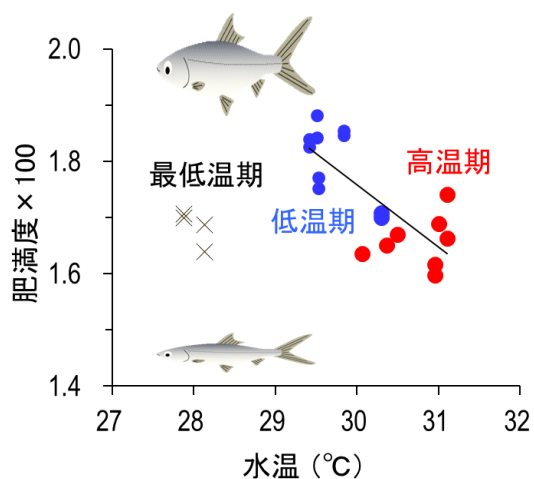


図3 肥満度と水温の関係

肥満度 $=\text{魚体重(g)} / (\text{体長(cm)})^2$ 。赤が高温期、青は低温期、×は最低温期のデータ。

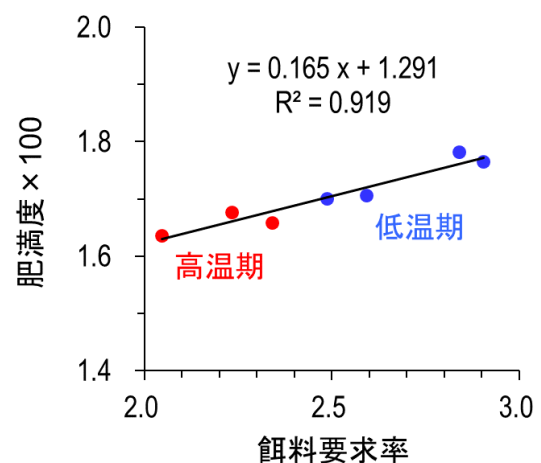


図4 肥満度と餌料要求率の関係

餌料要求率 $=\text{飼料摂取量(g)} / \text{生産重量(g)}$ 。最低温期のデータは含んでいない。

図は Kodama et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金〔高付加価値化／熱帯水産資源〕

研究期間：2016～2018年度

研究担当者：児玉真史（水産領域、現水研機構）、Diamante RA・Salayo ND・Castel RJG（東南アジア漁業開発センター）、Sumbing JG（横浜国立大学）

発表論文等：Kodama M et al. (2021) *JARQ* 55: 191–200, <https://doi.org/10.6090/jarq.55.191>

生殖細胞凍結保存技術によりクルマエビ類の遺伝的多様性保全を図る

〔要約〕 卵の凍結保存技術が確立されていない魚介類において、生殖細胞の凍結保存は、全遺伝情報を保存できる唯一の手法となっている。開発した水産重要種クルマエビ類 2 種における生殖細胞凍結保存技術は、水生無脊椎動物で初の生殖細胞凍結保存技術である。

〔キーワード〕 凍結保存、生殖細胞、クルマエビ類

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

持続的な水産養殖の確立には、養殖集団の遺伝的劣化防止技術や、疾病に強い優良系統作出が必要であり、そのためには現存する遺伝的多様性を保存することが極めて重要である。近年、数種の魚類において、生殖細胞の凍結保存技術ならびに凍結保存した生殖細胞由来の精子・卵および次世代個体を作成する生殖細胞移植技術が開発され、卵の凍結保存ができない魚類において全遺伝情報を保存できる唯一の有効な手法となっている。しかし、水産上重要種が多い甲殻類ではこのような技術はこれまで開発されておらず、遺伝的多様性を保存するためには、水槽や生け簀で膨大な数の生きた個体を飼育し続ける以外に方法がない。このような課題に対し、本研究では、クルマエビ類に属するウシエビ(*Penaeus monodon*)およびバナナエビ(*Fenneropenaeus merguensis*)の 2 種について、水生無脊椎動物で初となる生殖細胞凍結保存技術を開発する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 凍結保護剤として多く使用されるジメチルスルホキシド(DMSO)、グリセロール、塩化マグネシウム(MgCl₂)の 3 種を比較した結果、ウシエビ・バナナエビの両種で、10%グリセロールまたは 10% DMSO を用いることで凍結解凍後の生殖細胞において凍結していない区と同等の高い生残率が得られる（図 1）。
2. ウシエビでは凍結保護剤に 10%グリセロールを、バナナエビでは 10%DMSO を用いることで、他の凍結保護剤に比べて高い生殖細胞の回収率が得られる（図 2）。
3. 生残率と回収率を総合的に評価すると、ウシエビでは 10%グリセロール、バナナエビでは 10% DMSO が凍結保護材に適している。
4. 両種ともに、長期保存には緩慢凍結保存法よりもガラス化凍結保存法が適している（図 3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 本法において生殖細胞は液体窒素保管容器の中で凍結保存できるため、本技術を用いることでウシエビ・バナナエビの遺伝的多様性保存が、生きた個体の継代飼育よりも省スペース・省労力かつ遺伝的劣化を伴わず半永久的に可能である。
2. 生殖細胞を凍結保存することにより、養殖集団の遺伝的劣化防止や、優良系統作出の際に必要な遺伝育種材料を遺伝的多様性が失われる前に確保することが可能となり、持続的なクルマエビ類養殖技術につながる。
3. 本報を基にすることで、水産重要種が多いクルマエビ類の他種においても、生殖細胞凍結保存技術が開発され、現存する遺伝的多様性を保存できると期待される。
4. 凍結した生殖細胞から個体を再生する生殖細胞移植技術は、クルマエビ類を含む水生無脊椎動物ではまだ開発されていないため、個体再生には生殖細胞移植技術の開発が必要である。

[具体的データ]

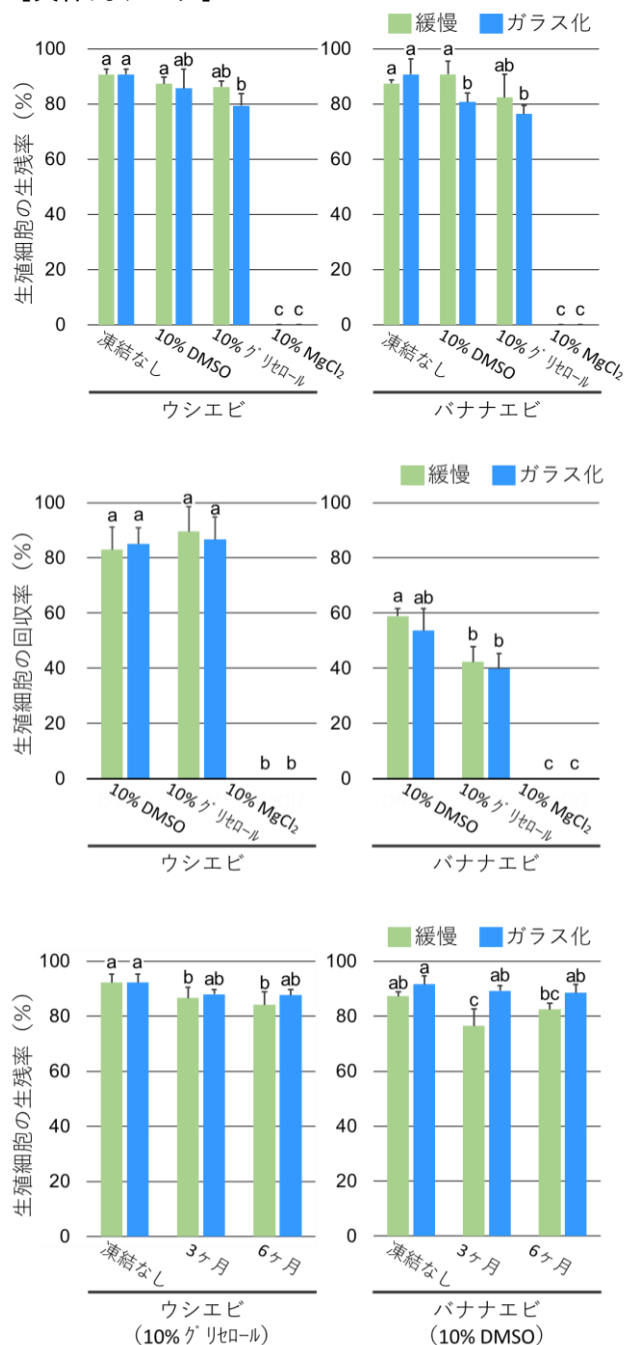


図1 生殖細胞の生残率

異なるアルファベットは区間に有意差があることを示す($p < 0.05$)。

緩慢：緩慢凍結保存法。-1℃/分の速度で凍結する方法。

ガラス化：ガラス化凍結保存法。細胞内の水分を脱水し凍結保護剤へ完全に置換したのちに液体窒素で急速に凍結する方法。

図2 生殖細胞の回収率

回収率は、凍結していない精巣をばらして回収される生きた生殖細胞の数を分母、各条件で凍結・解凍して得られた生きた生殖細胞の数を分子とした比率。

異なるアルファベットは区間に有意差があることを示す($p < 0.05$)。

図3 長期間にわたる凍結後の生殖細胞の生残率

異なるアルファベットは区間に有意差があることを示す($p < 0.05$)。

図は Rakbanjong et al. (2021) より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：受託 [JST/JICA・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究期間：2019～2023 年度

研究担当者：奥津智之（水産領域）、Rakbanjong N・Chotigeat W・Wonglapsuwan M (Prince of Songkhla University)、Songnui A (Department of Fisheries)

発表論文等：Rakbanjong et al. (2021) *Marine Biotechnology* 23: 590–601

<https://doi.org/10.1007/s10126-021-10048-1>

リン欠乏水田でのリン施肥による水稻増収量は土壌リン吸着能から推定できる

〔要約〕 マダガスカルに広く分布するリン欠乏水田において、リン肥料を施用した際のイネの増収量は、近接する圃場間でも大きく異なり、土壌のリン吸着能が高いほど低下する。

〔キーワード〕 土壌診断、施肥管理、マダガスカル

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

サブサハラアフリカに広く分布する風化土壌は、作物生育に重要な栄養素であるリンの供給力（リン含量）が低いため、作物の生産性向上にはリン肥料の施用が不可欠である。同地域の小規模農家の肥料の購買力は低く、作物の生産量や利潤を効率的に高めるためには、土壌診断に基づいて施用効果の高い圃場へ優先的にリン肥料を施用することが求められる。土壌にはリンを吸着する性質（リン吸着能）があり、施用されたリンは土壌に固定されて作物に吸収されにくくなるため、土壌のリン含量だけでなくリン吸着能も考慮した施肥設計が必要である。しかし、サブサハラアフリカのリン欠乏土壌において、土壌のリン吸着能と作物の施肥応答との関係について定量的な知見は殆ど無い。本研究では、リン欠乏が広くみられ、農家の肥料投入量も極めて限られるマダガスカル中央高地の水田土壌を対象として、土壌のリン吸着能とリン肥料を施用したときのイネの増収量との関係を明らかにし、効率的なリン施肥を実現するための知見を得る。また、マダガスカル以外のサブサハラアフリカ地域においても得られた知見が適用可能かを検証するため、土壌リン吸着能を規定する土壌物理化学性も解析する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 土壌のリン吸着能は、土壌とリン溶液(1,000 ppm P)を土液比 1:5 で 24 時間振とうした後、もとのリン溶液中のリン量に対する土壌に吸着したリン量の割合として算出する。
2. マダガスカル中央高地の土壌リン含量が低い水田において、リン施肥によるイネの増収量は、 $-0.4 \sim 2.1 \text{ t ha}^{-1}$ の範囲で同一村落内の近接する圃場間でも大きく変動し、その推定式は土壌のリン含量よりもリン吸着能を説明変数とするほうが高い決定係数(R^2)を持つ（図 1）。
3. リン肥料を施用した際のイネの増収量は、土壌のリン吸着能が高いほど低下する。栽培期間中の平均気温が 22.2°C の村落では土壌リン吸着能が 35%以上、同平均気温が 20.8°C と比較的冷涼な村落では土壌リン吸着能が 53%以上の場合に、リン施肥による増収が見られなくなる（図 1）。
4. 土壌リン吸着能は、結晶化しておらず原子配列の規則性がない非晶質アルミニウム含量によって強く規定され、非晶質アルミニウム含量が高いほど土壌リン吸着能も高くなる（表 1）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 土壌のリン欠乏が問題となる地域において、施肥効果の高い圃場を施肥前に把握できることから、農家がリン肥料を優先的に施用する圃場を選別するための指標として活用できる。
2. 非晶質アルミニウムを含み土壌リン含量が低い土壌は熱帯地域に広く存在することが知られている。本研究で得られた知見は、マダガスカルに限らずサブサハラアフリカ地域に広く適用可能である。
3. 水稻以外の作物について本研究成果を適用できるかは検証が必要である。

[具体的データ]

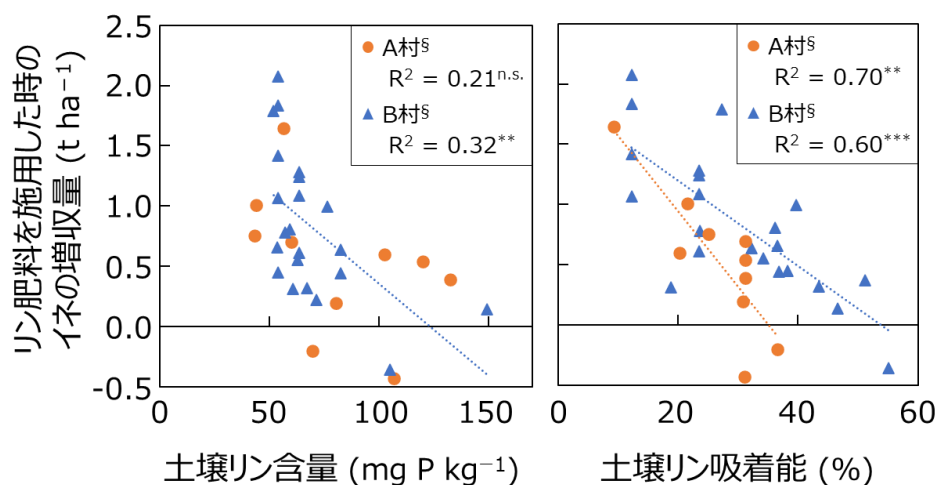


図1 リン肥料を施用した時のイネの増収量と土壌リン含量および土壌リン吸着能との関係

イネ増収量は、圃場栽培試験の窒素施肥区と窒素＋リン施肥区におけるイネ収量の差として計算。窒素肥料は尿素で 80 kg N ha⁻¹ を、リン肥料は重過リン酸石灰で 50 kg P ha⁻¹ を施用。土壌リン含量は酸性シュウ酸塩抽出により定量。§栽培期間中の平均気温は A 村で 22.2°C、B 村で 20.8°C。*** $p < 0.001$ 、** $p < 0.01$ 、^{n.s.} $p > 0.1$ 。

表1 土壌リン吸着能と土壌物理化学性の標準偏回帰係数

非晶質アルミニウム [†]	粘土	非晶質鉄 [†]	塩基飽和度
0.646 ^{***}	0.305 ^{***}	0.184 ^{***}	0.173 ^{***}

マダガスカル中央高地の水田（213 地点）から採取した土壌を対象に、重回帰分析により土壌リン吸着能を規定する土壌物理化学性を解析。[†]酸性シュウ酸塩抽出により定量。*** $p < 0.001$ 。

図表は Nishigaki et al. (2021)より改変（著作権者による許諾済み）

[その他]

予算区分： 受託 [JST/JICA・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究期間： 2017～2021 年度

研究担当者：西垣智弘・辻本泰弘・浅井英利（生産環境・畜産領域）、Rakotoson T・Rabenarivo M・Andriamananjara A・Andrianary HB・Rakotonindrina H・Razafimbelo T（アンタナナリボ大学 LRI）

発表論文等：Nishigaki T et al. (2021) *Geoderma* 402: 115326

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115326>

深層学習で熱帯の多様な生態系における土壌のリン供給能を推定するモデル

【要約】 土壌の分光データを使用した深層学習により、農耕地および自然植生を含む熱帯の多様な生態系における土壌のリン供給能を迅速かつ高精度に推定できる汎用性の高いモデルを開発できる。

【キーワード】 土壌診断、深層学習、酸性シュウ酸塩抽出リン、マダガスカル

【分類】 研究

【背景・ねらい】

熱帯地域では土壌のリン供給能が低いため、持続的な作物生産や土地利用を実現するためには、土壌がもつリン供給能を精度よく把握し、適切な養分管理を施す必要がある。これまでに、マダガスカル中央高地のイネ作付け圃場において、イネへのリン供給能の指標となる土壌の酸性シュウ酸塩抽出リン(Pox)含量を分光スペクトルから迅速に診断する手法を開発した（令和元年度国際農林水産業研究成果情報 B01「イネ生育に対する土壌のリン供給能は室内分光スペクトルから迅速に推定できる」）。しかし、部分的最小二乗回帰（PLS 回帰）に基づく本手法は、学習データに使用した分光スペクトルの波長特性に強く依存するため、土地利用条件（水田、畑、森林など）や気象条件が異なる土壌では、単一モデルの構築は難しかった。一方で、波長特性を機械が自動で判別する深層学習では、土地利用等に依存しない包括的なモデルの開発が可能である。深層学習には大量の学習データが必要になるが、従来の PLS 回帰よりも高い推定精度が期待できる。本研究では、分光スペクトルデータの深層学習により、熱帯の多様な生態系にある土壌を対象とした土壌 Pox 推定の単一モデルを開発する。

【成果の内容・特徴】

1. 強風化土壌フェラルソル、未熟土壌キャンビソル、鉄集積土壌プリンソソルなどが主に分布するマダガスカルの東部沿岸から中央高地（標高 110–1,667 m）の水田、畑、森林、休閑地、裸地の表層 0–15 cm 深から採取した土壌試料(n=318)の Pox 含量と分光スペクトルのデータセットを深層学習に用いる。分光スペクトルは携帯型分光放射計(FieldSpec, ASD Inc.)を用いて、2 mm 篩通過風乾砕土を対象に、可視・近赤外領域(400–2400 nm)を暗室内で測定する。
2. 深層学習のモデルは、一次元情報の分光スペクトルに対応した一次元畳み込みニューラルネットワーク(1D-CNN)を用いて土壌 Pox 含量との関係を学習させる。開発したモデルに分光スペクトルデータを入力することで、化学分析をせずに土壌 Pox の推定が可能になる。
3. 1D-CNN モデルは、対象地域にみられる多様な生態系の土壌 Pox 推定にも適用可能であり、既存の PLS モデル($R^2 = 0.792$)よりも高い精度($R^2 = 0.878$)で迅速に推定できる（図 1）。
4. 1D-CNN モデルの感度分析の結果、PLS 回帰係数と同様に土壌中の鉄酸化物や水分含量などの関連波長（432、590、1433 nm）の感度が高いことから、これらの波長が多様な生態系における土壌 Pox の推定に強く関連している（図 2）。

【成果の活用面・留意点】

1. 土壌サンプルの化学分析を必要とせず、室内分光計測のみで土壌 Pox 含量を安全かつ迅速に推定できるため、圃場の施肥設計に利用できる。
2. モデルの開発に使用したデータセットは、熱帯に広く見られる土壌型や標高条件を網羅しており、マダガスカル以外の熱帯地域にも応用できる。

[具体的データ]

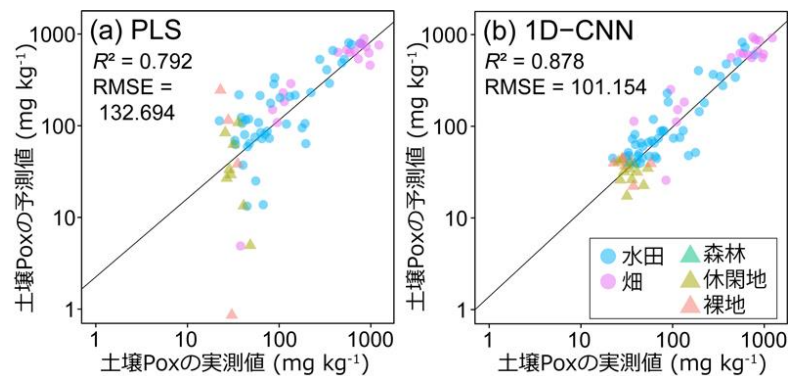


図1 土壌の酸性シュウ酸塩抽出リン(Pox)含量の実測値と予測値

x 軸と y 軸は、ログスケールで表示。RMSE: 二乗平均平方根誤差。

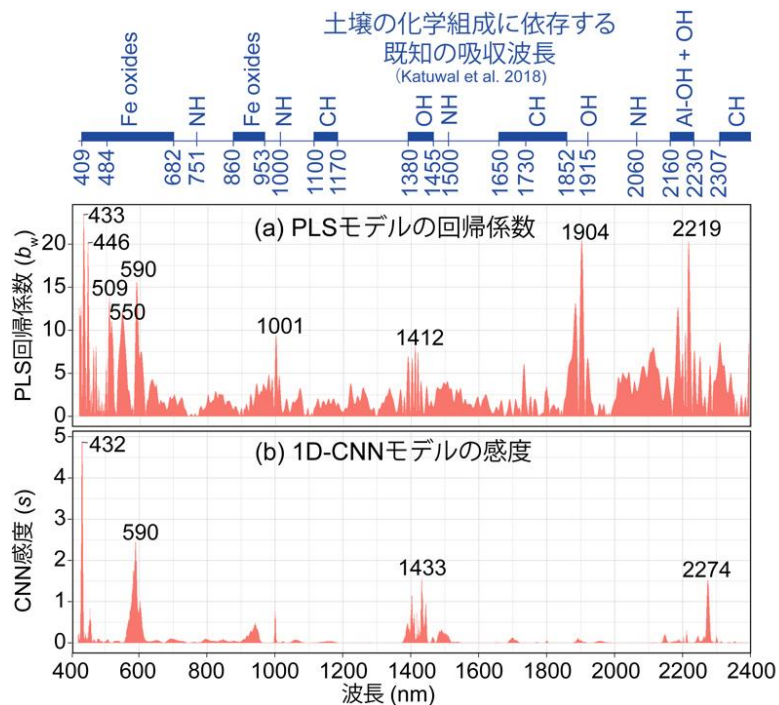


図2 (a) 部分的最小二乗回帰 (PLS) モデルの回帰係数と
(b) 一次元畳み込みニューラルネットワーク (1D-CNN) モデルの感度

赤線と数値：土壌供給能 Pox の推定における重要度と波長。

Fe oxides が酸化鉄の吸収波長。OH は水分含量の吸収波長。

図は Kawamura et al. (2021) より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分： 受託 [JST/JICA・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究期間： 2017～2022 年度

研究担当者：川村健介(社会科学領域)・西垣智弘・辻本泰弘(生産環境・畜産領域)、Andriamananjara

A・Rakotonindrina H・Rabenarivo M・Razafimbelo T (アンタナナリボ大学 LRI)

発表論文等：Kawamura et al. (2021) *Remote Sensing* 13: 1519, <https://doi.org/10.3390/rs13081519>

イネのリン欠乏と低温不稔が問題となる栽培環境での効率的なリン施肥法

〔要約〕 リン欠乏土壌ではイネの出穂が遅延するため、生育後半に気温が低下する栽培環境では低温不稔が助長される。低温不稔のリスクが高い圃場にリンを施用することで、リン欠乏と低温不稔の双方の改善につながり、増収効果を高めることができる。

〔キーワード〕 リン欠乏、出穂遅延、イネ、低温不稔、マダガスカル

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

リンの施肥効率改善は、施用量が不足する地域での作物の生産性向上や枯渇するリン鉱石の持続的利用を実現する上で重要な課題である。熱帯地域に広く分布するリン欠乏土壌では、イネをはじめとする一年生作物の発育（出穂・開花）が遅延し、収穫までの日数が延びることが知られる。しかし、リン欠乏にともなう発育の変化が圃場での作物収量に及ぼす影響については定量的な評価がなされていない。本研究では、マダガスカル中央高地のリン欠乏水田において、リン施用の有無がイネの発育および収量に及ぼす影響を明らかにすることで、リン肥料を効率的にイネの増収に結びつけるための知見を得る。

〔成果の内容・特徴〕

1. マダガスカル中央高地のリン欠乏水田でイネ（マダガスカルの主力品種である X265）を栽培すると、移植日に関わらず、リン施用区の到穂日数（移植から出穂までにかかる日数）がリン非施用区に比べて 9～16 日間短くなる（表 1）。
2. リン施用による増収量は、同じ圃場でも移植日により有意に異なり、早植区が 0.8 t ha^{-1} 、遅植区が $1.2 \sim 1.3 \text{ t ha}^{-1}$ となる（表 1）。
3. 遅植区では、リン非施用区における出穂日前後の日平均気温が 22°C （籾の稔実に影響を及ぼさない下限温度）を大きく下回る日が観測される（図 1）。
4. 遅植区では、リン非施用区の低温指数および不稔率が増加する（図 2）。リンを施用して出穂を早めることで、低温不稔が改善される。早植区では、リン施用の有無による出穂日の変化が低温指数と不稔率に及ぼす影響は小さい。

〔成果の活用面・留意点〕

1. マダガスカルや東アフリカの熱帯高地では、リン欠乏と低温ストレスが問題となる栽培環境が多いことから、生育後半に気温が低下する場合に優先的にリンを施用するなど、イネの出穂を早めるリンの働きを活用することで、リンの施肥効率を高めることができる。
2. リン欠乏による発育の遅延は多くの一年生作物で観測されており、本成果で得られた知見は、イネ以外の作物への応用が期待できる。
3. リン欠乏によるイネの出穂遅延の程度は、品種によって異なることが観測されている。

[具体的データ]

表1 リン施用の有無と移植日の違いがリン欠乏水田でのイネの到穂日数および収量に及ぼす影響

		到穂日数（日）			収量(t ha ⁻¹)		
		リン 非施用区	リン 施用区	施用区と非 施用区の差	リン 非施用区	リン 施用区	施用区と非 施用区の差
早植区	圃場 1	111	95	<u>-16</u>	2.2	3.1	<u>0.8</u>
	圃場 2	110	98	<u>-11</u>	2.4	3.2	<u>0.8</u>
遅植区	圃場 1	109	96	<u>-12</u>	1.9	3.1	<u>1.2</u>
	圃場 2	105	96	<u>-9</u>	1.8	3.1	<u>1.3</u>

リン非施用区は、無施肥区および窒素のみを尿素で 80 kg N ha⁻¹ 施用した区の平均値。リン施用区は、リンのみを重過リン酸石灰で 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ 施用した区および窒素とリンの双方を施用した区の平均値。

早植区は 11 月 28～29 日、遅植区は 12 月 27～30 日に移植。

下線付きの数値は、リン非施用区と施用区の平均値が 5%水準で有意に異なることを示す。

分散分析の結果、収量に対する移植日とリン施用の相互作用は 5%水準で有意。

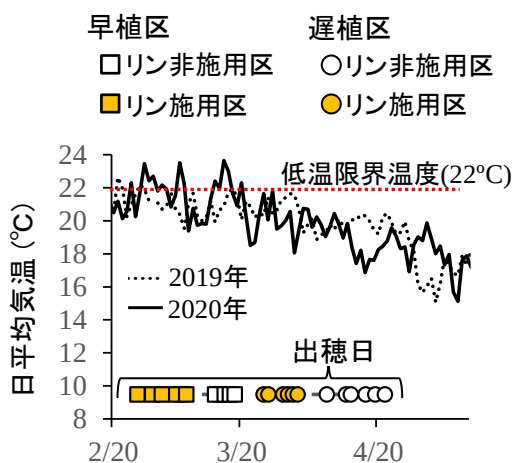


図1 イネの出穂日前後の日平均気温の推移

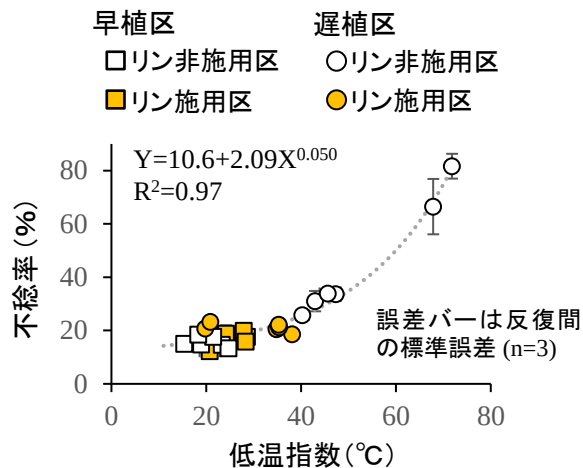


図2 リン施用の有無と移植日の違いがイネの低温指数と不稔率に及ぼす影響

低温指数は、出穂 15 日前から出穂 7 日後の期間に、日平均気温が低温限界温度 22 度を下回った数値の積算値。

図表は Andrianary et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：受託 [JST/JICA・地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究期間：2017～2022 年度

研究担当者：辻本泰弘・アウンゾーウー・西垣智弘（生産環境・畜産領域）、Andrianary, B.H., Rakotonindrina, H., Rabenarivo, M., Ramifehiarivo, N., Razakamanarivo, H., Rakotoson, T.（アンタナナリボ大学 LRI）

発表論文等：1) Andrianary et al. (2021) *Field Crops Research* 271: 108256, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108256>, 2) Rakotoson et al. (2022) *Field Crops Research* 275: 108370, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108370>

メタ解析により明らかになったアフリカ陸稲への施肥効果

〔要約〕アフリカにおける主要陸稲品種 NERICA4 の栽培試験データをメタ解析に供し、化学肥料の増収効果を環境要因に応じて定量的に評価する。結果は粘土含量が異なる土壤間で、降水量や窒素施用による異なる効果を示し、アフリカ陸稲栽培での施肥設計の指針となる。

〔キーワード〕アフリカ、NERICA4、降水量、土壤、窒素施用、メタ解析

〔分類〕研究

〔背景・ねらい〕

陸稲栽培はアフリカの主要な稲作形態の1つであるが、その収量は非常に低い。収量の向上には化学肥料の施用が不可欠であり、小農にとって施肥効率の改善は増収と生計向上に重要である。しかし様々な地域で行われている試験では、施肥が増収につながらない場合がある。地域によって異なる環境要因が原因と考えられるが、多くの試験を統合した分析はなされていない。そこで、環境ならびに施肥条件が異なるアフリカ8ヶ国での主要陸稲品種 NERICA4 の栽培試験データを用いてメタ解析*を行い、施肥効果に対する環境要因、特に降水量と土壤の影響を定量的に評価することで、化学肥料を適切に利用するための指針を得る。

* 複数の試験結果を統合・分析し、個々の条件を取捨して大きな結論や傾向を見出す手法。

〔成果の内容・特徴〕

1. NERICA4 の施肥試験から対照区と施肥区を抽出し、合計 151 サンプルのデータベースを構築する（表 1）。土壤は、粘土含量により低粘土質（ $\leq 20\%$ ）と高粘土質（ $> 20\%$ ）に分類する。化学肥料の施用による増収量（対照区と施肥区の収量差）と、窒素・リン・カリウムそれぞれの施用量、および降水量の関係を調べる。
2. リン・カリウム施用量と増収量との関係は、いずれの土壤でも認められない（ $p > 0.05$ ）。
3. 降水量の増加に応じていずれの土壤でも、増収量は大きくなる（ $p < 0.001$ 。図 1 左）。増収量は、窒素施用量の増加に応じて、高粘土質で大きくなるが（ $p < 0.001$ ）、低粘土質では効果がない（ $p > 0.05$ 。図 1 右）。
4. 降水量が 100 mm 増えるごとに、高粘土質では 0.145 t ha^{-1} 、低粘土質では 0.168 t ha^{-1} の増収効果が期待できる（表 2）。窒素施用量 100kg あたり、高粘土質では 0.653 t ha^{-1} の増収効果があるが、低粘土質では 95%信用区間が正負に跨り、増収量は必ずしも大きくならない（表 2）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 降水量や土壤に関する広い地域の地理情報との併用により、化学肥料の施用効果の高い地域を特定し、肥料の普及および販売促進への活用が期待できる。
2. 本研究は、メタ解析からアフリカの陸稲栽培における施肥効果の傾向を明らかにしたものであり、リン等の養分が局所的に不足する地域や個々の農家圃場レベルでは、異なる結果となる可能性があることに留意する。
3. NERICA4 以外の品種については別途検証を要する。

[具体的データ]

表1 アフリカの8ヶ国での陸稲品種NERICA4を用いた施肥試験の概要（サンプル数）¹⁾

国名	合計	土壌(粘土含量) ²⁾		施用効果			
		低粘土質(≤20%)	高粘土質(>20%)	NPK	N	P	K
ガンビア	4	4	0	4	0	0	0
ギニア	2	2	0	2	0	0	0
マリ	2	2	0	2	0	0	0
ベニン	65	65	0	53	12	0	0
ウガンダ	50	0	50	20	10	10	10
ナイジェリア	15	3	12	0	13	1	1
ケニア	12	12	0	2	6	4	0
マダガスカル	1	0	1	1	0	0	0
合計	151	88	63	84	41	15	11

1) データベース：https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0378429021002306-mmcl.xlsx。

2) Tanaka et al. (2017)。

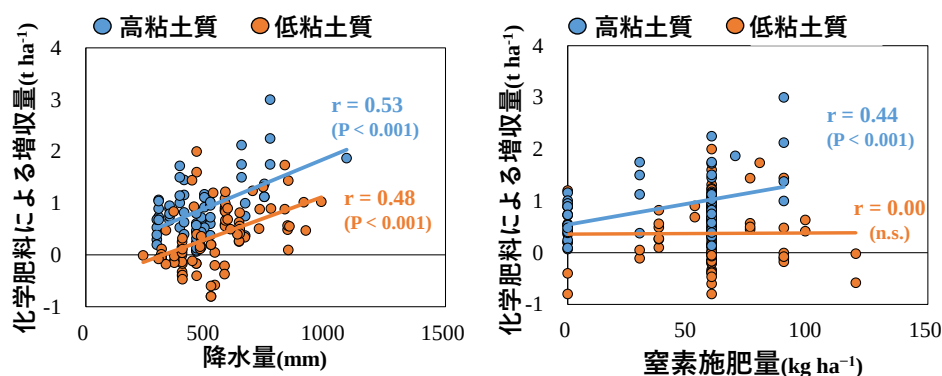


図1 化学肥料施用による増収量と降水量（左）および窒素施肥量（右）の関係

r: 相関係数。n.s.: $p > 0.05$ 。

表2 異なる土壌における降水量および窒素施肥量の増収効果の確率分布

土壌	降水量 (t ha ⁻¹ 100mm ⁻¹)			窒素施肥量 (t ha ⁻¹ 100kg ⁻¹)		
	平均値	95%信用区間 ¹⁾		平均値	95%信用区間 ¹⁾	
		2.5%	97.5%		2.5%	97.5%
高粘土質	0.145	0.068	0.220	0.653	0.253	1.050
低粘土質	0.168	0.103	0.236	0.164	-0.352	0.679

¹⁾ベイズ統計手法により推定した事後確率分布において 95%の確率で真の値を含む区間。2.5%は分布の下側2.5%点、97.5%は分布の上側2.5%点の値。

図表は Asai et al. (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分： 交付金 [食料／アフリカ稲作システム]

研究期間： 2021～2025 年度

研究担当者： 浅井英利（生産環境・畜産領域）・川村健介（社会科学領域）、齋藤和樹（アフリカ稲センター）

発表論文等： Asai et al. (2021) *Field Crops Research* 272: 108284,
https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108284

灌漑地区上流への野菜作導入で農家の所得向上と灌漑水の均等な配分が両立する

〔要約〕 水不足のためにコメの不作付地が増加しているタンザニア北部ローアモシ灌漑地区の灌漑スキームでは、市場性のある野菜作を導入することで農家所得が向上し、スキーム全体の水資源利用の効率化とより均等な灌漑水の配分が期待できる。

〔キーワード〕 灌漑水田、灌漑水配分、水田二毛作、タンザニア

〔分類〕 行政

〔背景・ねらい〕

サブサハラアフリカでは、コメの需要拡大に対応して、灌漑水田の開発と水稻栽培技術の改善が進められ、比較的高い収量を実現している地域も多い。しかし近年、灌漑整備地域において、河川流量の不安定化や水利施設劣化に起因する利用可能灌漑水量の低下、ならびに上流下流間の灌漑水配分の不均等が問題となっている。一方、地方市場でも園芸作物の需要が伸びており農業多様化による農家所得向上の条件が整いつつある。本研究では、灌漑水路の上流に位置する水田を水稻二期作から裏作に畑作物を栽培する二毛作に転換することで、灌漑スキーム全体での効率的な水利用に繋がると考え、タンザニア北部ローアモシ灌漑地区において、作付け体系の転換による節水効果と、生産性、および収益性を比較検討する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 水稻作をトウモロコシ作に転換することで、栽培期間中の灌漑水量が 77%削減される。栽培期間中の灌漑日数の比較において、野菜作の導入は更なる節水効果が見込まれる（表 1）。
2. 付加価値額（粗生産額から労働以外の支出額を除いた数値）で比較した土地生産性は、野菜＞水田稲＞水田裏作トウモロコシ＞畑作トウモロコシの順に高く、労働生産性は、水田裏作トウモロコシ＞畑作トウモロコシ＞野菜＞水田稲の順に高い。土地制約が強ければ土地生産性の高い野菜、水田稲、労働制約が強ければ労働生産性の高いトウモロコシの相対的合理性が高まる（図 1）。
3. 家族労働費を生産費に計上しない所得は、野菜＞水田稲＞水田裏作トウモロコシ＞畑作トウモロコシの順に高く、家族労働費を生産費に計上した利潤は、水田稲＞野菜＞水田裏作トウモロコシ＞畑作トウモロコシの順に高い。水田裏作に野菜を導入すれば水稻二期作を上回る所得が期待できる。ただし、家族労働に対する自己評価が高い世帯は利潤動機が働くので野菜導入の経済的インセンティブは弱い（表 2）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 水不足のために下流域の水稻不作地が増加している灌漑スキームにおいて、上流域に野菜を導入して下流域に余剰灌漑水を配分しイネ作付面積を拡大することで、灌漑スキーム全体の水灌漑水の効率的利用と農家の所得向上に繋がることが期待できる。
2. 水田裏作に商品作物としての野菜を導入するためには、排水対策等の水管理技術、組織化や契約栽培等の市場対応とリスク管理などにも留意する必要がある。
3. 自給作物（稲、トウモロコシ）を減らし利潤変動が大きく貯蔵性のない商品野菜に特化すれば、世帯レベルの食料安全保障を低下させる恐れがある。

[具体的データ]

表 1 作目別の必要灌漑水量の推計値（2018-19 年、1 作当たり）

	稲作 ¹	水田裏作トウモロコシ ¹	野菜 ²
灌漑日数 (day)	110	25	13.2
1 日当灌漑水量 (mm/day)	13	13	データなし
総灌漑水量 (mm)	1,430	325	データなし

1)水路灌漑。栽培試験の実測値。2) 同一地区の整備水田であるが、灌漑水の供給がないためにポンプによる個別灌漑で野菜を栽培している水田での聞き取り調査(n=9)。農家が用いるポンプの能力は 15 mm/day 以下。アフリカンナイトシェイド、アマランサス、タマネギ、ピーマン、白菜、カボチャを販売目的で生産。

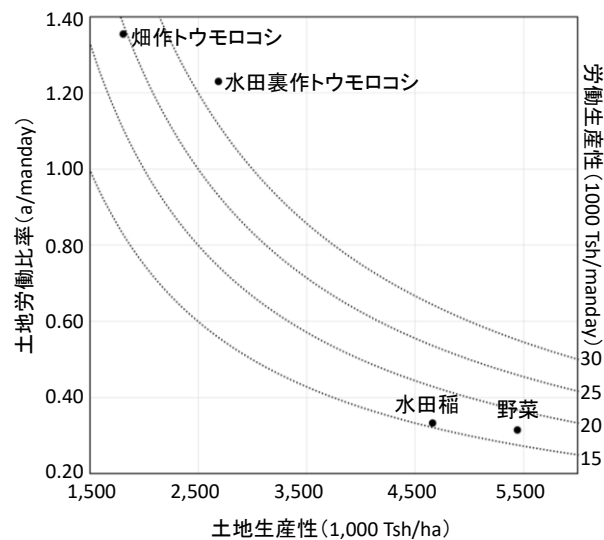


図 1 各作目の土地及び労働生産性

- 1) 横軸は土地生産性（付加価値額／面積）
- 2) 縦軸は土地労働比率（面積／投入労働）
値が高ければ土地利用型、低ければ労働集約型作物
- 3) 点線は等労働生産性曲線
労働生産性（付加価値額／投入労働）＝土地生産性 × 土地労働比率
- 4) Tsh はタンザニアシリング
1 Tsh = 0.047 円（2019 年 11 月 18 日）

表 2 作目別の生産費・経営指標（2018-19 年）

調査圃場土地条件（調査農家数）	稲作	トウモロコシ作		野菜作
	灌漑水田 (78)	灌漑水田裏作 (10)	灌漑畑 (5)	井戸灌漑 (9) ¹
総経営面積 (ha)	0.83	0.94	2.30	1.20
調査圃場面積 (ha)	0.29	0.54	1.04	0.23
調査作目収量 (t/ha)	6.62	5.71	3.74	NA
粗生産額：A (1000 Tsh/ha)	5,919	3,847	2,411	6,243
生産費(1000 Tsh/ha)				
物財・機械サービス費等	1,263	1,165	605	802 ²
雇用労働費	973	395	403	1,165
家族労働費：B ³	480	541	378	2,088
合計 C	2,717	2,101	1,386	4,056
所得：A - C + B (1,000 Tsh/ha)	3,682	2,287	1,405	4,276
利潤：A - C (1,000 Tsh/ha) ⁴	3,202 (0.44)	1,746 (0.95)	1,027 (1.19)	2,188 (2.28)

1) 浅井戸を水源とするポンプによる個別灌漑。2) 灌漑費用はポンプ利用の実費用ではなく水田裏作トウモロコシの水利費を採用。3) 標準的な農業雇用労賃で推計した帰属労働費。4) カッコ内の数値は変動係数。利潤のバラツキを表しリスクの代理指標となる。

図表は横山(2022)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分： 受託 [農林水産省「海外農業農村開発促進調査等事業」]

研究期間： 2017～2021 年度

研究担当者：横山繁樹（情報広報室）

発表論文等：横山繁樹 (2022) 農業経営研究 59(4): 69-74.

タイに自生するエリアンサス遺伝資源の多回株出し栽培における農業形質情報

〔要約〕 タイに自生するエリアンサス遺伝資源は、多回株出し栽培における農業形質に大きな遺伝的多様性を有する。多回株出し栽培での農業形質情報や生産性等が優れる育種素材は、タイにおけるサトウキビの育種やエリアンサスの新規資源作物としての育種で利用できる。

〔キーワード〕 遺伝資源、エリアンサス、サトウキビ、資源作物、バイオマス

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

サトウキビ等で実施されている株出し栽培（地上部の茎を収穫した後に、土壤中に残る株から再生する茎を栽培して収穫する作型）は、植え付け作業が不要であるためエネルギー投入量が少なく、経営及び環境保全の面からも重要な作型である。サトウキビの近縁属遺伝資源であるエリアンサス(*Erianthus* spp.)は、株出し栽培を複数回繰り返す多回株出し栽培におけるバイオマス生産性が高く、干ばつ等の不良な環境への適応性に優れる。そのため、気候変動下での多回株出し栽培における生産性向上が課題となるサトウキビの育種素材やバイオマス生産に向けた新しい資源作物としての利用が期待されている。同遺伝資源の効果的な育種利用に向けて、多回株出し栽培における農業形質の遺伝的多様性に関する科学的な情報は重要であるが、世界的に報告は行われていない。本研究では、国際農研とタイ農業局コンケン畑作物研究センターがタイ各地から収集した多様な *E. arundinaceus* と *E. procerus* の遺伝資源について、効果的な育種利用の基盤となる、多回株出し栽培における農業形質の遺伝的多様性に関する情報を整備し、育種素材を選定する。

〔成果の内容・特徴〕

1. タイで収集したエリアンサス遺伝資源 130 系統 (*E. arundinaceus*:98 系統、*E. procerus*:32 系統) には、多回株出し栽培におけるバイオマス生産性等に関連する農業形質に多様な遺伝的変異が存在し、サトウキビやネピアグラスより株当たり乾物重が大きい系統が存在する（図 1）。
2. 株出し栽培を多数回繰り返す上で重要となる多回株出し指数(株出し 3 回目／株出し 1 回目) にも大きな多様性があり、株出し栽培を繰り返した場合でも株当たり乾物重や茎数等が低下しにくい系統が存在する（図 1）。
3. 株あたり乾物重は、茎数との相関が強いが、1 茎重や茎径、ブリックス（可溶性固形分濃度）との間には強い相関関係がないことから、多回株出し栽培におけるバイオマス生産性が高く、ブリックス等の各形質の特性が優れる育種素材の選定が可能である（表 1）。
4. *E. arundinaceus* および *E. procerus* 遺伝資源から選定した多回株出し栽培における株当たり乾物重や多回株出し指数等が大きい系統は、育種素材として有望である（図 2）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 本研究で取得した多回株出し栽培における農業形質情報や選定した育種素材は、タイにおけるサトウキビの育種やエリアンサスの新規資源作物としての育種で利用できる。
2. 農業形質情報は、タイや世界のエリアンサス遺伝資源の利用促進に向けた基盤情報として、国際農研ホームページ(<https://www.jircas.go.jp/ja/database>)にてデータベースとして公開する。
3. 本研究で取得した農業形質情報は、多様な遺伝資源を複数年にわたり評価するために、コンケン畑作物研究センター内の圃場において、1 区 1 株、3 反復で評価した結果であることに留意が必要である。

[具体的データ]

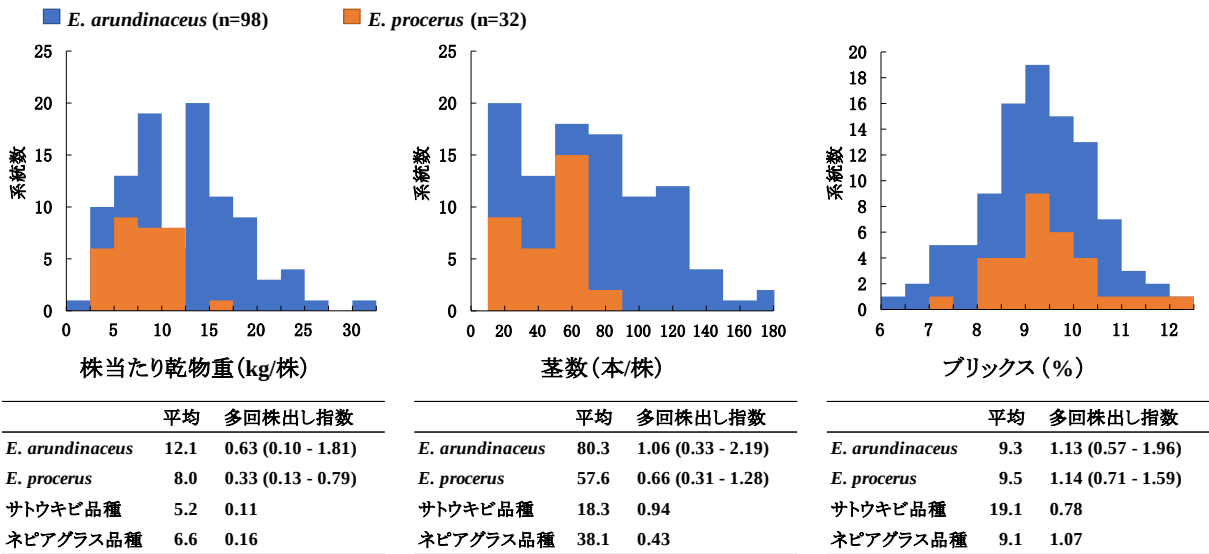


図 1 タイに自生するエリアンサス遺伝資源の農業形質の多様性

注) タイ国コンケン畑作物研究センターにおいて、1 区 1 株 (畦幅 2m×株間 2m)、3 反復で 2011 年 6 月に植付け、2012 年～2015 年の 2 月末～3 月上旬に収穫 (新植から株出し 3 回目) したデータの平均値を示す。多回株出し指数は、株出し 1 回目に対する株出し 3 回目の比 (括弧内はその範囲) であり、値が大きいくほど株出し栽培を繰り返した場合の減少程度が低いことを示す。サトウキビ品種は、国際農研とコンケン畑作物研究センターが育成した株出し性が優れる多収性サトウキビ品種 TPJ03-452、ネピアグラス品種は、東北タイで利用されている King Napier のデータを示す。ブリックスは可溶性固形分濃度を示し、砂糖生産を行うサトウキビの育種素材選定で重要な形質となる。

表 1 株当たり乾物重と他の農業形質との遺伝相関係数

形質	<i>E. arundinaceus</i> (n=98)	<i>E. procerus</i> (n=32)
茎数	0.958 **	0.541 **
1 茎重	-0.240 *	0.295 n.s.
茎長	0.932 **	0.210 n.s.
茎径	0.032 n.s.	0.149 n.s.
ブリックス	-0.502 **	0.019 n.s.

注) 相関係数は各形質の 4 作平均値を利用して算出した。**は 1%水準、*は 5%水準で有意、n.s.は有意でないことを示す。



図 2 選定した株当たり乾物重が大きい育種素材

注) コンケン畑作物研究センターにて 2013 年 3 月に撮影。写真は左から、*E. arundinaceus* の ThE03-7、ThE10-6、*E. procerus* の ThE99-133 を示す。

図表は Terajima et al. (2022)より改変 (転載・改変許諾済)。

[その他]

予算区分： 交付金 [食料安定生産／熱帯作物開発、農産物安定生産／高バイオマス資源作物、情報／熱帯作物資源]

研究期間： 2011～2021 年度

研究担当者： 寺島義文・杉本明・高木洋子 (熱帯・島嶼研究拠点)、Ponragdee W・Sansayawichai T・Tippayawat A・Chanachai S (コンケン畑作物研究センター)、蝦名真澄 (農研機構)、林久喜 (筑波大学)

発表論文等： Terajima et al. (2022) *Crop Science*, 62: 1531–1549. <https://doi.org/10.1002/csc2.20697>

簡易茎頂接ぎ木法によるパッションフルーツのウイルスフリー化技術

〔要約〕 簡易茎頂接ぎ木法により、トケイソウ潜在ウイルス(PLV)に感染したパッションフルーツ株から PLV フリー株を得ることができる。無菌操作や特殊な施設は不要なうえ、処理約 2 カ月後にはウイルス検定が可能で、現場への導入が容易である。

〔キーワード〕 パッションフルーツ、ウイルスフリー、簡易茎頂接ぎ木

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

パッションフルーツ(*Passiflora edulis* L.)は気候変動に対応できる亜熱帯果樹として国内の生産地が増えているが、栽培増加に伴い PLV 等ウイルス病の発生が問題となっている。わが国のパッションフルーツは主に挿し木による栄養繁殖のためウイルス感染が拡大しやすく、増殖用の母樹や株数が限られる遺伝資源が感染してウイルスフリー株の確保が困難になる事例も発生している。

パッションフルーツのウイルスフリー化手法としては無菌環境における茎頂培養法が報告されているが、多大な労力と時間を要する。一方カンキツでは、茎頂培養法よりも効率の良い無菌環境下での茎頂接ぎ木法によるウイルスフリー化技術が開発され、さらには無菌操作を必要としない簡易茎頂接ぎ木法も開発、実用化されている。そこで、労力等軽減により現場への導入を容易にするため、簡易茎頂接ぎ木法によるパッションフルーツのウイルスフリー化技術を開発する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 一般的な茎頂接ぎ木では暗黒化で育てた軟弱実生幼苗を台木とするが、パッションフルーツでは自然光下で育成した高さ 40 cm 程度（播種後約 2 カ月）の充実した実生苗を用いると効率的に茎頂接ぎ木が可能となる（図 1）。
2. 本方法は無菌操作や特殊な施設を必要とせず、一般農家でも実施可能である。慣れれば 1 時間に 10 処理以上実施できるなど作業効率が良い。
3. 茎頂の長さ 2 mm 以下で切り取ると PLV フリー化が可能となる（表 1）。切り取る茎頂が小さいほど PLV フリー化率は高くなるが、活着率は低下する（表 1）。
4. 茎頂接ぎ木後 30 日程度で発芽する（表 2）。また、発芽 1 カ月後にはウイルス検定が行える大きさに成長する（図 1）。
5. 気温が高いと活着率が低下する（表 2）。このため、盛夏期は避けるのが望ましい。
6. 穂木の枝を採取後 1 日経過してから茎頂接ぎ木を行なっても PLV フリー株が得られる（表 3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 全国のパッションフルーツ種苗生産業者、栽培者、試験研究機関でのウイルスフリー株育成に利用できる。
2. 原因不明の複数ウイルス様症状について本簡易茎頂接ぎ木法で症状除去に成功しているため、PLV 以外のウイルスにも有効と考えられる。ただし、症状除去に必要な茎頂の長さは症状により異なり、場合によっては 0.5 mm 以下で茎頂を切り取る必要がある。
3. 解説動画を YouTube の JIRCAS channel、詳細な作業手順、注意点等を説明した実施マニュアルを国際農研 WEB サイトの「マニュアル・ガイドライン」で公開予定である。

[具体的データ]

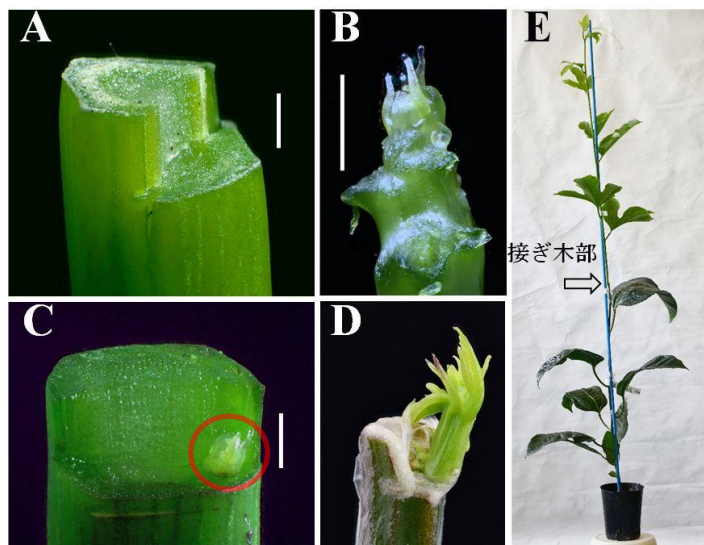


図1 パッションフルーツの簡易茎頂接ぎ木手順概要
図の白線は1mm長；Cの赤丸内は接ぎ木した穂木（茎頂）

- A: 台木には、発芽後2カ月程度の一般的な実生を使う。未硬化部分をL字型に切る。
B: 穂木の幼葉を除去し、茎頂を切り取れるようにする。切り取る茎頂の長さは2mm以下
C: 切り取った茎頂（穂木）を台木の形成層の上に置く（赤丸）。この後フィルムで覆い、乾燥防止する。
D: 茎頂接ぎ木後30日程度で発芽する。
E: 発芽1カ月後（接ぎ木約2カ月後）の状態。ウイルス検定可能

表1 茎頂（穂木）の長さが活着率、およびウイルスフリー化率に及ぼす影響

茎頂（穂木） 長（mm）	茎頂接ぎ木		PLV
	接ぎ木 数	活着率 （%）	ウイルスフ リー化率（%）
1	8	63	60
2-3	5	100	40
5	8	100	0
有意性 ^z		*	*

^z: Fisher's exact testにより*は5%水準で有意差有。

表3 穂木の保存条件が活着率、およびウイルスフリー化率に及ぼす影響

穂木 保存条件	茎頂接ぎ木		PLV
	接ぎ木 数	活着率 （%）	ウイルスフ リー化率（%）
5℃ 1日	17	59	80
25℃ 1日	18	50	56
有意性 ^z		NS	NS

切り取った茎頂（穂木）の長さは0.5-1 mm。

^z: Fisher's exact testによりNSは5%水準で有意差無。

表2 簡易茎頂接ぎ木時の気温と活着率、ウイルスフリー化率との関係

時期	茎頂接ぎ木			PLV	ハウス内気温（℃）		
	接ぎ木 数	活着率 （%）	発芽まで の日数	ウイルスフリー 化率（%）	最高	平均	最低
9月	60	18	32±11	73	35.9	28.6	24.9
10月	24	33	31±22	80	30.4	24.4	21.1
11月	65	58	29±19	73	29.0	23.3	20.1
有意性 ^z		*		NS			

切り取った茎頂（穂木）の長さは0.5-1 mm。

^z: Fisher's exact testにより*は5%水準で有意差有、NSは有意差無。

図表は Ogata and Yamanaka (2021)より改変（転載・改変許諾済）

[その他]

予算区分：交付金 [情報収集分析／戦略的熱帯果樹研究, 情報／熱帯作物資源]

研究期間：2017～2022年度

研究担当者：緒方達志・山中慎介（熱帯・島嶼研究拠点）

発表論文等：Ogata T and Yamanaka S (2021) *Horticulture Journal*, <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-259>

国立研究開発法人

国際農林水産業研究センター

〒305-8686

茨城県つくば市大わし 1-1

TEL : 029-838-6313

FAX : 029-838-6316

熱帯・島嶼研究拠点

〒907-0002

沖縄県石垣市字真栄里川良原 1091-1

TEL : 0980-82-2306

FAX : 0980-82-0614

公式 Web ページ

<https://www.jircas.go.jp/>

