

国際農林水産業
研究成果情報

－ 2024 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

ID	プログラム名	分類	プロジェクト略称	執筆責任者	研究成果情報名
A01	環境 (A)	研究	気候変動総合	岩崎真也	45年超の長期連用試験から熱帯における畑地土壌炭素貯留量を算定
A02	環境 (A)	研究	気候変動総合	荒井見和 伊ヶ崎健大	熱帯の低pH農地土壌の理化学性と生物性はフィルターケーキ施用により改善される
A03	環境 (A)	研究	気候変動総合	荒井見和 伊ヶ崎健大	火山の影響を受けた農地土壌の有機炭素は活性アルミニウムによって安定化される
A04	環境 (A)	研究	気候変動総合	白木秀太郎	熱帯モンスーン地域における水稻再生二期作は貯水池水資源管理の向上に寄与する
A05	環境 (A)	行政	BNIシステム	レオン愛	BNI強化ソルガムの導入によりインドの施肥量削減への貢献が期待される
A06	環境 (A)	研究	環境適応型林業	田中憲蔵	熱帯樹木チークの葉のクロロフィル量は成長速度の指標になる
A07	環境 (A)	研究	環境適応型林業	河合清定	フタバギ科樹木ポット苗の葉の特性から土壌乾燥への応答性を予測
A08	環境 (A)	研究	熱帯島嶼環境保全	濱田耕佑 中村智史	作物栽培条件下の窒素溶脱量抑制には炭化物の表層土壌への施用が有効
A09	環境 (A)	研究	熱帯島嶼環境保全	モハammadシャミムハサン マンダル 諏訪練平	航空機LiDARを用いたマングローブ老齢林バイオマスの推定精度の改善
A10	環境 (A)	研究	持続的土地管理	大西純也 松井佳世	カットソーラー（浅層暗渠）による土壌塩分・pHの改良効果は施工間隔2.5mで高い
A11	環境 (A)	研究		池浦弘	地中パイプの配置・構造の変更によりビニルトンネル内の水蒸気を効率的に回収できる
B01	食料 (B)	研究	レジリエント作物	植田佳明	凍結剤を使用しない植物由来RNAの抽出保存手法を開発
B02	食料 (B)	研究	レジリエント作物	小林安文 藤田泰成	アンデス高地で栽培化された高地型キヌア系統の高精度ゲノム配列情報
B03	食料 (B)	研究	新需要創造	井関洸太郎	ホワイトギニアヤムの早植えはイモの増収を可能にする
B04	食料 (B)	研究	越境性害虫	草野栄一 小堀陽一	インドシナ諸国におけるツマジロクサヨトウ推奨防除手法の体系化と費用要件
B05	食料 (B)	技術	アフリカ稲作システム	辻本泰弘 尾崎諒介	水稻の密植栽培はサブサハラアフリカ低収量水田における増収・増益に有効
B06	食料 (B)	行政	アフリカ稲作システム	尾崎諒介 辻本泰弘	簡易な土壌診断情報の提供がマダガスカルの零細農家の水稻増収と所得増に貢献
B07	食料 (B)	研究	アフリカ稲作システム	高井俊之 アウンソーウー	イネの穂数を増加させる遺伝子MP3は飼料用米品種「北陸193号」を増収させる
B08	食料 (B)	研究	アフリカ畑作システム	井関洸太郎 伊ヶ崎健大	乾燥サバナのママ科作物ではリン鉱石直接施用により化学リン肥料の代替が可能
B09	食料 (B)	研究	アフリカ畑作システム	中川アントレッサ 井関洸太郎	土-石膏混合クラストで種子の出芽能力を簡易に評価
C01	情報 (C)	研究	戦略情報	呉文超	植物肉の栄養・健康面、原料面と環境面の特徴に対する中国消費者の嗜好分析
C02	情報 (C)	技術	実用化連携	マーシーワイルダー	ゴカイ生餌の給餌によるバナメイエビ成熟制御技術の開発
C03	情報 (C)	技術	熱帯作物資源	下田勝久 安藤象太郎	主要普及成果：暖地型イネ科ウロクロア属牧草で初のアジア向け品種「イサーン」の育成と品種登録
C04	情報 (C)	研究	熱帯作物資源	國吉大地	アジアイネとアフリカイネ種間の雑種不稔性は4倍体化により軽減できる
C05	情報 (C)	研究	熱帯作物資源	寶川拓生	エリアンサスの高い水利用効率と関連する葉身代謝物の蓄積
C06	情報 (C)	研究	熱帯作物資源	徳永浩樹	キャッサバモザイク病抵抗性品種の育成を効率化するDNAマーカー

45 年超の長期連用試験から熱帯における畑地土壌炭素貯留効果を算定

タイ農業局が保有する 45 年超の長期連用試験のデータを解析し土壌炭素貯留量を算定した。化学肥料や有機物は単独で施用するより両者を組み合わせることで大きい土壌炭素貯留量が得られる。また、砂質土壌では土壌炭素貯留量の増加は肥沃度の向上に寄与しキャッサバの収量を増加させる。

キーワード：土壌炭素貯留、熱帯湿潤地域、長期連用試験、土壌肥沃度

背景・ねらい

土壌は陸域最大の炭素貯留庫であり、わずかな変動であっても全球の炭素循環に大きな影響を与える。農地土壌における土壌炭素動態の解明には、同一の農地において異なる管理の影響を調査する長期連用試験が重要な役割を果たすが、熱帯湿潤地域においてはその数が限られている。そのため低緯度地域で一般に使用されている農地の土壌炭素動態モデルは、高緯度地域における研究に基づく。本研究では、東北タイのコンケンおよびナコン・ラチャシマ、東タイのラヨーンの3地点で45年にわたり継続している長期連用試験のデータから、化学肥料施用、有機物施用およびその組み合わせが土壌炭素貯留量に与える影響を定量的に示す。さらに、有機物施用、土壌炭素および基礎化学性、キャッサバの収量の関係を構造方程式モデルによって可視化する。

成果の内容・特徴

1. 無施用の対照区と比較した土壌炭素貯留量は化学肥料および作物残渣の還元を単独で行った場合、それぞれ 2.0 ± 2.1 、および 2.8 ± 2.0 ($\text{Mg C ha}^{-1} 0.2 \text{ m}^{-1}$)でありその効果は限定的である（図1）。化学肥料と有機物の施用を組み合わせた場合に土壌炭素貯留量は増加し、化学肥料の施用を作物残渣の還元または堆肥の施用と組み合わせた場合、土壌炭素貯留量はそれぞれ 5.6 ± 3.1 、および 10.1 ± 6.5 ($\text{Mg C ha}^{-1} 0.2 \text{ m}^{-1}$)である。残渣の還元による新鮮有機物に比較して、安定した有機物の画分を多く含む堆肥の施用は土壌炭素貯留を促進する。
2. 粘土質土壌では、化学肥料および有機物施用の土壌炭素濃度への影響は、表層 0–0.2 m および 0.2–0.4 m に集中し、それ以下の深度において有意な影響は認められない（図2）。一方砂質土壌では 1.0 m までの全ての深度において処理の影響は有意である。
3. 有機物の施用は、砂質、粘土質を問わず土壌炭素を増加させる（図3）。また、砂質土壌においては土壌炭素の増加により可給態リン酸濃度や交換性カリウム濃度などの基礎化学性が向上し、キャッサバ収量が有意に増加する。すなわち、有機物施用は砂質土壌の肥沃度と作物収量向上への寄与が期待できる。

一方、粘土質土壌では土壌炭素濃度とキャッサバ収量には有意な関係は認められない。

成果の活用面・留意点

1. 本研究成果は、これまで研究の乏しかった低緯度地域において信頼性の高い土壌炭素貯留量の算定値を提供することにより、熱帯型炭素動態モデルの確立への貢献が期待される。
2. 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では表層から 0.3 m（あるいは耕起深度）までを土壌炭素貯留の算定基準としている。本研究の結果は、砂質土壌においてはさらに下層まで評価することが必要であることを示している。
3. サトウキビやトウモロコシなどその他の主要畑作物における土壌炭素貯留と生産性の関係については検証が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [A1 気候変動総合（第5期）]
研究実施期間：2020～2024 年度
研究担当者：岩崎真也、渡辺武、松本成夫 [国際農研]
Tancharoen S., Luanmanee S., Nobuntou W., Amonpon W., Chumsuwan N., Paisancharoen K., Bumrung S. [タイ農業局]
発表論文等：Tancharoen et al. (2024) Land Degradation & Development <https://doi.org/10.1002/ldr.5310>

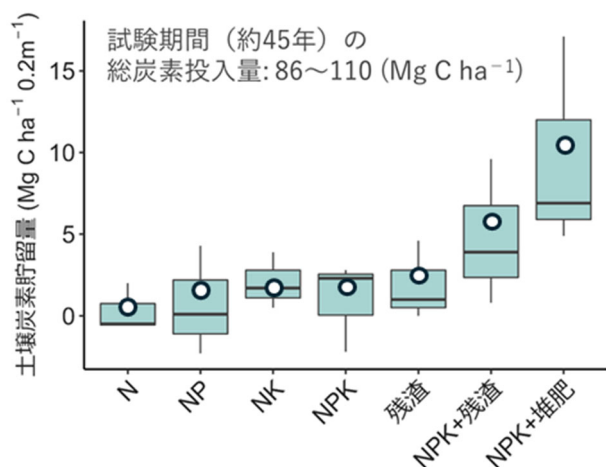


図1 長期連用試験から算定した土壌炭素貯留量

東北タイのコンケンおよびナコン・ラチャシマ、東タイのラヨンにおける45年以上の長期連用試験から算出。土壌炭素貯留量は無施用の対照区との差分を表す。残渣およびNPK+残渣区ではキャッサバの茎葉を収穫後に圃場に還元しその他の処理区では圃場外に持ち出す。箱ひげ図は最大値、第3四分位、中央値、第1四分位および最小値を示す。○は平均値を示す。

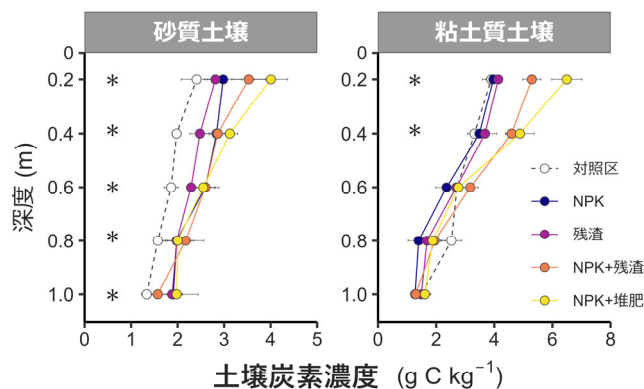


図2 深度別の土壌炭素濃度

2021年に0-0.2、0.2-0.4、0.4-0.6、0.6-0.8および0.8-1.0 mの5深度から土壌を採取し分析に供した。値は平均±標準誤差を示す。*は $p < 0.05$ で処理区間差が有意であることを表す。砂質土壌として東北タイのコンケンを粘土質土壌として東北タイのナコン・ラチャシマでの結果を示す。

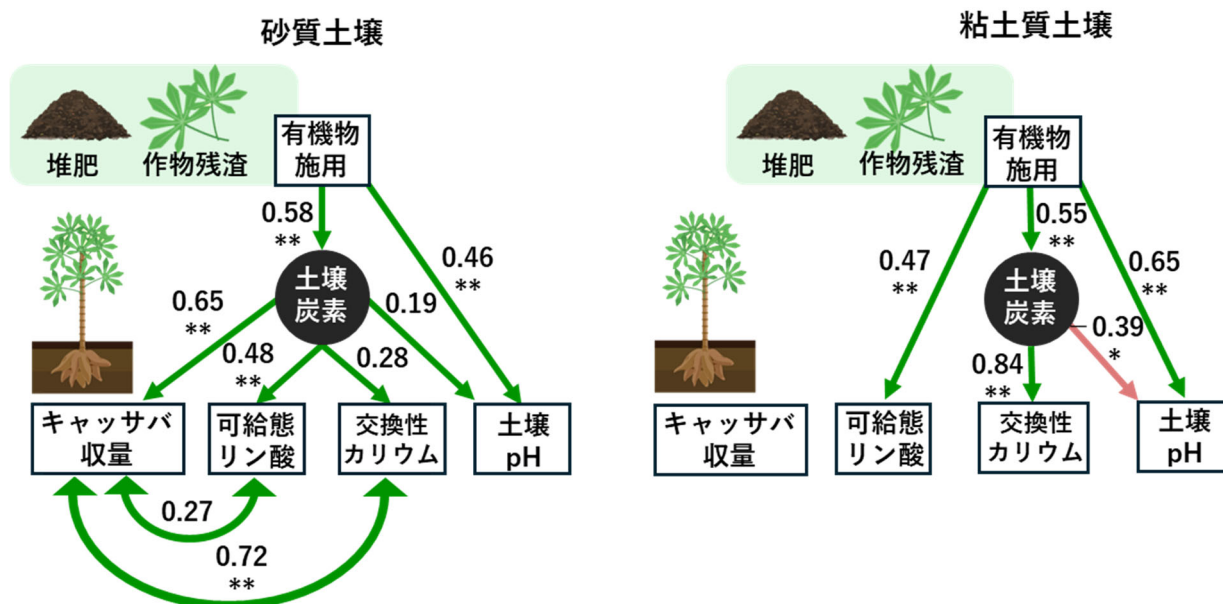


図3 有機物施用および土壌炭素貯留が土壌理化学性およびキャッサバ収量に与える影響

有機物施用、土壌炭素濃度および基礎化学性、キャッサバ収量の関係を構造方程式モデルによって解析。片方向の矢印は因果関係を、両方向の矢印は相関関係を示す。数字は寄与の大小を示す。*および**はそれぞれ $p < 0.05$ および $p < 0.01$ で有意であることを表す。砂質土壌として東北タイのコンケンを粘土質土壌として東北タイのナコン・ラチャシマでの結果を示す。

図は Tancharoen et al. (2024) © John Wiley & Sons Ltd 2024 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

熱帯の低 pH 農地土壌の理化学性と生物性はフィルターケーキ施用により改善される

石垣島のサトウキビ畑に製糖副産物であるフィルターケーキ(FC)を施用すると、低 pH 土壌では物理性および化学性が向上する。また、FC 施用により、低 pH 土壌では大型土壌動物であるミズの現存量も増加するが、中 pH 土壌では減少する。低 pH 土壌での FC 施用は、理化学性の改善に加えて、有機物分解の促進や土壌構造の改変を担うミズの現存量を増加させるため、物質循環や保水性などの土壌機能の向上も期待できる。

キーワード：有機質資材、肥沃度、ミズ、サトウキビ、熱帯島嶼

背景・ねらい

農地土壌での炭素貯留や肥沃度向上のため、有機物の施用が推奨されている。熱帯地域ではサトウキビが広く栽培されており、製糖過程で副産物としてフィルターケーキ(FC)が多量に生成される。この FC を施用した際の土壌や作物収量への効果の検証が求められている。

大型土壌動物の陸棲大型貧毛類（以降、ミズ）は、摂食や坑道の形成により、有機物分解の促進や土壌構造の改変などを通して、土壌中の物質循環や保水性といった土壌の機能を向上させ得る。ミズの生息には土壌 pH が重要な規定要因であり、生息に適した pH は種によって異なることが報告されている。一方、農地における有機物の施用は、餌資源の増加や生息環境の改善をもたらし、ミズの現存量を増加させる可能性がある。

しかし、熱帯のサトウキビ畑において、FC 施用と土壌 pH がミズの種組成や現存量、ひいては農地土壌の機能に与える影響は不明である。そこで本研究では、石垣島の異なる 2 つの土壌 pH（低 pH：<5.2、中 pH：>6.0）を有するサトウキビ畑において、FC 施用が土壌の理化学性、およびミズの種、個体数、現存量に与える影響を評価する。

成果の内容・特徴

1. FC 施用により、低 pH 土壌では容積重と硬度がそれぞれ 6%と 36%低下し、含水率が 1.2 倍上昇することから、物理性の改善が認められる。さらに、可給態リン酸含量、および交換性のカルシウム、カリウム、マグネシウム含量はそれぞれ約 2 倍増加し、陽イオン交換容量も上昇することから、化学性も向上する（表 1）。一方、中 pH 土壌では、FC 施用による物理性の向上は認められず、また可給態リン酸含量は 2.5 倍上昇するものの、土壌 pH、交換性のカルシウムおよびカリウム含量は低下しており、化学性の顕著な改善は認められない。
2. 土壌 pH および FC 施用の有無にかかわらず、ミズは熱帯地域で生息が報告されている *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1856) が優占しており（図 1）、各処理区において出現個体数の約 3~10 割を占める。

- 低 pH 土壌に FC 施用すると、*P. corethrurus* に加え、*Polypheretima elongata* (Perrier, 1872) が出現する。
3. ミズの現存量は FC 施用によって、低 pH 土壌では約 3 倍増加するが、中 pH 土壌では約 8 割減少する（図 2）。
 4. 従って、低 pH 土壌の圃場に FC を施用すると、土壌の物理性・化学性と同時に生物性が向上する。

成果の活用面・留意点

1. 未利用資源である FC の活用により、低 pH 土壌では生物性の改善を通して物質循環や保水性などの土壌機能の向上が期待できる。
2. 今回は一度の FC 施用の結果であるため、今後 FC の連続的な施用の効果、および FC とは化学的性質が異なる有機質資材の施用効果は、別途検証する必要がある。
3. 本研究では、作物収量への影響は評価していないため、今後収量も含めた評価が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [A1 気候変動総合（第 5 期）]、交付金プロ [R4 年度理事長インセンティブ経費]

研究実施期間：2021~2023 年度

研究担当者：荒井見和、伊ヶ崎健大（生産環境・畜産）、寺島義文、安西俊彦（熱帯・島嶼研究拠点）、南谷幸雄（栃木県立博物館）

発表論文等：Arai et al. (2024) *European Journal of Soil Biology* 122: 103645. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2024.103645>

表 1 各 pH の土壌においてフィルターケーキの施用が物理性・化学性に与える影響

土壌 pH	FC 施用	pH (H ₂ O)	EC mS m ⁻¹	容積重 Mg m ⁻³	体積含水率 m ³ m ⁻³	硬度 mm	TC g kg ⁻¹	C:N 比	可給態リン酸 μg kg ⁻¹	Ca ²⁺ cmolc kg ⁻¹	K ⁺ cmolc kg ⁻¹	Mg ²⁺ cmolc kg ⁻¹	CEC cmol(+) kg ⁻¹
低 pH	なし	4.74 (0.21)	6.35 (0.90)	1.22 (0.11)	0.21 (0.01)	12.32 (1.75)	9.69 (2.07)	9.89 (0.63)	115.6 (31.1)	1.74 (0.92)	0.27 (0.02)	0.42 (0.15)	13.22 (0.46)
	あり	4.98 (0.38)	9.40 (2.33)	1.15 (0.14)	0.25 (0.02)	8.63 (0.98)	9.48 (1.55)	9.46 (0.41)	209.7 (21.1)	3.80 (1.39)	0.53 (0.19)	0.78 (0.14)	13.71 (2.65)
	p 値		***	**	**	*		*	***	***	***	***	***
中 pH	なし	6.50 (0.27)	6.76 (1.12)	1.20 (0.02)	0.22 (0.04)	7.40 (1.51)	9.19 (2.33)	9.82 (0.42)	125.7 (19.9)	10.25 (2.55)	0.61 (0.19)	1.33 (0.34)	16.60 (4.06)
	あり	5.54 (0.20)	7.98 (1.27)	1.25 (0.16)	0.24 (0.03)	9.99 (3.13)	11.33 (2.17)	9.88 (0.29)	316.2 (67.6)	5.29 (1.27)	0.46 (0.06)	1.10 (0.13)	15.71 (2.93)
	p 値	***							***	**	***		

土壌 pH が低 pH(<5.2)および中 pH(>6.0)に該当するサトウキビ畑をそれぞれ 3 圃場選定し、さらに各圃場とペアになるようにフィルターケーキ(FC)を施用している近隣の圃場を選定した。FC 施用区は、FC を調査前 18 か月以内にサトウキビの新植栽培開始前に湿重で約 160 t ha⁻¹ 施用した圃場を対象とした。FC：フィルターケーキ、EC：電気伝導度、TC：全炭素含量、C:N 比：炭素:窒素比を示す。陽イオンは全て交換性の値。**p* < 0.05; ***p* < 0.01; ****p* < 0.001 を表す。値は、調査圃場 3 か所の平均値（標準誤差）を示す。

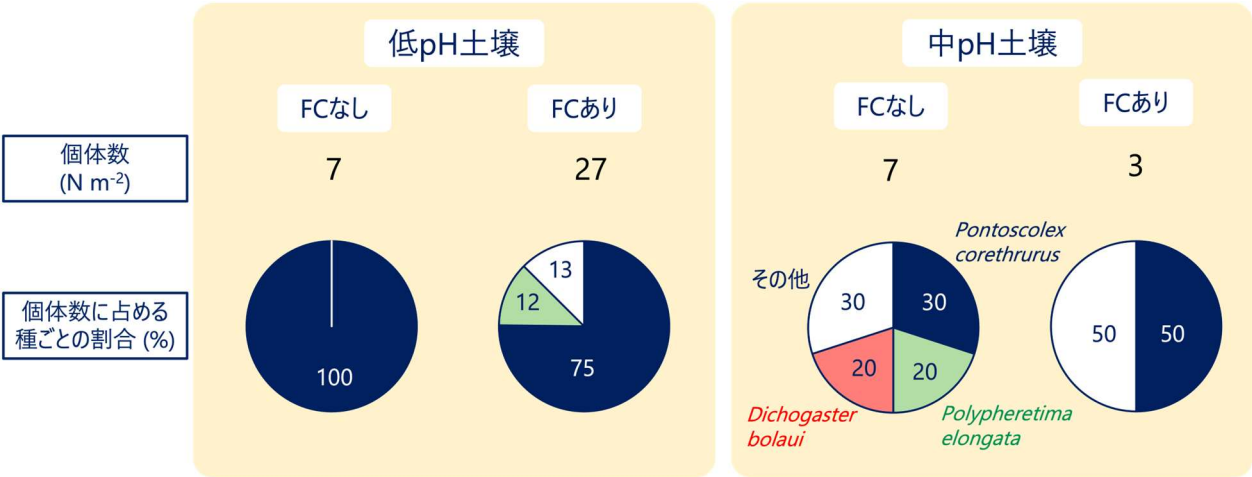


図 1 ミミズの個体数と個体数に占める種ごとの割合

円グラフの上部の数字は個体数(N m⁻²)を、円グラフ内の数字は個体数に占める各種の割合(%)を示す。青： *Pontoscolex corethrurus*, 緑： *Polypheretima elongata*, 赤： *Dichogaster bolau*, その他：断片のため種の同定ができない個体を表す。ミミズは、表 1 に対応する 0~10 cm 深度の土壌では掘り取り調査にて、また 10 cm よりも下層ではマスタード溶液を用いて採集した。

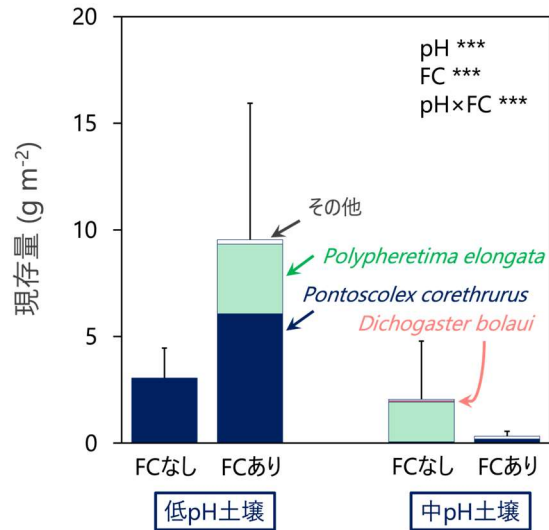


図 2 各 pH の土壌においてフィルターケーキの施用がミミズの現存量に与える影響

図 1 に対応するミミズの種ごとの現存量(g m⁻²)を示す。エラーバーは、3 か所のサトウキビ畑におけるミミズ全種の現存量の標準誤差を示す。***は *p* < 0.05 を表す。

図は Arai et al. (2024) European Journal of Soil Biology 122: 103645 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）。

Copyright © 2024 Elsevier B.V. Masson SAS. 無断転載を禁ず。

火山の影響を受けた農地土壌の有機炭素は活性アルミニウムによって安定化される

熱帯湿潤地域において火山の影響を受けた土壌では、有機炭素含量が粘土＋シルト含量ではなく、酸性シウ酸可溶性アルミニウム（活性AI）含量に規定される。また、70年以上長期連続耕作が行われている農地でも、活性AIによって安定化された土壌中の有機炭素含量は、二次林・屋敷林と変わらない。今後、火山の影響を受けた農地土壌で炭素の長期大量貯留を実現するためには、活性AIで安定化される有機炭素を増やす技術の開発が重要である。

キーワード：炭素貯留、土壌有機物の安定化、活性アルミニウム、長期耕作、非晶質粘土

背景・ねらい

気候変動の緩和と肥沃度の向上のため、農地土壌への炭素貯留が強く求められている。特に熱帯湿潤地域では、高い気温と土壌水分量によって土壌有機物の減耗が激しいことから、農地土壌に効果的に炭素を貯留する農地管理技術の開発が急務となっている。そのため、まず土壌有機炭素の貯留に関わる土壌要因を把握することが不可欠である。

これまでの研究では、熱帯地域での土壌有機炭素の貯留には、粘土＋シルト含量が重要な要因であるとされてきたが、近年酸性シウ酸可溶性アルミニウム（活性AI）による土壌有機物の安定化*の寄与も大きいことが明らかにされた。ここで、活性AIは土壌中の有機-AI複合体および非晶質粘土**の量（いずれも植物には無害）を反映する指標で、火山砕屑物の風化の過程で多く生成される。しかし、熱帯地域では、風化の進んだ活性AI含量が低い土壌を対象とした研究が多く、また異なる土地利用における活性AI含量と土壌有機炭素含量の関係は十分に明らかにされていない。

そこで本研究では、熱帯湿潤地域のフィリピン共和国西ネグロス州において、火山の影響が異なる土壌を、70年以上の長期連続耕作が行われているサトウキビ畑、二次林、屋敷林から採取し（図1）、粘土＋シルト含量および活性AI含量の双方が土壌有機炭素含量に与える影響を評価する。

*土壌有機物の安定化：土壌微生物による分解を受け難くなること。

**非晶質粘土：結晶性の低い粘土の総称。

成果の内容・特徴

1. 土地利用にかかわらず、土壌有機炭素含量は、活性AI含量と高い正の相関を示すが、粘土＋シルト含量との間に正の相関は認められない（図2）。このことは、土壌有機炭素含量が粘土＋シルト含量ではなく、粘土の種類とその量に強く影響を受けることを示す。

2. 活性AI含量と土壌有機炭素含量との回帰直線の切片には、サトウキビ畑とその他の土地利用（二次林＋屋敷林）間で有意差が認められるが、傾きには土地利用間で有意差が認められない（図3）。これは、サトウキビ畑では、耕地化により粒子状有機物***に由来する土壌微生物に比較的分解されやすい有機炭素は減少するものの、活性AIで安定化されている有機炭素は減少しないことを示唆している。

***粒子状有機物：土壌有機物のうち、落葉、枯死根、土壌動物の死骸などを起源とする粗大な有機物。

成果の活用面・留意点

1. 土壌有機物の減耗が激しい熱帯湿潤地域であっても、火山の影響を受けている農地では、活性AIで安定化される土壌有機炭素を増やす技術を開発することで、今後炭素の長期大量貯留を実現できる可能性がある。

2. 上記の技術開発には、活性AIで安定化される土壌有機炭素の変化量に各種要因（土壌中の活性AI含量とその炭素飽和度、施用される有機質資材の化学的な質や量など）が与える影響を評価し、土壌中の活性AI含量とその状態に合った最適な有機質資材の種類と量を解明する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ[A1気候変動総合（第5期）] 研究実施期間：2020～2024年度
研究担当者：荒井見和、伊ヶ崎健大（生産環境・畜産領域）、安西俊彦（熱帯・島嶼研究拠点）、Celestial, V. P.、Tumbay, V. J.、Santillana, S. I.、（フィリピン農業省砂糖統制庁）、和穎朗太（農研機構）
発表論文等：Arai et al. (2025) *Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/00380768.2024.2415455>



図1 各土地利用の様子

フィリピン共和国西ネグロス州のサトウキビ畑、二次林、屋敷林の様子。

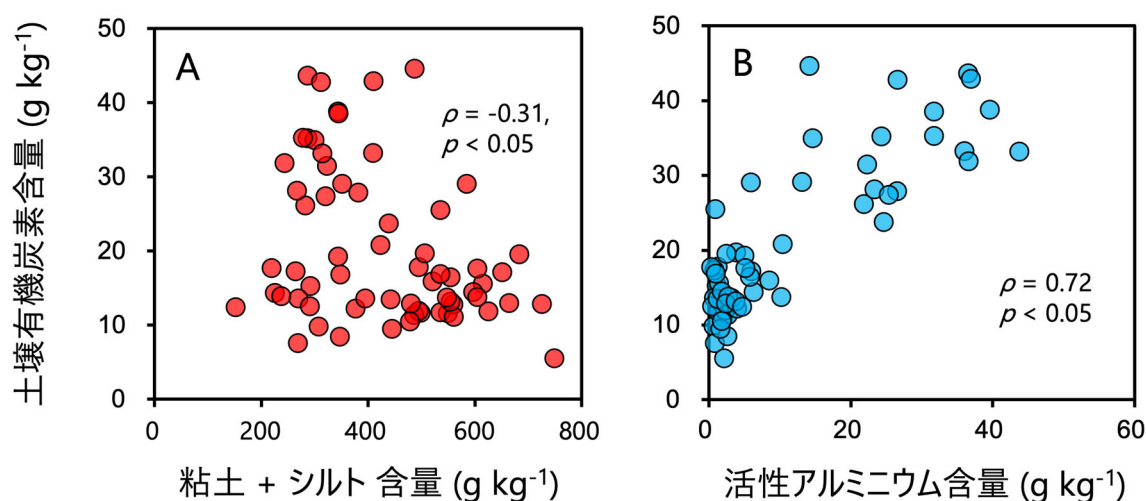


図2 土壌有機炭素含量と粘土+シルト含量(A)、活性アルミニウム含量(B)の関係

スピアマンの順位相関係数 (ρ) とその有意水準を示す。フィリピン共和国西ネグロス州のサトウキビ畑 ($n = 33$)、二次林 ($n = 10$)、屋敷林 ($n = 23$)の土壌表層 0~10 cm を採取し、分析に供した。

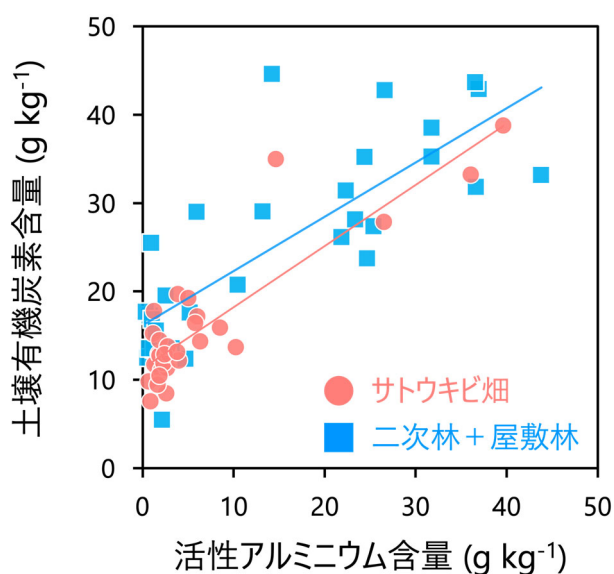


図3 土地利用ごとの活性アルミニウム含量と土壌有機炭素量の関係

人為的な攪乱を強く受けているサトウキビ畑 ($n = 33$; $y = 0.69x + 11.27$, $R^2 = 0.78$, $p < 0.05$) とあまり受けていないその他の土地利用（二次林+屋敷林, $n = 33$; $y = 0.61x + 16.16$, $R^2 = 0.78$, $p < 0.05$) の回帰直線を示す。共分散分析の結果、2つの直線の傾きに有意差は認められないが ($p > 0.05$)、切片には有意差が認められた ($p < 0.05$)。これは、活性アルミニウムで安定化されている土壌有機炭素含量に土地利用間で差がないことを示している。

図は Arai et al. (2024) © The Author(s) 2024 より転載/ 改編して作成

熱帯モンスーン地域における水稻再生二期作は貯水池水資源管理の向上に寄与する

熱帯モンスーン気候下の灌漑地区では、貯水池運用が雨季の降水量に大きく依存し、水利用が不安定になりやすい。貯水池運用シミュレーション分析によると、雨季初頭に作付けを開始する再生二期作は、従来の水稻二期作と比べ、灌漑供給量を最大 51% 削減しつつ、水生産性を 60～87% 向上させる。再生二期作は、水資源が限られる灌漑地区において、安定的な水利用に寄与する作付体系として有望である。

キーワード：再生イネ、水資源管理、水生産性

背景・ねらい

再生イネによる水稻再生二期作*は、育苗、代かき、田植えを省略でき、生育期間が短いため、従来の水稻二期作と比較して、労働力、灌漑水量、資材投入を大幅に削減できる作付システムである。特に、熱帯モンスーン気候下の灌漑地区では、安定的な水利用に貢献する可能性がある。しかし、これまで灌漑地区レベルでその効果は検証されていない。また、水利用が制約される地域では、地域特有の水資源量の変動に応じた灌漑期間や作付面積の適切な調整が不可欠である。

本研究では、熱帯モンスーン気候下で乾季の水利用が制限され、雨季の作付けが優先されるミャンマー・イエジン灌漑地区を対象とし、水稻再生二期作の導入が貯水池運用に及ぼす影響を評価することを目的とする。

*再生二期作：最初の稲の収穫後に株元から再び生えてくる新芽（ひこばえ）を利用し連続してイネを栽培する方法。

成果の内容・特徴

1. 再生イネの蒸発散量を推定するため、2019～2020 年の栽培試験データをもとに作物係数**を定義する。過去 23 年間の水文データを用い、水稻一期作・二期作および再生二期作・三期作の作付パターンと作付面積を考慮した貯水池の水量変動をシミュレーションし、貯水不足率***および信頼性****指標を算定する。さらに、2021～2022 年の栽培試験データ（10 作 4 反復）を基に、収穫日、気象データ（平均値・累積値）、刈取り高を特徴量とした収量予測の機械学習モデルを構築し、シミュレーションで算出した灌漑供給量に基づき水生産性*****を算定する（図 1）。
2. 水稻一期（雨季の作付面積 3,600 ha）では、雨季の始め（6 月上旬）に作付を開始することで、貯水不足を回避しつつ、水生産性 1.5 kg m^{-3} 以上を確保できることを示す（図 2）。また、水稻二期作では、乾季作を 1,400 ha（年間作付面積 5,000 ha 以下）に制限することで、貯水池運用において許容範囲である信頼性 0.8 以上を確保できることを示す（図 3）。
3. 再生二期作では、乾季から作付を開始すると貯水

不足により二期作の継続が困難となる。一方、雨季の始めに作付けを行うと、水供給が一時的に不足する場合があるものの、信頼性 0.8 以上を確保できる。また、従来の水稻二期作と比較して、水生産性を 60～87% 向上させ、貯水池のより効率的な運用が可能（図 3）。

4. 再生三期作を実施するには、作付けを 4 月中旬に遅らせ、年間作付面積を 4,400 ha 以下に縮小して、信頼性 0.8 以上を確保する必要がある。しかし、作付けの遅れにより籾生産量が低下し、水生産性は $0.45 \sim 0.48 \text{ kg m}^{-3}$ と低水準となる（図 3）。

作物係数：標準的な基準蒸発散量に基づき、実際の蒸発散量を推定するためのパラメータ。*貯水不足率：年間必要用水量に対する貯水不足量の割合。****信頼性：総日数に対して供給不足が発生しなかった日数の割合。*****水生産性：作付期間における灌漑供給量当たりの籾生産量。

成果の活用面・留意点

1. 本シミュレーション手法を活用することで、熱帯地域の灌漑水稻作における水不足リスクや水生産性を総合的に評価し、気候変動への適応策として、水資源の持続的利用を目指した作付けおよび灌漑計画を立案することが可能となる。
2. 本手法を他地域に適用するには長期間の水文・気象データに加え、作物や作付面積、土壌の水分保持特性などの情報を収集する必要がある。
3. 再生二期作の実践においては、降雨を避けた適切な収穫時期の調整や、機械収穫時の刈り株踏圧による収量低下を低減する対策が求められる。

その他

予算区分：交付金プロ [A1 気候変動総合（第 5 期）]、外部資金 [科研費 20K20456]

研究実施期間：2021～2024 年度

研究担当者：白木秀太郎（農村開発領域）、Kywae, Nwe, N., Thin, M.C., Aung, K.T.（ミャンマー農業研究局）

発表論文等：Shiraki et al. (2025) *Agric Water Manage.* <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109251>

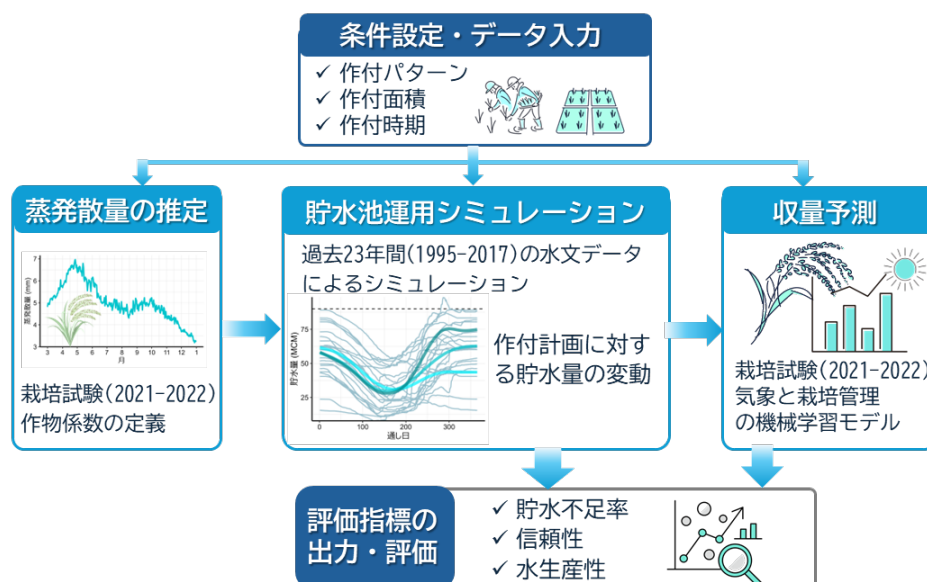


図1 シミュレーション分析を用いた水稻作付パターンに対する貯水池運用の評価

現地では雨季作（最大作付面積 3,600ha）が優先され、乾季作の作付面積は乾季初頭の貯水量に応じて調整される。貯水池運用シミュレーションでは、実際の灌漑面積に対する灌漑供給量の関係に近似させるため、灌漑効率パラメータが校正される。

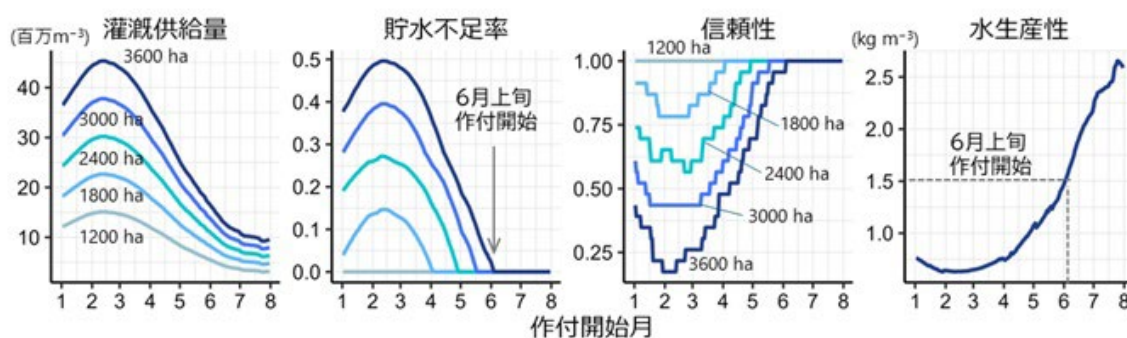


図2 水稻一期作における作付開始日および作付面積の違いが貯水池運用に及ぼす影響

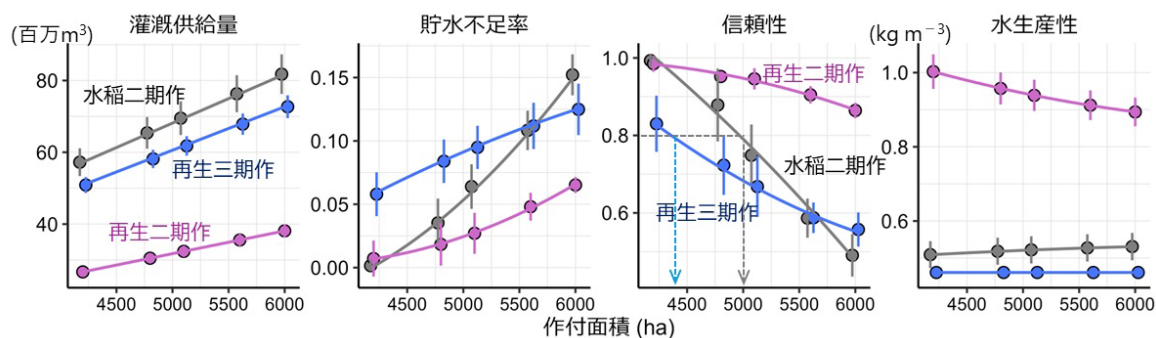


図3 水稻二期作および再生二期作・三期作における貯水池運用と水生産性の評価

各作付パターンの作付開始時期は図1の「条件設定」に基づき、水稻二期作は乾季と雨季の二期作、再生二期作は雨季からの連続二期作、再生三期作は乾季からの連続三期作。

図は Shiraki et al. (2025) © The Author(s) 2025 より転載/改編して作成

BNI 強化ソルガムの導入によりインドの施肥量削減への貢献が期待される

生物的硝化抑制(BNI)強化作物は少ない窒素肥料で高い生産性を可能にする。開発中の土壌の硝化抑制率 30%の BNI 強化ソルガムがインドの農家へ導入された場合、窒素施肥量はラビ（乾期）作とカリフ（雨期）作ではそれぞれ 8.0%と 7.4%削減と試算される。この条件では、面積当たりと収量当たりライフサイクル温室効果ガス(LC-GHG)排出量をラビ作で 15.6%とカリフ作で 11.2%削減可能と推定される。また、農家利益を微増させ、ラビ作では肥料補助金支出 9.1%削減が期待される。

キーワード：生物的硝化抑制、窒素施肥、温室効果ガス、農家利益、肥料補助金

背景・ねらい

インド政府は国民の安定的な食料生産を確保するために、尿素（窒素含量 46%）に多額の補助金を提供している。これにより、農家は大量の尿素を使用し、生産量は増加する。しかし、この結果として水質汚染と一酸化二窒素（ N_2O ）排出量が深刻化し、さらに窒素以外の肥料成分の投入が少ないため、収量に影響を与えている。加えて、エネルギー価格の上昇と穀物の需要増加により肥料価格が高騰し、政府の補助金支出が増加して財政を圧迫している。

本研究は、インド最大のソルガム生産地であるマハラシュトラ州を対象とし、土壌の硝化抑制率 30%を目標として開発されている BNI 強化ソルガムの導入によるメリットを評価する。そのため、収量を低減させずに窒素施肥量を低減される場合と収量を増加させ窒素施肥量を維持する場合のライフサイクル温室効果ガス(LC-GHG)排出量、農家の利益、窒素施肥量および現行制度によりインド政府から支出される肥料補助金を算定する。

成果の内容・特徴

1. ライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment)手法を用い、農業資材および機械の製造から整地・栽培・収穫までの各段階で発生する GHG の総排出量を LC-GHG として評価する。農家の利益は、各生産管理で発生する農業資材、農機具、燃料、賃金などを含む生産費と売上に関するデータを用いる（図 1）。
2. 2020～2021 年のラビ作（栽培時期：11 月～4 月）に 250 戸と 2022 年のカリフ作（栽培時期：6 月～10 月）に 209 戸のソルガム栽培農家を対象に調査を実施し、分析の基礎データとする。
3. BNI 強化ソルガムの導入により、収量を低減させずに窒素施肥量を低減した場合、一般に普及しているソルガムを導入したソルガム畑（硝化抑制率 0%）と比較して、窒素施肥量、LC-GHG 排出量および政府からの肥料補助金支出が顕著に減少し、農家利益は微増することが期待される（図 2、左）。

4. 一方で、農家調査では、少ない窒素施用量でも収量が変わらない BNI 強化ソルガムを生産したとしても、補助金支出のある窒素肥料の施肥量を削減しないと回答が多く、そのため窒素施肥量を変えないシナリオでのメリットについても算定を行う。
5. その結果、施肥量を削減しない場合でも、一般に普及しているソルガムを導入したソルガム畑（硝化抑制率 0%）と比較して、ラビ作では面積・収量当たり LC-GHG 排出量はそれぞれ 11.3%と 13.5%削減し、カリフ作ではそれぞれ 8.1%と 10.2%削減すると算定される。一方で、収量はラビ作とカリフ作ではそれぞれ 2.5%と 2.4%、農家の利益は 4.9%と 6.5%増加すると試算される。しかし、政府の肥料補助金支出は減少しない（図 2、右）。

成果の活用面・留意点

1. 窒素施肥量が多い地域では使用量を削減し、窒素施肥量が少ない地域では使用量を変えずに導入することで、持続可能な農業システムの構築に貢献することが期待される。
2. 本研究は、肥料補助金が多いインドの一つの州の農家調査に基づいて得られた結果であり、肥料補助金が少ない国や地域では結果が異なる可能性がある。各国で様々なシナリオに基づいた事前評価を実施する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [A3 BNI システム（第 5 期）]

研究実施期間：2021～2024 年度

研究担当者：レオン愛（社会科学領域）、Nedumaran, S. (I CRISAT)

発表論文等：Leon and Nedumaran (2024) *Sci. Total Environ.* 23: 177385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177385>

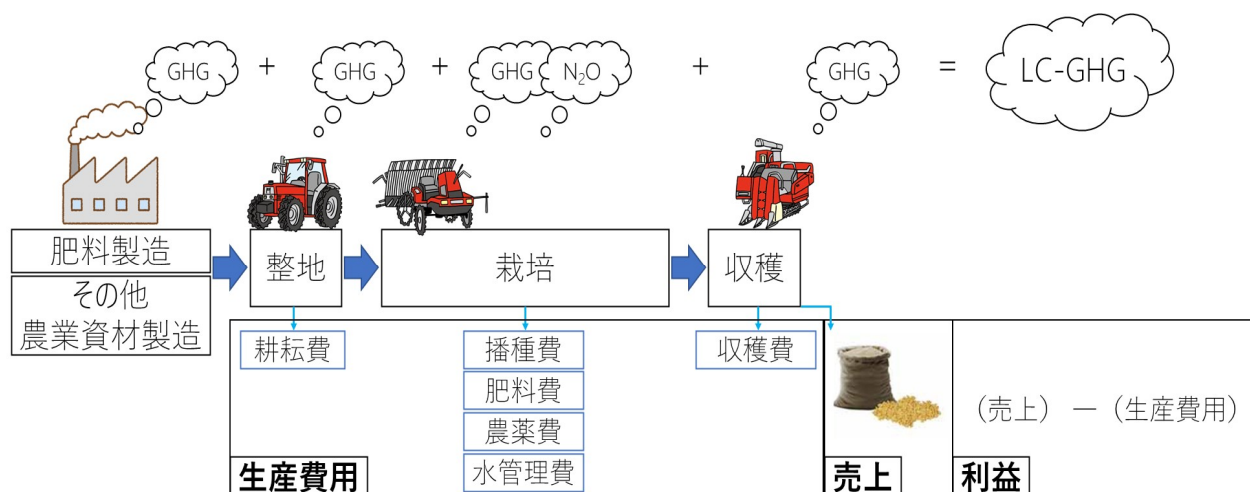


図1 農家データを用いたライフサイクル温室効果ガスと農家利益の計算の概念図

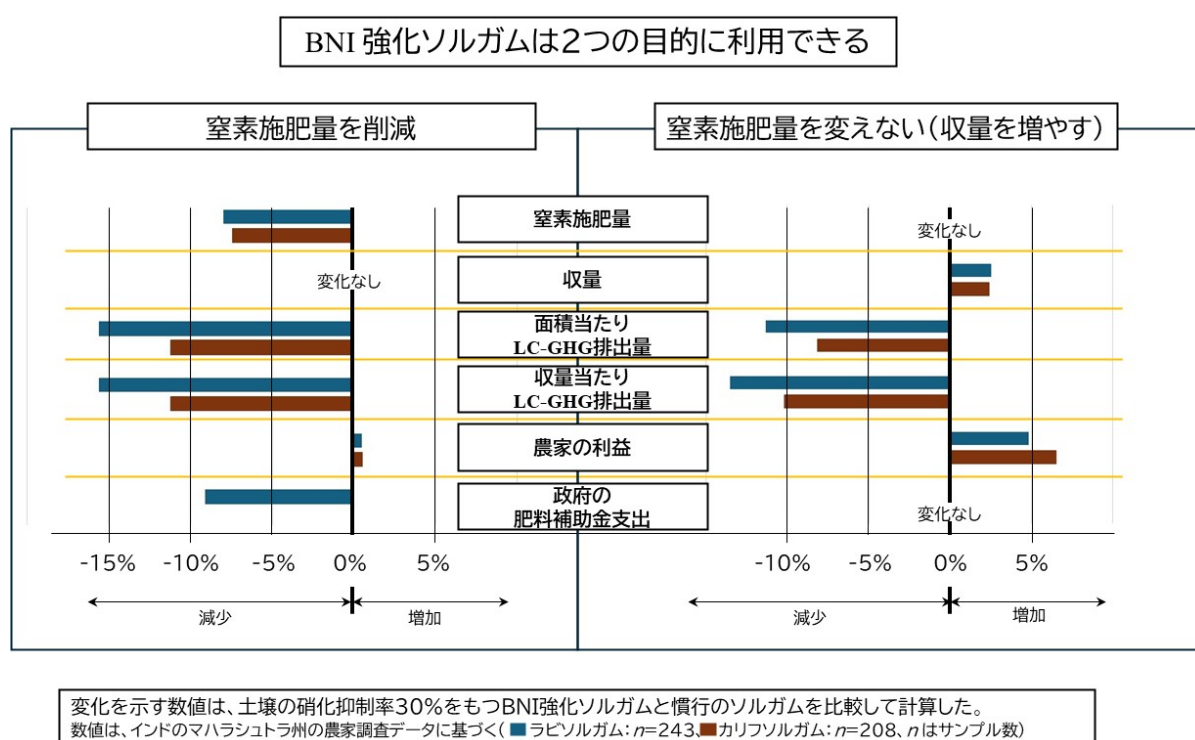


図2 BNI 強化ソルガムが窒素施肥量、収量、面積・収量当たり LC-GHG 排出、農家の利益、政府の肥料補助金支出へ及ぼす影響

図は Leon and Nedumaran (2024) © The Author(s) 2024 より転載・改変して作成

熱帯樹木チークの葉のクロロフィル量は成長速度の指標になる

チークは熱帯林の重要な木材資源で市場価値が高く安定した供給が求められるが、同一の人工林内でも個体間で成長の差が大きい。チークの葉のサイズや窒素量などの特性は同じ林内の個体間で差が大きく見た目も異なるが、葉のクロロフィル量は個体の直径や樹高成長速度と相関がみられ、成長の指標となる。

キーワード：高級材、収穫予測、チーク、熱帯林、葉緑素

背景・ねらい

チーク(*Tectona grandis*)は、タイやインドなど熱帯アジア原産の樹木で、材質に優れ成長も早いいため、アジアだけでなく中南米やアフリカ熱帯でも植林され、高級家具材や内装材としての需要が高い。熱帯アジアの天然林ではチーク原木の乱伐が進んだため資源が枯渇し、人工林からの木材供給が主流になっているが、個体間での成長のばらつきが大きく、将来の収穫量予測や植栽不適箇所を判定するための簡便な指標が求められている。

光合成器官である葉のサイズや色素量といった様々な特性は光合成を左右するため、樹木の成長量と関係している可能性が高い。例えば、クロロフィル（葉緑素）は、葉に当たった光のエネルギーを取り込む色素であり、これが不足すると光合成が低下し、成長が制限される。個体間での成長の違いを、葉の特性から簡便に推定できれば、収穫量の予測精度の向上や、生育不良箇所の迅速な特定とその要因解明につながる。しかし、樹種によって成長に関係する葉の特性が異なることが報告されているため、樹種ごとに調べる必要があるが、チークでは知見がほとんどない。

本研究では、チークの直径・樹高成長速度と、光合成に関連する葉の特性（個葉面積、葉面積当たりの葉重(LMA)、窒素量、クロロフィル量）との関係について検討する。

成果の内容・特徴

1. 植栽後14年から46年経過したマレーシアの4つの州の人工林で、チークの樹高と直径を測定する。チークは同じ人工林内でも個体間で直径や樹高は大きく異なる（図1）。
2. 樹冠上部の陽葉を採取し、個葉面積やSPAD値*で指標化したクロロフィル量（以降クロロフィル量と表記）、窒素量、LMAを比較する。葉の特性は同じ林

内の個体間で差が大きく、見た目でも異なる（図2）。

3. 葉のクロロフィル量は、直径や樹高成長速度と正の相関を示すことから、クロロフィルが多い個体は成長速度も高いことが示唆される（図3）。
4. クロロフィル量と異なり、葉の窒素量や個葉面積など他の葉の特性と成長速度には相関がほとんどみられない。さらに重回帰分析で、全林分の葉の特性と成長の関係を解析すると、クロロフィル量が最も樹高と直径の成長に影響を与えている（表1）。

*SPAD値：光学機器を用いて葉の分光特性からクロロフィル量を測定した指標値。

成果の活用面・留意点

1. チークの葉のクロロフィル量を成長の指標とすることで、ドローンや人工衛星などによるリモートセンシング技術を使った人工林の広域的な木材収穫量の予測精度の向上や、生育不良箇所の特定に利用できる。
2. 本成果はマレーシアの4つの州のチーク人工林を対象としたが、気候や土壌特性が大きく異なるアフリカや中南米などのチーク人工林、遺伝的に大きく異なるチークの品種や苗木の段階でも同様の結果が得られるかの確認を行うことで、林木育種などにも利用できる知見となる。

その他

予算区分：交付金[A4環境適応型林業（第5期）]、外部資金[科研費23K05323]
研究実施期間：2021～2024年度
研究担当者：田中憲蔵（林業領域）、米田令仁（森林総研）、Azani, M.A.（マレーシアプトラ大）
発表論文等：Kenzo et al. (2024) *Tropics*. 33: 73-85.
<https://doi.org/10.3759/tropics.MS23-06>

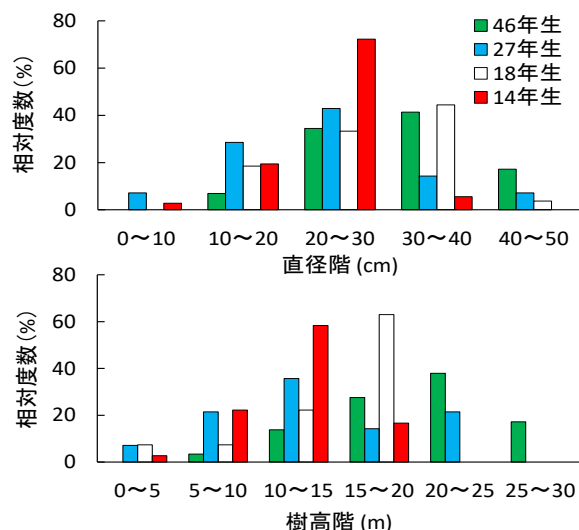


図 1 調査した人工林の樹高と直径の頻度分布

同一林分内の個体間でも樹高と直径はばらつく。異なる棒グラフの色は人工林の林齢を表す。



図 2 同じ人工林から得られた樹冠上部の陽葉

それぞれの葉は別の個体である。個体間で葉のサイズや色が異なる。濃い緑色の葉はクロロフィルが多い。

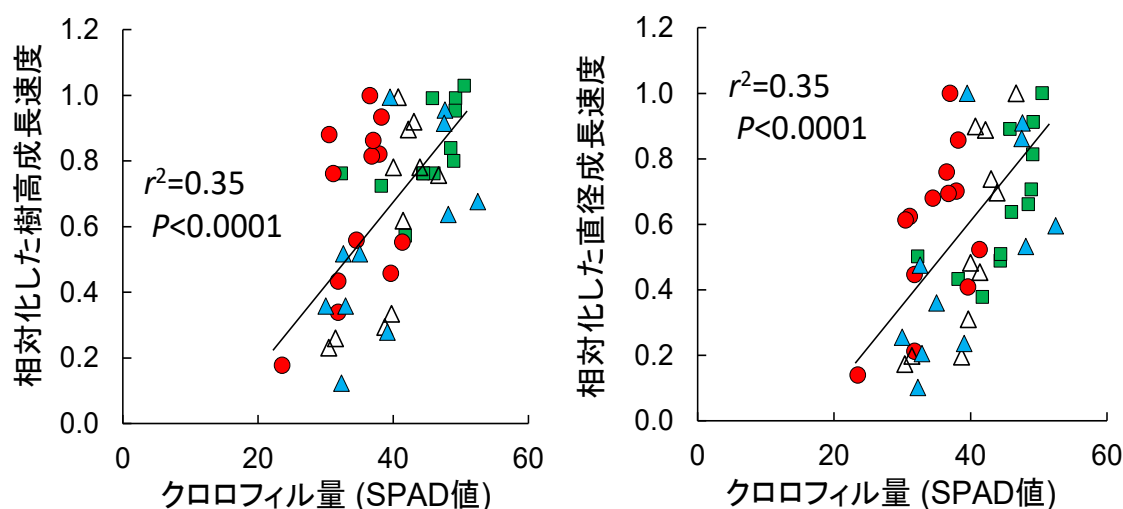


図 3 クロロフィル量と樹高（左）と直径（右）成長の関係

樹高と直径の成長速度は葉の SPAD 値で示されたクロロフィル量と正の相関をもち、葉のクロロフィルが多い個体ほど成長が良いことが分かる。シンボルの色は図 1 と同じ林齢を、実線は全データをプールした時の回帰直線を示す。

表 1 チークの葉の特性と樹高と直径成長の重回帰分析の結果

成長速度の説明変数	相対化した樹高成長速度	相対化した直径成長速度
窒素量	0.177	0.184
クロロフィル量 (SPAD 値)	0.475**	0.561**
個葉面積	0.249	0.174
葉面積当たりの葉重	-0.044	-0.001
林齢	0.057	-0.153

葉のクロロフィル量は、相対化した樹高成長速度、直径成長速度に正の効果をもつが、葉の窒素量、個葉面積、葉面積当たりの葉重や林齢との関係はみられない。数値は標準化係数、**は有意確率 $p<0.01$ であることを表す。

図表は Kenzo et al. (2024) より CC-BY4.0 に従い改変して作成

© Japan Society of Tropical Ecology <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>

フタバガキ科樹木ポット苗の葉の特性から土壤乾燥への応答性を予測

東南アジアの重要な木材資源であるフタバガキ科樹木 8 種のポット苗において、土壤乾燥への応答性と葉の水利用特性には種間差が認められる。葉の特性は、種多様性が高いフタバガキ科樹種において、乾燥応答の簡便な指標になり、気候変動に適応的な有用樹種の探索に活用できる。

キーワード：乾燥耐性、気候変動適応、フタバガキ科樹木、マレーシア、熱帯造林

背景・ねらい

東南アジアの湿潤熱帯地域は世界でも有数の林業生産を誇るが、気候変動にともなう乾燥化により、生産性が低下することが危惧されている。そのため、植林木の乾燥耐性の向上による気候変動適応策の実施が急務である。同地域において重要な木材資源であるフタバガキ科樹木には 470 以上の種が存在し、乾燥に適応な有用樹種が存在する可能性がある。しかし、個々の樹種の乾燥耐性やその指標となる特性が不明であり、樹種転換による気候変動適応を進める上で課題となっている。フタバガキ科樹木は、異なる樹種が数年に一度、一斉に開花・結実する繁殖特性を有し、種子のサイズは樹種間で大きく異なるため、同齢だがサイズが異なる状態でポット苗として育苗されるのが一般的である。したがってこの状況に合わせた、乾燥耐性の評価手法の確立が不可欠である。本研究では、多様な林業樹種における乾燥耐性の簡便な予測を目指し、分布する環境や形態特性が大きく異なるフタバガキ科樹木 8 種のポット苗について、かん水を停止する土壤乾燥実験により、樹種間の乾燥応答の違いを評価し、指標となる特性を検討する。

成果の内容・特徴

1. 温湿度と光条件を一定に制御した人工気象室内で、かん水の停止により人工的に土壤を乾燥させる。同齢のポット苗において、乾燥下での生存に関わる特性（葉の光合成特性としおれ度合い）の変化を調べ（図 1）、樹種ごとの乾燥に対する応答性を定量化する。土壤乾燥の指標として、現場でも簡便に測定が可能な土壤水ポテンシャル値を用いた。
2. 樹種によらず、土壤乾燥の初期に気孔コンダクタンス*が低下し、次に電子伝達速度**が低下する。また、最大量子収率***の低下と葉のしおれはほぼ同じタイミングで起こる（表 1）。

3. 気孔コンダクタンス、電子伝達速度およびしおれ度合いの土壤乾燥に対する応答性には樹種間差がある（表 1）。
4. 個葉の乾燥ストレス回避特性は、電子伝達速度およびしおれ度合いの土壤乾燥への応答性と関係し（図 2）、樹種ごとの乾燥耐性の指標となる。

*気孔コンダクタンス：気孔を通じた二酸化炭素の拡散のしやすさを表し、環境条件が一定なら光合成速度と正に関係する。

**電子伝達速度：光合成光化学系 II のクロロフィルにおける光化学反応の効率を表し、環境条件が一定なら光合成速度と正に関係する。

***最大量子収率：光合成光化学系 II のクロロフィルが吸収した光子当りの光化学反応の最大の効率を表し、値が低いほど光化学系 II が光阻害により失活していることを示す。

成果の活用面・留意点

1. 多様な林業樹種を含むフタバガキ科樹木のポット苗において、葉の特性は土壤乾燥応答の簡便な指標になる。このことから葉の特性を調べることで、乾燥耐性が高い有用樹種を効率的に探索でき、人工林において樹種転換による気候変動適応策に活用できる。
2. 温湿度と光条件を一定に制御した環境下での若いポット苗を対象に得られたものであり、これらの環境条件が時空間的に変動する植林地および成木での妥当性については検証が必要である。

その他

予算区分：交付金 [A4 環境適応型林業（第 5 期）]

研究実施期間：2021～2024 年度

研究担当者：河合清定（林業領域）、Ng, K.K.S., Lee, S.L.（マレーシア森林研究所）

発表論文等：河合ら（2025）半島マレーシアにおいて分布降水量が異なるフタバガキ科樹 8 種における土壤乾燥応答と形質の関係 *関東森林研究* 76(1): 81–84.

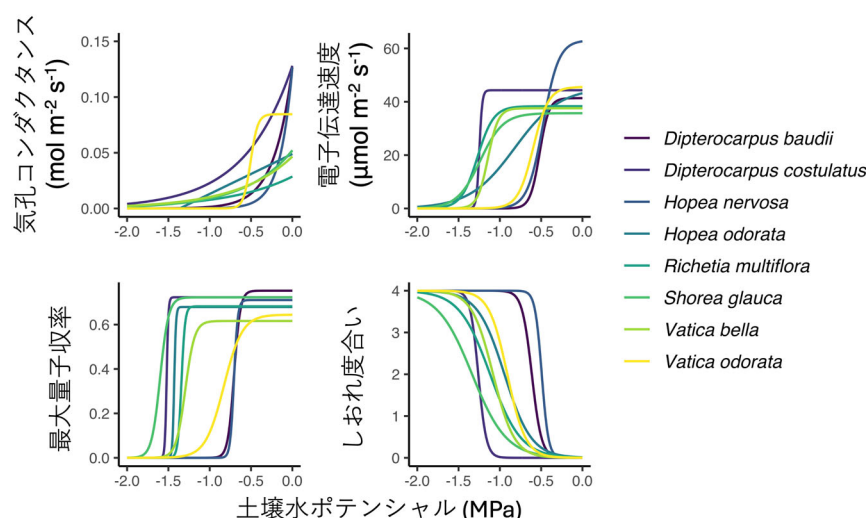


図1 土壌乾燥による光合成の低下としおれの進行

土壌水ポテンシャルの絶対値が大きいくほど乾燥ストレスが大きい。気孔コンダクタンスが大きく、電子伝達速度が高いほど光合成速度が高く、最大量子収率が低いほど光合成系が損傷している。しおれ度合いが大きいくほどしおれが著しいことを示す。色の異なる線は異なる種を表す。

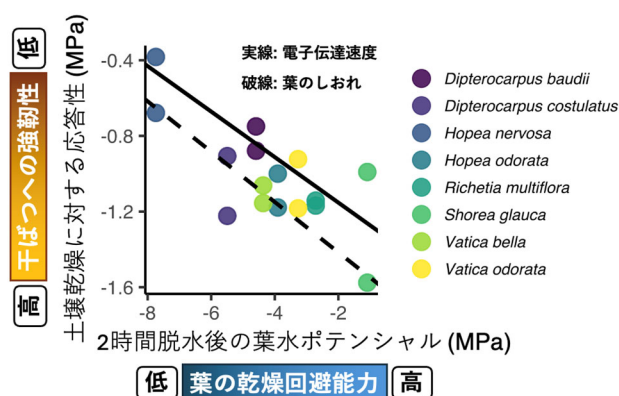


図2 土壌乾燥に対する応答性と葉の乾燥ストレス回避特性の関係

「土壌乾燥に対する応答性」の絶対値が大きいくほど乾燥ストレスに対する変化が小さく、乾燥耐性が高いことを示す。「2時間脱水後の葉水ポテンシャル」の絶対値が小さいほど受けている乾燥ストレスが小さく、乾燥回避能力に優れることを示す。色の異なる点は異なる種を表し、実線は電子伝達速度、破線は葉のしおれの傾向を示す。

表1 葉の光合成特性としおれ度合いの土壌乾燥に対する応答性

樹種	葉の特性			
	気孔コンダクタンス	電子伝達速度	最大量子収率	葉のしおれ
<i>Dipterocarpus baudii</i>	-0.21 ^a	-0.75 ^{ab}	-0.95	-0.88 ^{ab}
<i>Dipterocarpus costulatus</i>	-0.38 ^{ab}	-0.91 ^{ab}	-1.32	-1.22 ^{ab}
<i>Hopea nervosa</i>	-0.22 ^{ab}	-0.38 ^a	-0.84	-0.68 ^a
<i>Hopea odorata</i>	-0.67 ^{ab}	-1.00 ^{ab}	-1.34	-1.18 ^{ab}
<i>Richetia multiflora</i>	-0.26 ^{ab}	-1.14 ^b	-1.34	-1.17 ^{ab}
<i>Shorea glauca</i>	-0.25 ^{ab}	-0.99 ^{ab}	-1.54	-1.58 ^b
<i>Vatica bella</i>	-0.37 ^{ab}	-1.06 ^b	-1.26	-1.16 ^{ab}
<i>Vatica odorata</i>	-0.70 ^b	-0.92 ^{ab}	-1.04	-1.18 ^{ab}
平均値	-0.38 ^A	-0.75 ^B	-0.95 ^C	-0.88 ^C

数字の単位は全て MPa であり、絶対値が大きいくほど乾燥ストレスに対する変化が小さく、乾燥耐性が高いことを示す。小文字のアルファベットは樹種間での、大文字のアルファベットは特性間での統計的有意差 ($p < 0.05$) を表す (Tukey test)。

図表は河合ら(2025)©関東森林学会より転載/改変して作成
(転載/改変許諾済み)

作物栽培条件下の窒素溶脱量抑制には炭化物の表層土壌への施用が有効

土壌への炭化物の施用深度の違いにより施肥由来の硝酸態窒素溶脱量は変化する。作物栽培条件下では表層施用により溶脱量が 12.3%減少する一方、作土層施用では 6.4%増加する。本試験の条件において表層施用では、無施用と比較して深さ 0~30 cm の土壌における窒素吸着量増加と乾燥状態の軽減が見られる。炭化物を適切な深度に施用することで、環境負荷軽減が期待される。

キーワード：バガス炭、硝酸態窒素、パイプ試験、窒素溶脱、土壌乾燥状態

背景・ねらい

ハーバー・ボッシュ法による窒素肥料の大量生産は食料増産を可能にしたが、同時に未利用窒素の溶脱による河川・地下水の汚染や N_2O の放出など深刻な環境問題を引き起こしている。持続可能な農業を実現するために、窒素溶脱抑制技術開発が求められている。

畑地への炭化物施用は窒素溶脱を軽減する手法として知られており、施用量の最適化は進んでいるが、施用深度に関する評価は十分行われていない。これまでに作物のない条件でパイプ試験を実施し、炭化物の施用深度の窒素溶脱量への影響を評価した。この中で、作土層への炭化物施用により、排水量と窒素溶脱量が減少することを確認した（令和 5 年度成果情報 A07）。これを踏まえ、本研究では作物栽培条件下での結果の再現性を検証するため、陸稲栽培条件下で同様のパイプ試験を実施し、炭化物の施用深度の違いが窒素溶脱量に与える影響を明らかにする。

成果の内容・特徴

1. 共試土壌（国頭マージ、 $\text{pH}=5.25$ ）を塩化ビニル製パイプに充填し、 800°C 作成の市販バガス炭（粉体）を表層（0~5cm）、作土層（0~30cm）、下層（25~30cm）に混ぜ込む。陸稲（NERICA4）を一株移植し、粉体の硫酸アンモニウムと表面灌漑を定期的に施用し栽培する（図 1）。
2. 試験期間中のパイプからの硝酸態・アンモニア態窒素溶脱量をバガス炭無施用条件と比較する。パイプ下端からの窒素溶脱量は、炭化物の施用位置により異なる（図 2）。表層施用では無施用に比べ、硝酸態窒素溶脱量が 12.3%減少する（ $p<0.05$ ）。作土層施用では硝酸態とアンモニア態窒素の溶脱量がそれぞれ 6.4%（ $p<0.05$ ）、164.1%（ $p<0.01$ ）増加する。下層施用ではいずれにも有意な変化は認められない。作物のない条件では作土層施用で溶脱軽減効果が高かったが、本試験の結果はこれと異なる。
3. 深さ 10 cm に設置した土壌水分センサーの値に土壌物理性（保水性）を適用し、土壌が水分を保持する力である pF に変換する（図 3 左）。表層施用では土

- 壌の乾燥状態が軽減する傾向にあるが、作土層施用では深さ 10 cm において乾燥状態が強まる。作物根の根長密度は表層施用では全深度で高いが、作土層施用では土壌表層で低くなる傾向にある（図 3 右）。
4. 試験終了後の土壌の吸着態窒素量の実測値を用いて、パイプ内全層の吸着態窒素量を推定する（表 1）。表層施用では、土壌に吸着された硝酸態・アンモニア態窒素 186 mg のうち 75% は深さ 0~30 cm に存在する。作土層施用では土壌に吸着された硝酸態窒素の半分以上が 30~95 cm に存在する。
 5. 炭化物施用による排水量および窒素溶脱容量の低減効果は、作物が存在しない条件では作土層施用が最も高かったが、作物栽培条件下では表層施用が最も効果的である。作物栽培条件下において表層施用を行うと、深さ 0~30 cm の土壌の乾燥状態が緩和され、窒素吸着率が向上し、根長密度も増加する。一方、作土層施用では、表層施用と比較して土壌の乾燥が進み、根長密度が低い傾向にあり、その結果、無機窒素の土壌への吸着および作物による吸収が減少すると考えられる。

成果の活用面・留意点

1. 炭化物を表層土壌へ施用する場合、硝酸態窒素溶脱量が軽減する傾向にある。これは環境負荷軽減を目的として炭化物を利用する際の参考情報となる。
2. 窒素溶脱の軽減にともない、化学肥料の使用量を削減できる可能性があるが、別途栽培試験などで評価する必要がある。
3. 本試験は単一の土壌、炭化物を使ったパイプ試験であるため、異なる土壌、原料や生成温度の異なる炭化物での圃場試験による評価が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [A5 熱帯島嶼環境保全（第 5 期）]
研究実施期間：2022 年度
研究担当者：濱田耕佑、國吉大地（熱帯・島嶼研究拠点）、中村智史（生産環境・畜産領域）
発表論文等：Hamada et al. (2024) *Sci. Rep.* 14: 22823.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-73621-3>

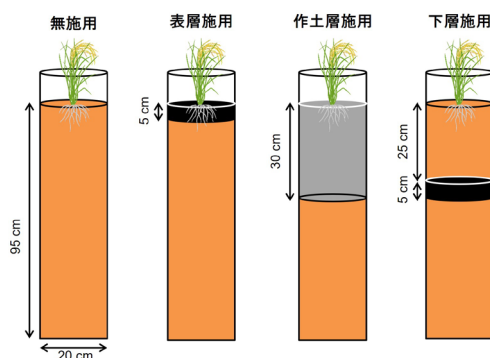


図1 各条件の概要

各5反復で試験を実施。施用した炭化物量は各条件で同量だが、含有率は施用条件で異なる。図中の黒色は炭化物含有率が高いことを、灰色は炭化物含有率が低いことを示す。

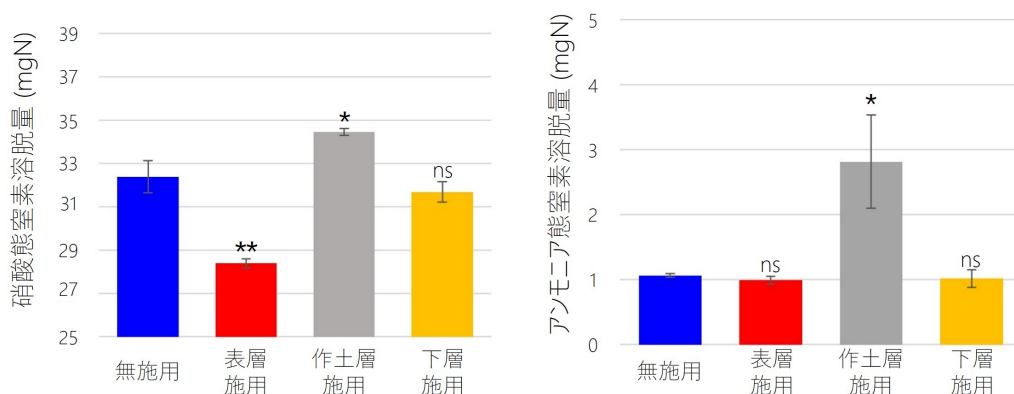


図2 パイプ下端からの硝酸態窒素（左）およびアンモニア態窒素溶脱量（右）

**、*および ns は無施用条件との有意差 ($p < 0.01$ および $p < 0.05$) または有意差がないことを示す。エラーバーは標準誤差。

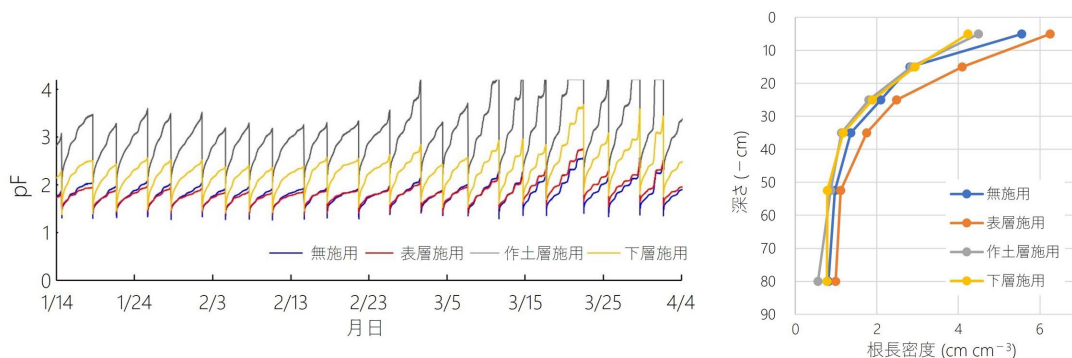


図3 深さ10 cmにおける土壌水分保持力(pF)の変化（左）と根長密度分布（右）

pF3以上で土壌の乾燥状態は強まり、根による水分・養分吸収が低下する。根長密度は深さ0~10、10~20、20~30、30~40、40~65、65~95 cmにおける値を示す。根長密度が高いほど、根による水分・養分吸収能力が高い。

表1 土壌に吸着した無機態窒素の推定値

	無施用	表層施用	作土層施用	下層施用
土壌中窒素量(mg)				
深さ0-30 cm合計	87	161	126	116
硝酸態窒素	17	31	12	19
アンモニア態窒素	70	131	114	97
深さ30-95 cm合計	27	25	38	25
硝酸態窒素	17	9	18	13
アンモニア態窒素	10	16	20	12

図表は Hamada et al. (2024) © The Author(s) 2024 より転載/改変して作成

航空機 LiDAR を用いたマングローブ老齢林バイオマスの推定精度の改善

フィリピンの広範囲をカバーする国レベルの航空機 LiDAR データを用いたフィリピンのマングローブ老齢林のバイオマス推定式を開発した。開発した式により、従来式と比較して、大径木に特徴づけられる老齢林では推定精度の改善が可能となる。従来式は、LiDAR データを林冠高に変換して、さらに林冠高をバイオマスに変換する必要があった。開発した式は、LiDAR データから直接的にバイオマスを推定する。

キーワード：マングローブ、航空機 LiDAR、地上部バイオマス、リモートセンシング、フィリピン

背景・ねらい

マングローブ林の炭素蓄積量を評価するためには、マングローブ林のバイオマスのモニタリングが不可欠であり、炭素循環の解明や気候変動研究を行う上で非常に重要である。しかし、マングローブ林は地域によって種の構成や樹木の高さなどが大きく異なるため、一般的な推定式では地上部バイオマスが過小評価されるなどの問題が生じる。

LiDAR (Light Detection and Ranging) はレーザー光を対象物に照射し距離や形状を測定する技術であり、これによりマングローブ林のバイオマスを非破壊的かつ広範囲に推定することが可能である。LiDAR データの利用は、広範囲を比較的短時間でカバーできることから、ブルーカーボンや気候変動の観点からマングローブの炭素量やバイオマスを推定する上で重要である。

マングローブ老齢林は、幹の胸高直径が大きい樹木が多く、従来の方法では正確な地上部バイオマスが推定できない可能性があることが既往の研究で示されている。本研究では、航空機により測定された LiDAR データを用いてマングローブ老齢林の地上部バイオマス推定精度を改善する。

成果の内容・特徴

1. フィリピン・パナイ島のカトゥンガン・イット・イバジェイ・エコパーク（KII エコパーク）のマングローブ老齢林において（図 1）、平均林冠高(H_m)*と相対的な高さ(RH)**指標が計算される。
2. H_m と地上部バイオマスを推定するために相対的な高さ(RH)指標が用いられる。
3. RH 指標を使用して、2つの方法で地上部バイオマスを推定した。(i) 従来式：最適な RH 指標を使用して H_m を計算し、それをもとに既存の式(Suwa et al. 2021)を使用して地上部バイオマスが推定される。(ii) 開発した式：新しく開発された式は最適な RH 指標を用いて直接的に地上部バイオマスを推定する。

4. H_m と RH 指標との関係を検証し、その後、従来式（地上部バイオマス = $2.25 H_m^{1.81}$ （式 3））を適用して地上部バイオマスを推定する。95 パーセンタイルでの相対的な高さ(RH_{95})は H_m と最もよく対応する($R^2 = 0.79$)。 RH_{95} を式 3 に適用すると、樹冠高の高いプロットでは地上部バイオマスが過小評価されることが分かる($R^2 = 0.46$)（図 2、左）。
5. RH_{95} による地上部バイオマスの推定式は比較的高い精度を示す（図 2、右：地上部バイオマス = $0.02 * RH_{95}^{3.56}$ （式 4）、 $R^2 = 0.58$ ）。
6. 開発した式 4 により、KII エコパークにおけるマングローブ老齢林の地上部バイオマスマップが得られる（図 3）。

*平均林冠高(H_m)：林冠上層の樹高の平均値。

**相対的な高さ(RH)：LiDAR より測定される高さの分布の指標。
 RH_{95} はほぼ林冠高に相当する。

成果の活用面・留意点

1. マングローブ老齢林のバイオマス測定への活用が期待できる。特に、LiDAR データを用いることで、広範囲かつ高精度な測定が可能となる。
2. 測定、報告、検証(MRV)への貢献も可能であるが、単一変数だけでは地上部バイオマスを過小評価する可能性があるため、他の変数を含めることで更なる精度の向上が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ「A5 熱帯島嶼環境保全（第5期）」
研究実施期間：2024 年度
研究担当者：モハマドジャミムハサン・マンダル、諏訪 鍊平（林業領域）
発表論文等：Mandal et al. (2024) *Eco. Res.* 40(2), 120-132.
<https://doi.org/10.1111/1440-1703.12503>
参考文献：Suwa et al. (2021) *Est. Coast. Shelf Sci.* 248, 106937.

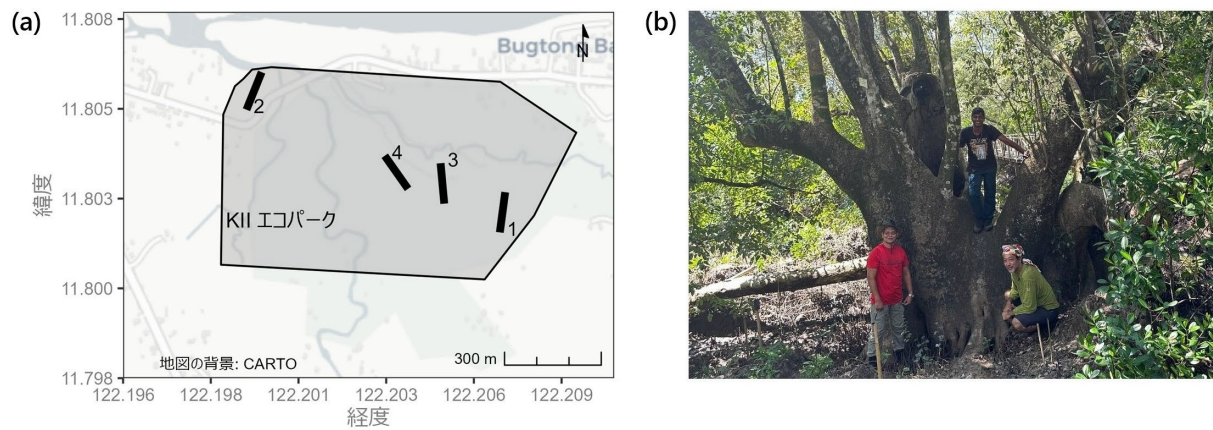


図 1 フィリピン・パナイ島のカトゥンガン・イット・イバジェイ・エコパーク (KII エコパーク)
(a) 調査区 (■) の位置、番号は調査区 ID を示す。(b) 調査区内の老齢木 *Avicennia rumphiana*

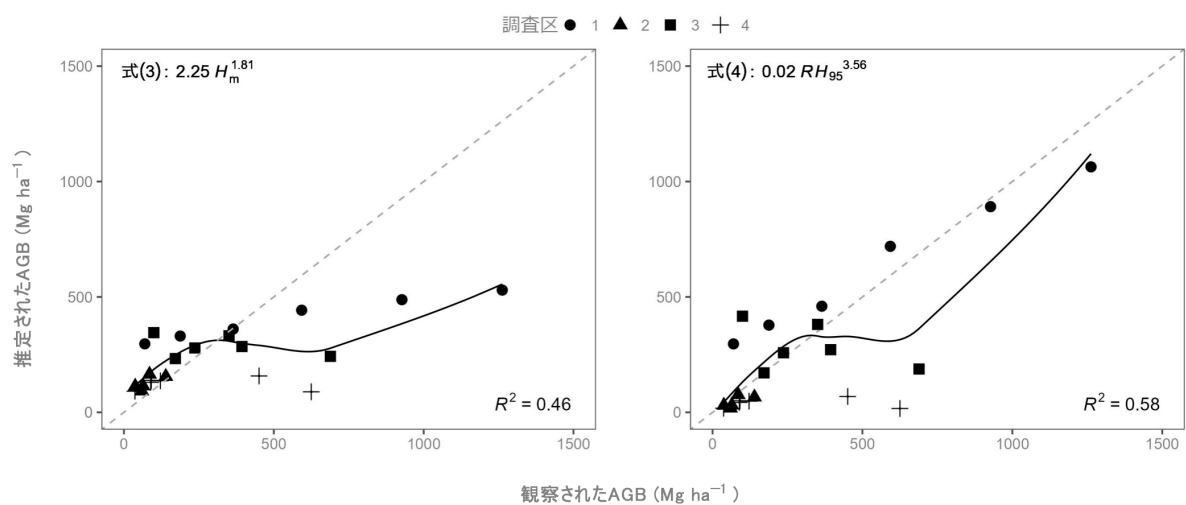


図 2 観測された地上部バイオマス(AGB)と式(3)（左）および式(4)（右）を使用した地上部バイオマス (AGB) の推定値との関係

破線は 1:1 の比率を意味する。実線は Loess 法に基づくトレンドを意味する。異なる調査区 ID は、異なる形状の記号で示されている。

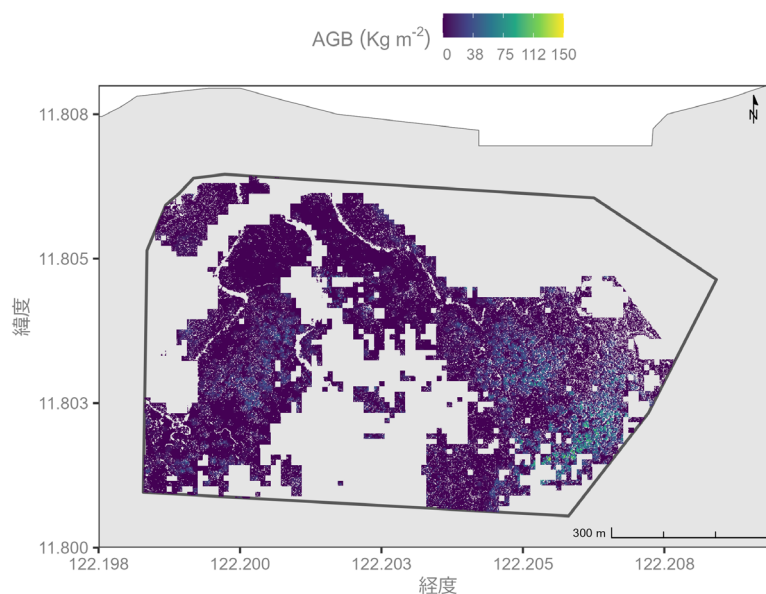


図 3 KII エコパークにおける式 4 に基づく地上部バイオマス (AGB, Kg m^{-2}) マップ

図は Mandal et al. (2024) Ecological Research 40(2), 120-132 © The Ecological Society of Japan 2024 より転載/改

カットソイラー（浅層暗渠）による土壌塩分・pH の改良効果は施工間隔 2.5m で高い

日本で開発されたトラクターアタッチメント「カットソイラー」による浅層暗渠は、灌漑に起因した土壌塩類化や地中ソーダ質化の軽減に貢献する。同工法は、インド北部のヒンドゥスターン平野での 2.5m 間隔の施工により、土壌塩類化地域では土壌塩分を 52%低減させ、また、土壌ソーダ質化地域での石膏併用により、土壌 pH を 0.16 低下させる。

キーワード：土壌塩類化、土壌ソーダ質化、排水改良、浅層暗渠、カットソイラー

背景・ねらい

インド北部のヒンドゥスターン平野では、高塩分濃度の地下水による塩水灌漑と圃場の排水不良による塩分の残留により、土壌の塩類化が深刻な課題となっている。また、ナトリウムイオンの割合が多くなる土壌のソーダ質化も生じており、特に地中ソーダ質化にともなう排水不良が深刻化している。同工法は、カットソイラーをトラクターで牽引するだけで、作物残渣や土壌改良剤などを地中（深さ 40~60 cm 程度）に埋設でき、安価で容易に浅層暗渠を施工できるため、開発途上地域の農家が営農活動の一環として実践できる対策として有望である。本研究では、ヒンドゥスターン平野の塩類化土壌地域において、本工法で最も大きな効果が得られる最適な施工間隔(2.5、5.0、7.5、10.0 m)を検討する。また、ソーダ質化土壌への対策は石膏(CaSO_4)を散布し、ナトリウムイオンと Ca を置き換えて洗い流す手法が有効であることから、本工法をソーダ質化地域に適用し、稲わらと石膏の同時埋設が土壌 pH に及ぼす影響を検証する。

成果の内容・特徴

1. 本工法では、圃場面に散在している稲・麦わらなどの収穫残渣を、カットソイラーを装着したトラクターによる走行のみで土中に埋設することができ、安価で容易に暗渠孔を構築することができる（図 1）（2022 国際農研研究成果情報「カットソイラーによる浅層暗渠は土壌塩分を軽減する」）。
2. 本工法は石膏などの土壌改良剤も併用できるため、地中ソーダ質化対策にも貢献し得る。
3. 浅層暗渠を、2.5、5.0、7.5、または 10.0 m 間隔で施工した場合、施工から約 3 年が経過した時点での土壌塩分 (EC_e) の低減効果は施工間隔 2.5 m で最も高い（図 2）。
4. 施工間隔が 2.5 m の場合に雨季作（トウジンビエ）の収量が最大となる（図 3）。

5. カットソイラーにて深さ 40 cm に稲わら(6 t ha^{-1})と石膏(10 t ha^{-1})を埋設する浅層暗渠を 2.5、5.0、または 10.0 m 間隔にて施工した場合、施工から 2 年が経過した時点での土壌 pH の低減効果は、施工間隔 2.5 m で最も高い（図 4）。

6. カットソイラーによる浅層暗渠の土壌 pH の低下量は、施工ラインに近いほど大きい（図 5）。

成果の活用面・留意点

1. 本工法はトラクターにて容易に施工できるため、同様の塩類化地域へ幅広く適用できる。
2. カットソイラーによる浅層暗渠を中心とした「技術マニュアル」を作成し、幅広く周知する。
3. インドではインド農業研究委員会(ICAR)やインド中央塩類土壌研究所(CSSRI)を通じて、利用促進を図る。
4. 圃場周辺の排水環境により、カットソイラーによる浅層暗渠の施工方法が異なるため、排水状況を事前確認しておく必要がある。
5. カットソイラーは輸送用の車輪を備えていない。
6. カットソイラーの耐用年数は、年間 30~50 ha の施工で約 7 年間を想定。なお、フレームに支障がなければ、消耗品の交換により継続利用が可能。

その他

予算区分：交付金プロ [A6 持続的土地管理]

研究実施期間：2018~2024 年度

研究担当者：Yadav. G, Yadav. R. K, Rai. A. K, Kumar. S（インド中央塩類土壌研究所）、Neha（JSPS外国人特別研究員）、大西純也、亀岡大真、松井佳世（農村開発領域）、李根雨（社会科学領域）、北川巖（農研機構、現農林水産省）

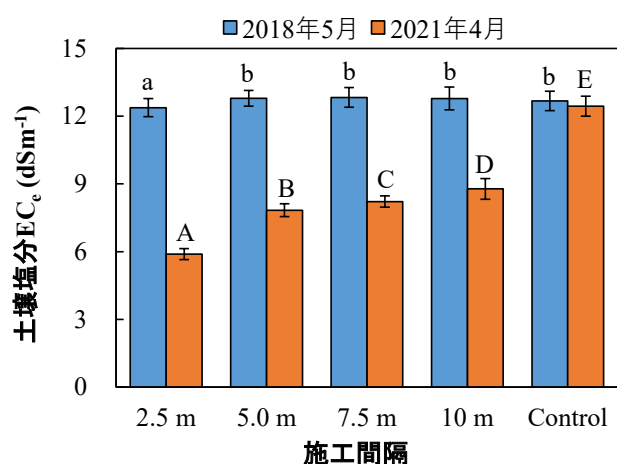
発表論文等：

1) Gajender Y et al. (2024) *Journal of Arid Land Studies* 34(S), 21-24. https://doi.org/10.14976/jals.34.S_21

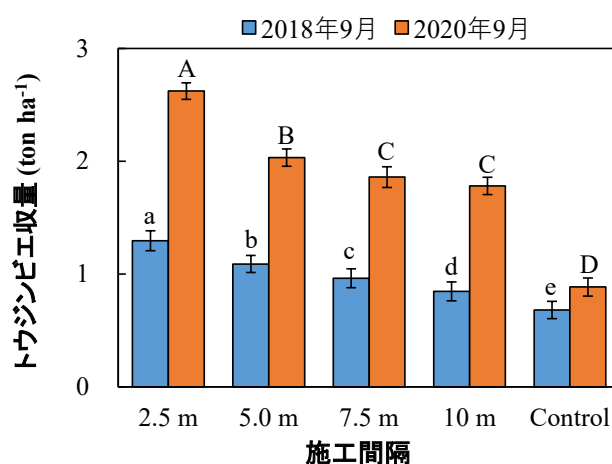
2) Rajender KY et al. (2024) *Journal of Arid Land Studies* 34(S), 29-32. https://doi.org/10.14976/jals.34.S_29



図1 (a)カットソイラー、(b)カットソイラーによる浅層暗渠の施工風景、(c)浅層暗渠施工の模式図

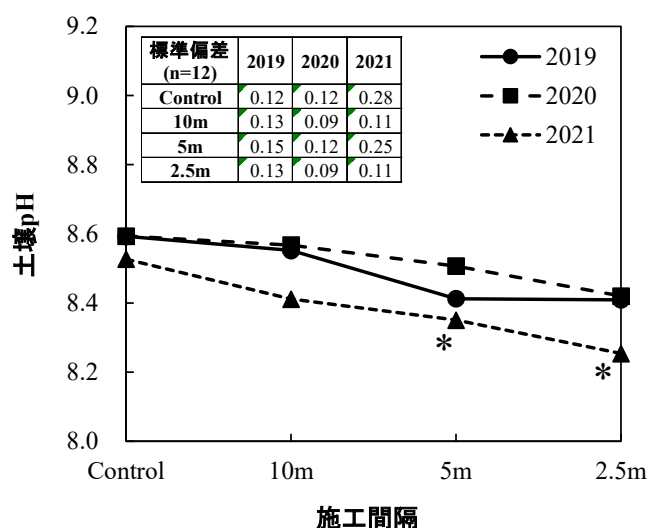


カットソイラーによる浅層暗渠を2018年5月に施工
各文字系統で異符号間に有意差あり(有意水準1%)
エラーバーは標準偏差 (n=108)



カットソイラーによる浅層暗渠を2018年5月に施工
各文字系統で異符号間に有意差あり(有意水準1%)
エラーバーは標準偏差 (n=9)

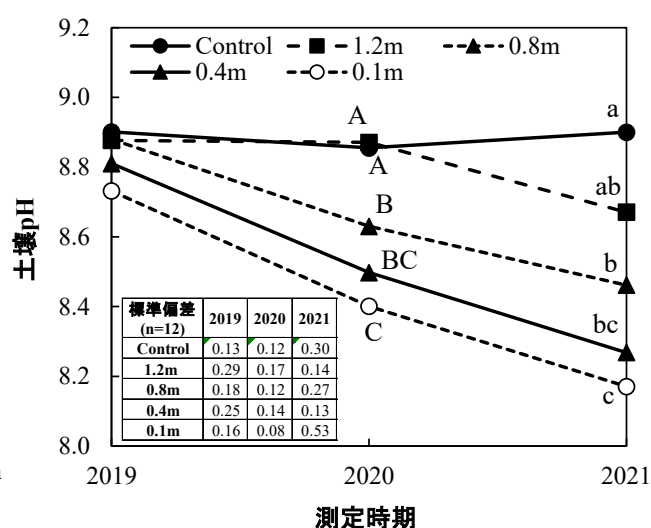
図2 土壌塩分の変化（2018、2021）



カットソイラーによる浅層暗渠を2019年7月に施工
*2019 Controlに対し有意に減少(5%)

図4 施工間隔毎の土壌 pH の変化

図3 トウジンビエ収量（2018、2020）



カットソイラーによる浅層暗渠を2019年7月に施工
各文字系統で異符号間に有意差あり(有意水準5%)

図5 施工ラインからの距離毎の土壌 pH の変化

図2～5はGajender Y et al. (2024) ©日本沙漠学会 2024 および Rajender KY et al. (2024) ©日本沙漠学会 2024 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

地中パイプの配置・構造の変更によりビニルトンネル内の水蒸気を効率的に回収できる

地中に埋設したパイプおよびビニルフィルムの内外の温度差を利用し、塩水などの蒸発により生じた水蒸気を結露させて淡水を生産できる。この地中パイプをビニルハウスの直下から外へ移動し、さらに直径 100 mm のパイプ 1 本から直径 50 mm のパイプ 4 本に変更することによりパイプ壁温が低くなり、水蒸気の回収率が約 3 割増加する。

キーワード：ビニルトンネル、地中パイプ、ビニルフィルム、水蒸気回収、淡水生産

背景・ねらい

多様な水利用の中で最も多くの水が農業に利用されており(FAO 2020)、世界の淡水*の約 70%が灌漑水として取水されている(FAO 2012)。この傾向は乾燥・半乾燥地域において顕著であり、不足する灌漑水を補うために、塩類を含む河川水・地下水や農業排水などが灌漑水として利用されている。既存の脱塩処理施設は、その建設・運転に多額の費用を要する。石川ら(1996)は農業用のビニルトンネル内の高温・湿潤な空気とビニルフィルム外の気温及び周囲の地温で冷却された地中埋設パイプの壁温との温度差で水蒸気を結露させて淡水を回収する「地気熱交換蒸留システム」を開発し、ビニルトンネル内で生じた水蒸気の約 30%を回収することに成功している。本研究では、開発途上国の農村地帯に導入可能な農業資材などで作れる簡易な淡水生産技術の開発を目指し、地気熱交換蒸留システムの水蒸気の回収率を向上し得る改良を行う。

* 淡水：塩類濃度が極めて低い水。

成果の内容・特徴

1. ビニルトンネル（幅 1.2 m、高さ 0.6 m、長さ 8.0 m）の直下に直径 100 mm の塩化ビニル(PVC)パイプ 1 本（対照：石川モデル）、外側に直径 100 mm の PVC パイプ 1 本（100 mm 外配置）、直径 50 mm の PVC パイプ 4 本（50 mm×4 外配置）をそれぞれ深さ 20 cm に埋設する。パイプの直径・本数の変更により通気断面を確保しつつパイプ内壁面積が 2 倍に拡大される。ビニルトンネル側面にアルミニウム製の L 型フレームを設置し、フレームの下辺縁に密着するようにビニルフィルムを張る。地中パイプと L 型フレームの末端には結露回収用のタンクを置く（図 1、2）。3 棟のビニルトンネルでそれぞれ異なる地中パイプを選択して吸気口に太陽光駆動式のファンを設置し、2 日間の集水実験を実施する。その後処理を入れ替えて 6 回反復する。
2. ビニルトンネル内に並べた蒸発槽内の水が日射により蒸発し水蒸気が発生する。ビニルトンネル内で暖められた水蒸気はファンで地中パイプに送風され、地温で冷やされたパイプ壁面付近で冷却されて結露となりパイプ内面に付着する。また、ビニルトンネル内の空気と外気と

の温度差により、ビニルフィルム内面にも結露が生じる。

3. ビニルトンネル内の日平均気温に有意な差は見られない。100 mm 外配置および 50 mm×4 外配置は、トンネル直下の対照よりも地温、パイプ壁温、パイプ内気温が低くなる傾向を示す。特に、50 mm×4 外配置のパイプ壁温は、対照よりも 3.9℃低い値を示す（表 1）。
4. 地中パイプとビニルフィルムに生じた結露は、パイプおよび L 型フレーム末端のタンクに貯水される。50 mm×4 外配置の場合、茨城県つくば市では 3 月の晴天日に 1 棟当たりで最大で 12.4 L 日⁻¹の淡水を生産できる。
5. パイプ結露の蒸発量に対する回収率は対照が 4.3%、100 mm 外配置が 11.3%、50 mm×4 外配置が 23.3%である（図 3 オレンジ表示）。また、フィルム結露の蒸発水量に対する回収率は対照が 30.3%、100 mm 外が 27.2%、50 mm×4 外配置が 22.5%となる（図 3 青表示）。50 mm×4 外配置の地中パイプとフィルムで回収した結露の合計回収率は約 46%となり、対照よりも約 3 割、100 mm 外配置よりも約 2 割多くなる。

成果の活用面・留意点

1. 本技術で生産する水は塩類などをほぼ含んでおらず（電気伝導度：0.005 dS m⁻¹）、灌漑水に適している。なお、完全に密閉・滅菌された装置ではないことから、衛生的な観点から飲用には推奨しない。
2. 地中パイプおよびフィルム結露回収用のフレームなどは栽培用のビニルハウスにも適用可能であり、作物の蒸発散により生じた水蒸気の回収・再利用も期待できる。
3. 本技術は原水の蒸発およびファンの駆動に太陽光が必要であるため、回収水量は季節・天候などによる日長・日射量・気温などの変化の影響を受ける。

その他

予算区分：交付金・令和 4 年度理事長インセンティブ経費
〔補助的灌漑用水源としての水蒸気の回収技術の開発〕

研究実施期間：2022 年度

研究担当者：池浦弘（農村開発領域）、藤巻晴行（鳥取大）

発表論文等：Ikeura H. and Fujimaki H. (2024) *Paddy and Water Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10333-024-01001-8>

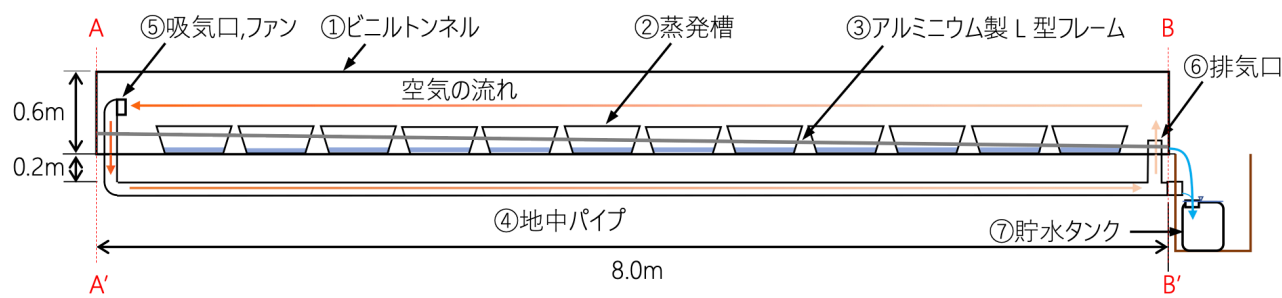


図 1 改良型地気熱交換蒸留システムの概要図（側面図）

A-A', B-B'の断面表記、①～⑤の番号は図 2 と共通

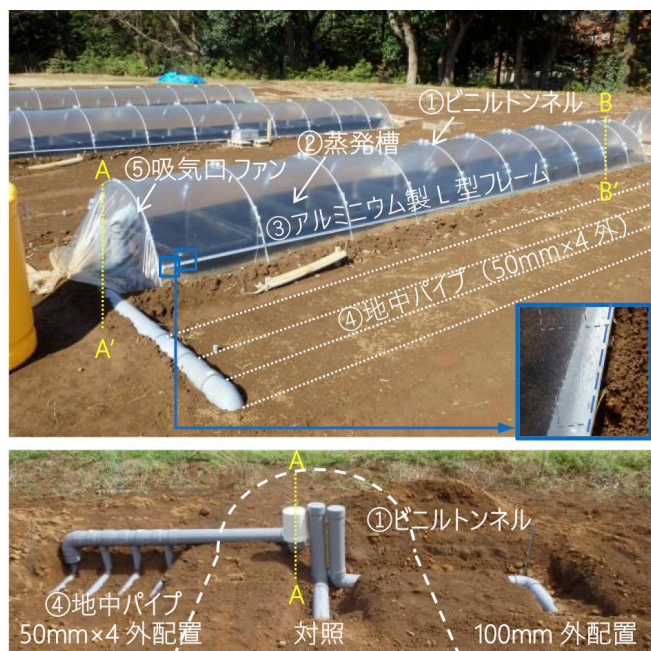


図 2 ビニルトンネルおよび地中パイプ

上は地上部の構造（青枠は L 型フレームの拡大図、青破線で示した下辺縁とフィルム内面を密着させる）、下は地中パイプの埋設状況。A-A', B-B'の断面表記、①～⑤の番号は図 1 と共通

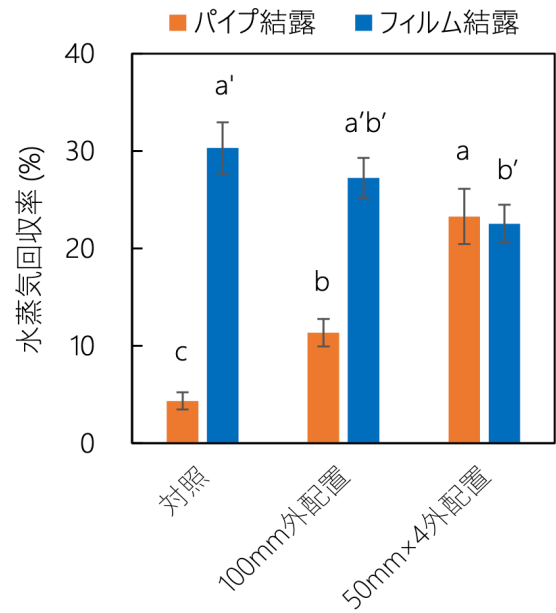


図 3 地中パイプおよびフィルムによる水蒸気回収率

エラーバーは標準誤差 (n=12)。a-b-c 間および a'-b' 間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey Kramer HSD test)。水蒸気回収率 = 回収水量 / 蒸発水量

表 1 ビニルトンネル内気温、土壌、地中パイプ壁温およびパイプ内気温の日平均

	ビニルトンネル 内気温 (°C)	地表面温度 (°C)	地温 (°C) (深さ 10 cm)	パイプ壁温 (°C) (深さ 20 cm)	パイプ内気温 (°C)
対照	19.8	19.3 ^a	20.4 ^a	22.2 ^a	22.9 ^a
100 mm 外配置	19.5	12.6 [*]	14.5 ^b	19.0 ^{ab}	19.9 ^{ab}
50 mm×4 外配置	19.2	11.9 ^b	14.6 ^b	18.3 ^b	19.1 ^b

n=12 (*100 mm 外配置の地表面温度は 4 データの欠測あり)。
a-b 間に有意差あり ($p < 0.05$, Tukey Kramer HSD test)。

図表は Ikeura and Fujimaki (2024) © Springer Nature 2024 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

引用文献

FAO (2012) Coping with water scarcity - An action framework for agriculture and food security, FAO Water Reports 38, p.1-2.
FAO (2020) The state of food and agriculture — overcoming water challenges in agriculture, p.7.
石川将之,大槻恭一,神近牧男(1996)太陽熱および地気温差を利用した蒸留システム, 農土誌 64(3) : 225-230.

凍結剤を使用しない植物由来 RNA の抽出保存手法を開発

インフィルトレーション法により植物葉の細胞間隙へ核酸安定化溶液を浸透させることで、凍結剤を使用しなくても葉の RNA および遺伝子発現の傾向が安定に保たれる。また、抽出後の RNA は二酸化ケイ素膜に結合させることにより凍結剤を使用せずに安定に保存できる。これらの技術により、液体窒素やドライアイスなどの入手が困難な開発途上地域の圃場などで得られる植物の遺伝子発現解析が容易になる。また、開発途上地域で得られた RNA を日本国内などの解析設備の整った実験室まで運搬することでゲノミクス解析の進展が期待できる。

キーワード：RNA、開発途上地域、遺伝子発現、マダガスカル、イネ

背景・ねらい

作物増産に向けて、開発途上地域における生産性の向上した作物の開発が急務となっている。ストレス耐性や収量向上に関わる形質は、遺伝情報を伝える RNA の発現の変化を伴って発現することから、RNA の発現傾向の解析により、高いストレス耐性に関わるメカニズムの解明や、優れた収量をもつ作物の開発の加速化が期待される。しかし開発途上地域では、不安定な RNA の分解を防ぐために使用される液体窒素やドライアイスなどの凍結剤や超低温槽など、必要な機資材が限られており、植物の遺伝子発現解析を行うのは困難である。

これまで、生物サンプルの RNA を安定に保つ核酸安定化溶液が市販されているが、植物においては、RNA 抽出前の組織サンプルの異なる保存条件が遺伝子発現に与える影響に関する体系的な研究は行われておらず、最適なサンプル保存方法については断片的な知識しか得られていない。また、抽出後の RNA も不安定であり、凍結剤を使用せずに数日間安定に輸送する手法も確立されていない。本研究では、開発途上地域における遺伝子研究を加速化させるため、1) 開発途上地域の圃場から実験室まで凍結剤を利用せずに RNA と遺伝子発現の傾向を保ったまま植物葉組織を輸送する方法、および 2) 開発途上地域から日本などの解析設備の整った国への輸送を念頭に置き、抽出した RNA を凍結剤を利用せずに安定に輸送する手法を開発する。

成果の内容・特徴

1. 圃場から実験室までサンプルを輸送するために新規開発した方法（インフィルトレーション法）では、圃場で育てたイネの葉を界面活性剤で洗浄した後、核酸安定化溶液を加えシリンジ内で加圧と減圧を繰り返すことにより葉の細胞の隙間に溶液を浸透させる（図 1）。
2. インフィルトレーション法によりイネの葉の細胞間隙に核酸安定化溶液を浸透させて 4℃で 5 日間保存した

サンプルは、核酸安定化溶液に浸し 4℃で 5 日間保存したサンプルと比較して、液体窒素で凍結させて超低温槽で保存したサンプルと遺伝子発現の傾向が類似しており、サンプル保存方法としてより適切である（図 2）。

3. マダガスカルにある水田で育てられたイネの葉をインフィルトレーション法により冷蔵保存したサンプルを用いて遺伝子発現解析を行うと、生育不良のみられる圃場で栄養欠乏応答性遺伝子の発現が高い（図 3）。
4. RNA は、二酸化ケイ素膜と結合させることにより、少なくとも 48 時間以内は凍結剤を使用しなくても比較的安定に保存される（図 4）。

成果の活用面・留意点

1. 本技術を用いることで、凍結剤などの機資材の限られる開発途上地域の植物サンプルにおいても、遺伝子発現解析が飛躍的に進むことが期待される。
2. 核酸安定化溶液に葉サンプルを浸した状態の方がインフィルトレーション法による保存より適している植物種もあることから、対象種によって最適な保存条件の検討が必要である。
3. 塩ストレスおよび低温ストレス応答性遺伝子についてはインフィルトレーション処理と低温での保存によって発現にバイアスが生じることから、これらのストレス関連の遺伝子発現解析における活用には注意を要する。

その他

予算区分：交付金プロ [B1 レジリエント作物、2023 年度理事長インセンティブ経費課題（シーズ研究）]
研究実施期間：2022～2024 年度
研究担当者：植田佳明（生産環境・畜産領域）
発表論文等：Ueda (2024) *Plant Methods* 20: 187. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01311-2>

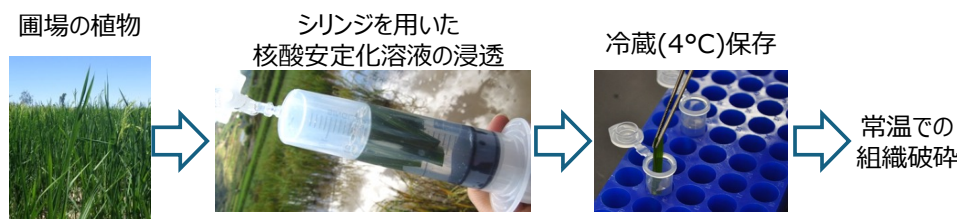


図1 インフィルトレーション法の概要

植物の葉を界面活性剤で洗浄した後、シリンジを用いて葉の細胞間隙に核酸安定化溶液を浸透させる。その後 4°C で保存し、凍結剤を利用せずにサンプルを破碎し、RNA 抽出を行う。

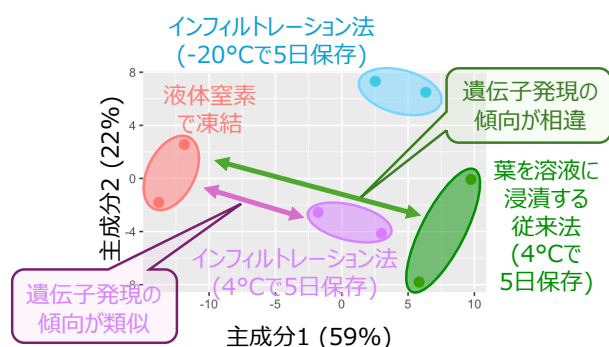


図2 RNA シーケンスによるインフィルトレーション法の評価

異なる条件で保存したサンプルを用いて行った RNA シーケンスの主成分分析の結果を示す。各ドットが各サンプルに対応し、近い位置にプロットされるサンプルは遺伝子発現の傾向が類似することを示す。葉を核酸安定化溶液に浸漬する従来法に比べてインフィルトレーション法では液体窒素で凍結したサンプルと発現の傾向が類似することを示す。また、インフィルトレーション後のサンプルは-20°Cよりも 4°Cでの保存が適していることを示す。

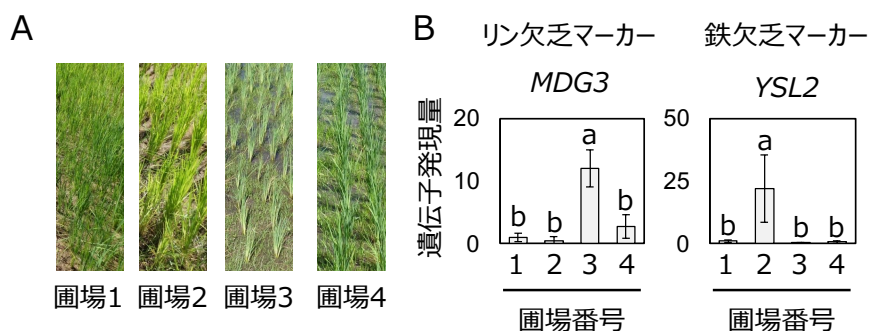


図3 インフィルトレーション法を利用したマダガスカルにおけるイネの遺伝子発現解析

A. インフィルトレーション法によりイネの葉をサンプリングした圃場の様子。B. A の圃場のサンプルにおける栄養応答性の遺伝子の発現量。それぞれの遺伝子において、発現量が高いほど各栄養が欠乏していることを示す。異なるアルファベットは発現量が有意に異なることを示す (Tukey-Kramer post-hoc, $p < 0.05$)。葉の黄化症状 (圃場 2) や分けつの抑制 (圃場 3) のみられる圃場で鉄およびリンが欠乏していることを示す。

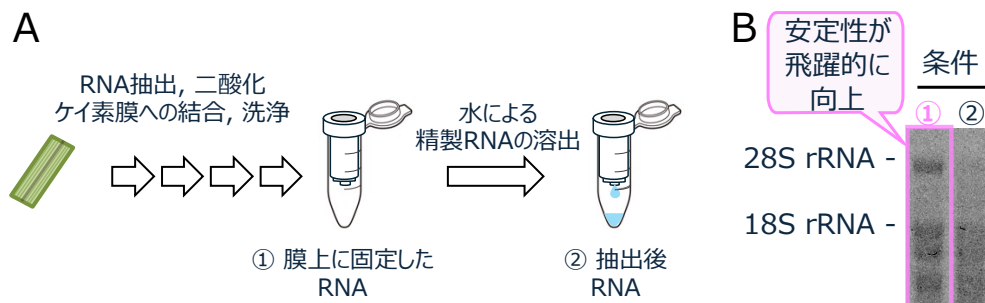


図4 抽出後の RNA の運搬条件の検定

A. 一般的な RNA 抽出のステップ。B. インフィルトレーション法によりサンプリングしたイネの葉から抽出した RNA を二酸化ケイ素膜上に固定した状態(①)、および膜から溶出した状態(②)で、およそ 48 時間の氷上での保存およびマダガスカルから日本へ輸送した RNA サンプルの電気泳動結果。28S および 18S rRNA はリボソーム RNA に相当するバンドを示す。これらのバンドが濃いほど、RNA サンプルの質が高いことを示す。

図は Ueda (2024) © Author(s)より転載/改変して作成

アンデス高地で栽培化された高地型キヌア系統の高精度ゲノム配列情報

栽培起源地とされるティティカカ湖周辺に生育する北部高地型およびボリビアのウユニ塩湖周辺の過酷環境に適応した南部高地型のキヌア自殖系統の高精度ゲノム配列情報は、キヌアの栽培化の謎を解き明かすだけでなく、その優れた環境適応性や栄養特性を解明するための重要なゲノム解析基盤として活用できる。

キーワード：キヌア、北部高地型、南部高地型、全ゲノム配列

背景・ねらい

南米アンデス高地原産の孤児作物である *Chenopodium quinoa*（キヌア）は、過酷な環境への高い適応能力と優れた栄養特性により、世界的な食料安全保障に重要な作物として注目されている。これまでに、136 のキヌア自殖系統コレクションを作出し、それらの遺伝子型と表現型の連関解析から農業形質や耐塩性に対する多様性を明らかにした（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」）。キヌアは、遺伝子型に基づいて北部高地型、南部高地型、低地型の集団に分類でき、低地型は、世界の温暖湿潤な地域で広く栽培されており、キヌア研究の標準系統としても活用されている。しかし、栽培起源地とされるティティカカ湖周辺の北部高地型、ボリビアのウユニ塩湖周辺の過酷環境（塩類集積土壌、年間降水量 150 mm 以下など）で栽培され、高品質なキヌアとして世界中に輸出されている南部高地型については、ゲノム情報の整備が十分に進んでいない。本研究では、北部高地型、南部高地型の高精度なゲノム配列の解読によって、キヌア集団におけるゲノム構造や多様性を網羅的に比較するためのゲノム基盤を確立する。

成果の内容・特徴

1. 全ゲノム配列は、北部高地型 J075、南部高地型 J100 のキヌア自殖系統を材料として、高精度のロングリード配列に基づいて塩基配列を解読したものである。
2. 解読した配列の統合および連鎖地図を用いて整列化した北部高地型 J075、南部高地型 J100 の全ゲノム配列は、配列をどれだけ長くつなげることができたかを示す指標 N50 が、71.2 Mb と 70.6 Mb と、同種のゲノム配列の中でも世界トップクラスの数値である。これにより、18 本の染色体レベルのゲノム配列を構築（表 1）。
3. 北部高地型 J075、南部高地型 J100 の全ゲノム配列は、65,303 個と 64,945 個の遺伝子情報を含む。さらに、ゲノムの完全性の指標となる BUSCO（陸上植物で高度に保存されている遺伝子セットに対する遺伝

子の網羅度）が 99% 以上かつ LAI スコア（ゲノム中の完全な単純反復配列の割合に基づく指標）が 17 以上となり、高品質かつ正確であることを示す（表 1）。

4. 系統間のゲノム構造や多様性の比較解析の一例として、キヌアなどナデシコ目の植物に特有な赤色色素であるベタレインの生合成遺伝子（*CqDODA1*, *CqCYP76AD1*）を含む領域では、近傍の遺伝子領域と比較してゲノム構造の類似性が低く、植物体の赤色の濃い高地型と薄い低地型の系統間差に関連することが示唆される（図 1）。

成果の活用面・留意点

1. ゲノム配列情報や遺伝子情報は、かずさ DNA 研究所の「Plant GARDEN」ポータルサイトで公開されており、それぞれの情報のダウンロードが可能のほか、植物種間での相同性検索システムに利用できる。
2. 全ゲノム配列は、配列が決定されていない系統から取得される高精度なロングリード配列からの全ゲノム配列の決定に有効である。
3. 北部高地型、南部高地型、低地型キヌア系統の遺伝子情報の比較によって、食料安全保障の観点から重要となるストレス耐性、収量安定性、高栄養価なキヌア品種開発のための作物デザイン素材の選抜に貢献することが期待される。

その他

予算区分：交付金プロ [B1 レジリエント作物（第 5 期）]、外部資金 [地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)；ムーンショット型農林水産研究開発事業；科研費 22H05172、23KK0113、21H02158、23K18036]

研究実施期間：2021～2024 年度

研究担当者：小林安文、永利友佳理（生物資源・利用領域）、藤井健一郎（生物資源・利用領域、現農研機構）、藤田泰成（食料プログラム）、平川英樹（かずさ DNA 研究所、現九大）、白澤健太（かずさ DNA 研究所）、西村和紗（岡大）、Oros, R. (PROINPA)、Almanza, G.R. (サン・アンドレス大)、安井康夫（京大）

発表論文等：Kobayashi et al. (2024) *Front. Plant Sci.* 15: 1434388. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1434388>

表 1 北部高地型、南部高地型キヌア自殖系統の全ゲノムのサイズおよび遺伝子数とゲノムの完全性を評価する指標値

	北部高地型 J075	南部高地型 J100
ゲノムサイズ (Gb)	1.29	1.32
遺伝子数	65,303	64,945
N50 (Mb) *	71.2	70.6
BUSCO (%)†	99.2	99.1
LAI スコア‡	17.40	17.75

*ゲノム配列をどれだけ長くつなげることができたかを示す指標。これまで解読されている同種のゲノム配列の中で世界でもトップクラスの数値を達成している。†陸上植物に存在すると予測される高度に保存された単一コピーの相同遺伝子の割合を示す。‡完全長の Long Terminal Repeat (LTR)レトロトランスポゾンと、断片化した LTR の比率に基づいて計算される値。値が 10<LAI<20 の範囲でリファレンスとなる品質としてみなされる。

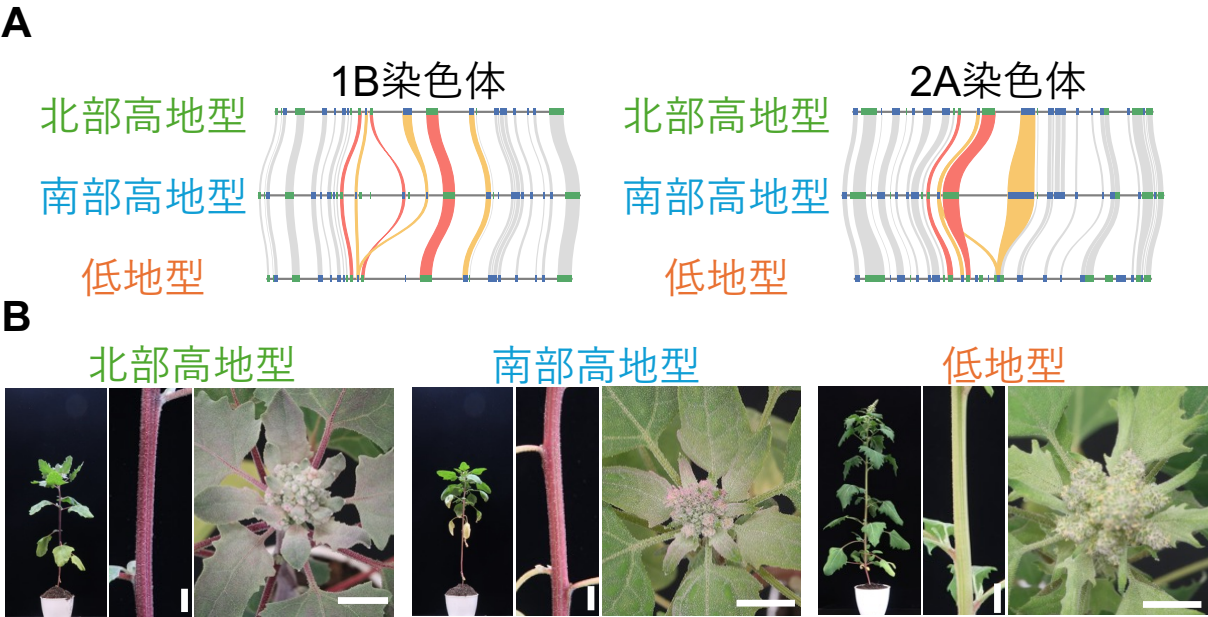


図 1 キヌア集団の代表系統間のベタレイン生合成遺伝子クラスター領域における低い構造類似性と植物体の色の表現型

(A) 1B および 2A 染色体に存在するベタレイン生合成遺伝子クラスターを含む領域の構造類似性。各集団の代表系統のゲノム配列を比較し、ベタレイン生合成遺伝子である *CqDODA1*, *CqCYP76AD1* 遺伝子対をそれぞれ赤および橙色の線で連結している。近傍の遺伝子対と比較して遺伝子対の物理的な位置関係の保存性が低いことを示している。(B) 56 日間栽培した北部高地型、南部高地型、低地型代表系統の茎および茎頂付近の色の表現型。写真中のバーは 1cm を表す。

図表は Kobayashi et al. (2024) © The Author(s) 2024 より転載/改変して作成

ホワイトギニアヤムの早植えはイモの増収を可能にする

ホワイトギニアヤムのイモ肥大は日長ではなく主に植え付けからの日数に依存するため、雨季開始初期の早植えにより乾季が始まる前にイモ肥大が完了する。これにより、通常よりも早い収穫とイモ収量の増加が見込める。雨季初めの不安定な降雨はイモ収量にほとんど影響しない一方、降雨開始の遅延に対応するために植え付けを遅らせることは、イモ肥大期の降雨停止による収量低下リスクを高める。

キーワード：西アフリカ、ギニアサバンナ、ホワイトギニアヤム、早植え

背景・ねらい

ホワイトギニアヤム（以下、ヤム）は西アフリカのギニアサバンナ地域で広く栽培される主要作物である。ヤムの栽培は植え付けから収穫まで 8～10 か月を要するため、雨季の開始と終了の時期は茎葉の生長およびイモの肥大にとって重要な要因となる。ギニアサバンナでは 2050 年までに雨季の短期化によりヤムの収量が 33% 減少すると予想されており、降雨パターンの変化はヤム生産にとって深刻な問題である。

ヤムの種イモの植え付け時期を変更することは、降雨パターンの変化に対する有望な対策である。通常、ヤムは生育初期の乾燥を避けるため、降雨が安定する雨季開始からおよそ 1 か月後に植え付けを行う。気候変動により雨季の開始が遅れ、植え付け時期を後ろ倒しにすると、生育後期が乾季に重なるため、乾燥ストレスによってイモ収量が減少する可能性がある。一方、近縁種のダイジョではイモの肥大が日長に強く依存するため、植え付け時期を変更してもイモの肥大開始には影響しない。

ホワイトギニアヤムに関するイモ肥大の日長応答については知見が少なく、植え付け日が収量に与える影響は明らかではない。そこで、本研究では世界最大のヤム生産国であるナイジェリアの現地圃場において植え付け時期の変更がイモ収量に与える影響を明らかにし、将来の降雨パターンの変化に対する植え付け時期変更の有効性を検証する。

成果の内容・特徴

1. 種イモの植え付け日を雨季初め（早植え）、雨季開始後 1 か月（通常作期）、雨季開始後 2 か月（遅植え）の 3 パターンで栽培した場合、早植えでは通常作期よりも 90 日程度早く収穫でき、収量が 21% 増加する（図 1）。

2. イモの肥大開始は暦日ではなく植え付けからの日数に依存し、日長はイモ肥大にほとんど影響しない（図 1）。植え付けが早いほどイモの肥大開始が早まり、土壌水分が十分にある雨季中に肥大が完了する。
3. 雨季初めの少雨は茎葉の生育やイモ収量にほとんど影響しない。一方、植え付けが通常よりも遅れてイモの肥大期が乾季に重なる場合、乾燥ストレスにより収量が大幅に低下する（図 2）。

成果の活用面・留意点

1. 将来予想される降雨パターンの変化に応じて最適なヤムの栽培体系を提案する際の基礎的な情報として利用が期待できる。
2. 早植えを行う際、品種によっては種イモの萌芽が不安定になることがあるため、この点について新たな品種や技術の開発が必要である。
3. 雨季初めの降雨が極端に少ない場合、地上部の生育遅延などに対するリスクを高める可能性がある。

その他

予算区分：交付金 [B2 新需要創造（第 5 期）]

研究実施期間：2021～2024 年度

研究担当者：井関洸太郎（生物資源・利用領域）、Olaleye, O.（国際熱帯農業研究所）、松本亮（国際熱帯農業研究所）

発表論文等：Iseki et al. (2024) *Plant Production Science* 27(3): 272-282. DOI: 10.1080/1343943X.2024.2351623

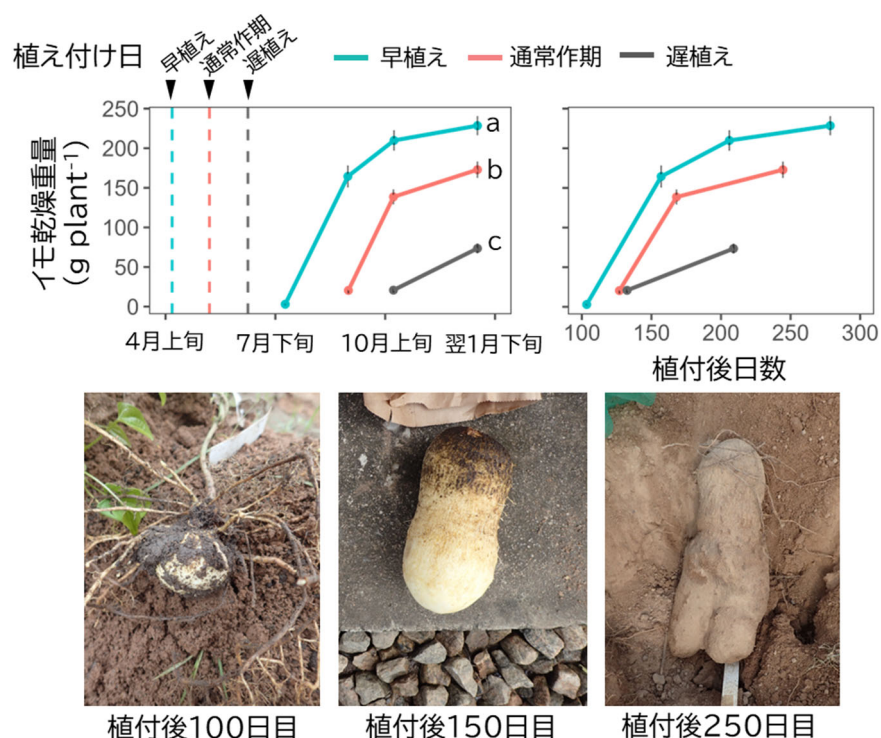


図 1 植え付け時期の違いがイモの肥大生長に及ぼす影響

ナイジェリア南部の国際熱帯農業研究所内試験圃場でヤム 2 系統を 2019～2020 年の 2 年間栽培したデータを平均して示す（1 回のサンプリングにつき 4 個体、3 反復を含む）。縦のバーは標準誤差 ($n=48$)。図中の縦線は植え付け日を示す。異なるアルファベットは収穫時のイモ収量が $p < 0.01$ の水準で異なることを示す。下の写真は通常栽培時の代表的なイモの様子。

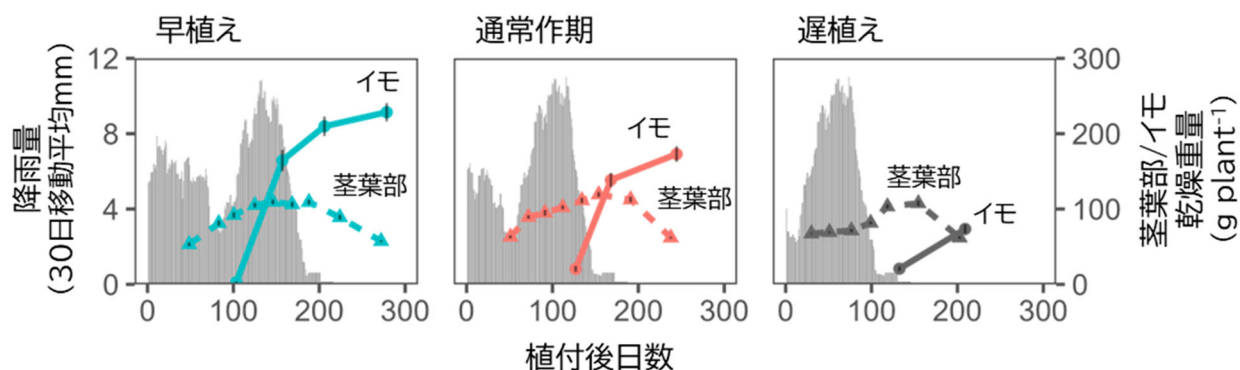


図 2 植え付け時期による生育期間中の降雨量の違い

灰色のバーは植え付け後 300 日目までの降雨量の 30 日移動平均を 2 年間で平均した値。破線は茎葉部、実線はイモの乾物重の変化を示す（平均値±標準誤差、 $n=48$ ）。雨季初めの植え付けによりイモの肥大が雨期中にほぼ完了する。植え付けが遅れるほど肥大開始時の雨が少なくなるため、イモが肥大できず収量が大きく低下する。

図表は Iseki et al. (2024) © The Author(s) 2024 より転載/改編して作成

インドシナ諸国におけるツマジロクサヨトウ推奨防除手法の体系化と費用要件

インドシナ諸国政府の多くは、ツマジロクサヨトウ防除のため化学農薬に加え、薬剤抵抗性管理や生物的防除を推奨している。一方、飼料用トウモロコシ農家の害虫管理は安価な化学農薬の葉面散布が主流で、その費用は限定的である。よって、化学農薬代替技術は十分低コストであることが求められるが、特に種子処理や天敵昆虫の放飼は導入コストを抑えられる可能性があり、技術開発・普及において注目される。

キーワード：ツマジロクサヨトウ、総合的病害虫・雑草管理、トウモロコシ、インドシナ

背景・ねらい

トウモロコシへの被害の大きさと注目されるアメリカ原産の広食性害虫、ツマジロクサヨトウ(*Spodoptera frugiperda*, FAW)は、2016 年にアフリカ西部で初めて確認され、その後 2019 年までに東南アジア全域に広がった。本種の広範な被害を受け、国際機関や東南アジア諸国連合(ASEAN)は総合的病害虫・雑草管理(IPM)を志向するガイドラインや中長期戦略を策定した。一方、IPM 志向の防除技術に関する政策的観点からの研究の必要性が先行研究により指摘されており、ASEAN 諸国政府の管理戦略に関する情報も体系的に整理される余地がある。

そこで、本研究では、ミャンマー、タイ、ラオス、カンボジア、ベトナムを含むインドシナ地域において、政府が推奨する FAW 防除手法を体系化するとともに、農家に受容されている手法とその経済的負担を評価する。これにより、IPM 志向の FAW 防除技術を開発・普及させるための具体的な政策立案に向けた基盤的な情報を提供する。

成果の内容・特徴

1. 各国政府の出版物、ウェブサイト、過去の研究をもとに、FAW の蔓延状況と政府の対応を整理する。2018 年末から 2019 年半ばにかけて、インドシナ諸国では FAW の被害が広範囲に発生し、いずれの国も農業省の植物保護部門が国際機関などと協力して FAW 対策ガイドラインを迅速に策定・公表している。
2. 各国政府が農業生産者向けに現地語で提供するパンフレット、ウェブサイト、SNS などで推進される FAW 対策を収集し、化学的防除、生物的防除、耕種的防除など、6 つのカテゴリーに分類して整理する。多くの国がエマメクチンベンゾエートなどの化学農薬の使用を推奨しているが、同時に、FAW の薬剤抵抗性発達の懸念から、抵抗性管理や生物的防除（微生物製剤、天敵昆虫の放飼など）も推奨している（表 1）。
3. 飼料用トウモロコシ農家の害虫管理コストを把握するため、2022 年 10 月から 2023 年 3 月にかけて 14 戸の

農家に質問票を用いた聞き取りを行い、乾季および雨季の雑草・病害虫の予防・防除を含む作業ごとの生産費の情報を収集・分析する。多くの農家の害虫予防・防除にかかる費用は、施用にかかる費用や機会費用を含めても総費用の 5%未満と限定的である（図 1）。害虫防除には、いずれの国でもエマメクチンベンゾエートの葉面散布を行う農家が多く、その費用は物財費が 9 ドル ha⁻¹、施用にかかる諸費用が 5 ドル ha⁻¹と低い。2021 年 9 月にタイで 127 戸の飼料用トウモロコシ農家を対象にサンプル調査を行い、87%の農家が FAW 防除のため化学農薬の葉面散布を採用しているという結果を得たことから、この方法の一般性が裏付けられる。

4. 各国政府が推奨する化学農薬代替的な防除手法の農家による利用促進のためには、それらの費用がエマメクチンベンゾエートの葉面散布と比べて過度に高くないことが重要である。種子処理はベトナムの農家調査結果に基づき、天敵昆虫の放飼はタイのデータを用いた試算により、導入費用が比較的安く抑えられる可能性が示唆されている。

成果の活用面・留意点

1. 各国政府がすでに推奨している方策の体系は、FAW 防除技術の開発や普及に向けた議論の基盤となる。
2. 導入費用が比較的低いとされる種子処理や天敵昆虫の放飼などの防除技術は、防除効果や費用について更なる検証を行うことで、農家が利用可能な手段の開発と普及につながる可能性がある。
3. 本研究の調査農家数は限られており、エマメクチンベンゾエートの費用など具体的な数値に関する結論を一般化するためには、より広範囲の調査が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [B3 越境性害虫（第 5 期）]
研究実施期間：2021～2024 年度
研究担当者：草野栄一、小堀陽一（国際農研）
発表論文等：Kusano et al. (2025) *Front Insect Sci* 4: 1455585. <https://doi.org/10.3389/finsc.2024.1455585>

表 1 インドシナ諸国のうち 3 か国以上が推奨する FAW 防除手法

カテゴリー	詳細	推奨国
サンプリング・モニタリング		
害虫トラップ	フェロモントラップ; ライトトラップ; 毒餌誘殺トラップ	MTC
化学的防除		
有効成分の推奨 （葉面散布）	エマメクチンベンゾエート (MTLCV); インドキサカルブ (MTLCV); クロラントラニリプロール (MTLC); フルベンジアミド (MTLC); スピネトラム (TLV)	MTLCV
施用法		
- 種子処理	シアントラニリプロール; シアントラニリプロール + チアメトキサム	TLV
薬剤抵抗性管理	有効成分の異なる殺虫剤の交互使用による害虫の抵抗性発達抑制; 主要作用機構グループの異なる殺虫剤の 30 日ごとの切り替え	MTLV
生物的防除		
天敵昆虫		
- 卵寄生者	タマゴコバチ	MTV
- 捕食者	ハサミムシ; 捕食性カメムシ; サシガメ; テントウムシ	TCV
病原体		
- 微生物	BT 剤 (<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>aizawai</i> or <i>kurstaki</i>)	MTLV
保全的生物的防除	不耕起、作物残渣の保持、輪作による天敵の強化; 化学農薬の使用制限	MTV
耕種的・生態干渉的防除		
農業慣行		
- 雑草防除	イネ科雑草の防除	MCV
その他の防除手法		
手取り駆除	FAW の産卵が多い時期には週 2 回、その後は週 1 回または 2 週間に 1 回の間隔で駆除	MTV

6 つのカテゴリーに分類した手法のうち、3 つ以上の国が推奨するものを抜粋。推奨国：M = ミャンマー、T = タイ、L = ラオス、C = カンボジア、V = ベトナム。化学的防除内の推奨される有効成分のみ個別に推奨する国名を記載。

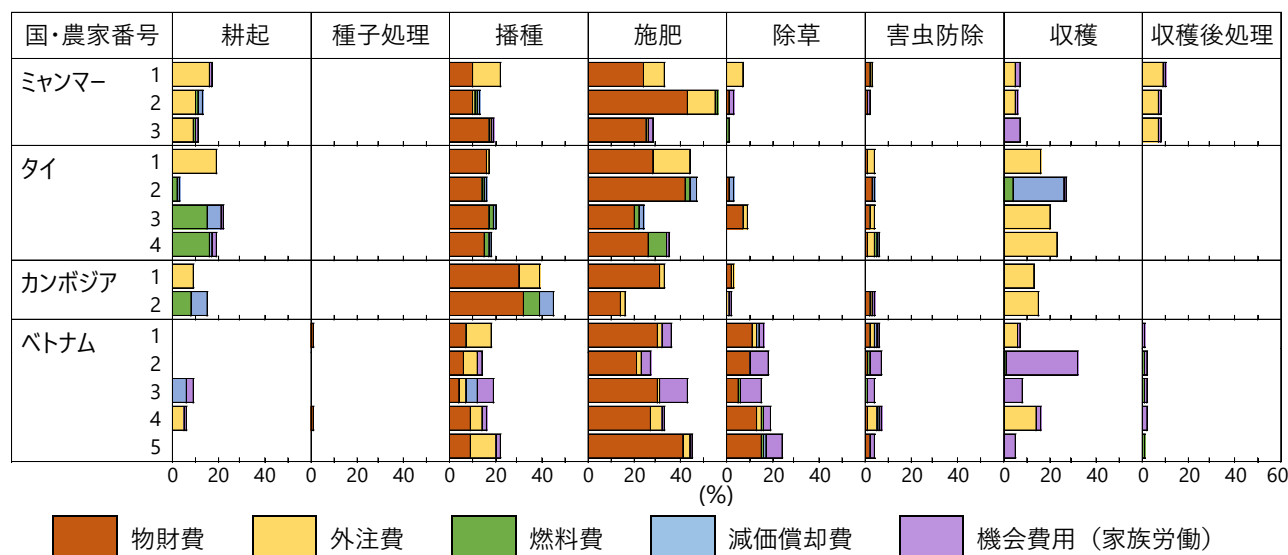


図 1 2022 年雨季作飼料用トウモロコシの生産工程ごとの生産費割合

農家ごとの総生産費に占める各工程の生産費割合。横軸のラベルは 10% 間隔であり、全ての工程の上限は 60%。「害虫防除」は化学殺虫剤の葉面散布を意味する。「収穫後処理」には、脱穀、脱粒、乾燥、畑から市場への輸送が含まれる。「病害防除」についても聞き取りを行ったが、実施している農家がいないため図から省略。ラオスでも聞き取りを行ったが、有効回答が得られなかった。

図は Kusano et al. (2025) © The Author(s) 2025 より転載/改変して作成

水稻の密植栽培はサブサハラアフリカ低収量水田における増収・増益に有効

サブサハラアフリカに多くみられる低収量水田（ $1.8\sim 4.6\text{ t ha}^{-1}$ の収量範囲）では、栽植密度を $25\sim 26.7\text{ 株 m}^{-2}$ から $50\sim 53.3\text{ 株 m}^{-2}$ に増やすことで、栄養成長期の群落受光量が改善され、安定して 0.4 t ha^{-1} の増収が得られる。その増収益は、マダガスカル稲作農家の場合、密植にともなう種子費と移植労働費の増加に比べて、3倍以上大きい。

キーワード：栽植密度、マダガスカル、積算受光量、イネ、収益性

背景・ねらい

サブサハラアフリカのイネ収量は、ヘクタール当たり 2.1 トン （以下、 t ha^{-1} と表記）で、その他の地域の平均収量 5.0 t ha^{-1} に比べて、著しく低い(FAOSTAT, 2024)。同地域の小規模農家の多くは、経済的な要因によって、収量改善に必要な灌漑施設、化学肥料、優良種子などへのアクセスが制限される。一方で、栽植密度の最適化は、小規模農家でも自ら実践できる技術の一つである。栽植密度の効果は、 5.0 t ha^{-1} 以上の比較的高い収量水準をもつ灌漑水田で多く検証されてきた。しかし、サブサハラアフリカにみられる、 5.0 t ha^{-1} 未満の低収量水田において、栽植密度の違いが水稻収量に及ぼす効果を実験的に整理した研究例はなく、その効果を明らかにすることで、小規模農家の収量改善策として実用的なインパクトが期待できる。

そこで本研究では、低収量水田が分布するマダガスカルにおいて、地域、圃場、施肥量、移植時期を変えることで、生産性の異なる計38点の栽培環境を設け、水稻栽培の標準的な栽植密度である $25\sim 26.7\text{ 株 m}^{-2}$ （標準区）と、その倍の $50\sim 53.3\text{ 株 m}^{-2}$ （密植区）の2つの処理が収量に及ぼす効果を明らかにする。また、同地域の60村落356農家を対象とした家計調査をもとに、種子や労働に関わる費用と増収による収益を算出し、栽植密度の最適化による経済的な便益を推定する。

成果の内容・特徴

1. 平均収量（標準区と密植区の平均値）が $1.8\sim 4.6\text{ t ha}^{-1}$ の範囲において、密植区の収量は、栽培環境にかかわらず、標準区に比べて安定して 0.4 t ha^{-1} 高い（図1）。
2. 平均収量が 5.5 t ha^{-1} の高収量条件、もしくは、 1.3 t ha^{-1} 未満の極低収量条件では、密植による増収効果はみられない（図1）。
3. 平均収量が $1.8\sim 4.6\text{ t ha}^{-1}$ の条件では、密植により、栄養成長期の群落の積算受光量が増加し、その効果は登熟まで維持される。平均収量が 5.5 t ha^{-1} の高収量条件では、栄養成長期にみられる積算受光量の改

善効果は、登熟まで維持されない（図2）。

4. 移植から登熟までの積算受光量は収量と高い相関をもつ（図3）。
5. 対象地域の栽植密度、種子費、および移植労働費の平均値は 45.2 株 m^{-2} 、 $106,000\text{ MGA}^*\text{ ha}^{-1}$ および $120,000\text{ MGA ha}^{-1}$ である。これらの値を基に、栽植密度を標準から2倍の密植にすることで増加するコストは、種子費 $58,000\sim 62,000\text{ MGA ha}^{-1}$ 、移植労働費 $66,000\sim 71,000\text{ MGA ha}^{-1}$ 、計 $125,000\sim 133,000\text{ MGA ha}^{-1}$ と推定される（表1）。密植による増収効果 0.4 t ha^{-1} から得られる追加収益は $441,000\text{ MGA ha}^{-1}$ （家計調査で得られた稲穀の平均軒先価格から推定）であり、コストの増加分に比べて3倍以上大きい。

*MGA：マダガスカルの通貨単位で $1\text{ MGA}=0.033923\text{ 円}$ （2025年1月の為替レート）

成果の活用面・留意点

1. 水稻収量が $1.8\sim 4.6\text{ t ha}^{-1}$ 程度にある小規模農家の収量および所得の改善策として期待できる。
2. 本成果は、初期生育が緩慢なマダガスカル中央高地の冷涼地域において、同地域の主力品種X265を用いた試験結果に基づく。同様の収量水準（ $1.8\sim 4.6\text{ t ha}^{-1}$ ）にあっても、温暖地域やその他の品種への適応には追加検証が望ましい。

その他

予算区分：交付金プロ[B5 アフリカ稲作システム（第5期）]、外部資金[地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究実施期間：2017～2024年度

研究担当者：辻本泰弘（生産環境・畜産領域）、尾崎諒介（社会科学領域）、Andrianary, B.H., Rakotonindrina, H., Ramifehiarivo, N.（アンタナナリボ大学放射線研究所）

発表論文等：Andrianary et al. (2024) *Field Crops Research* 318: 109601. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109601>

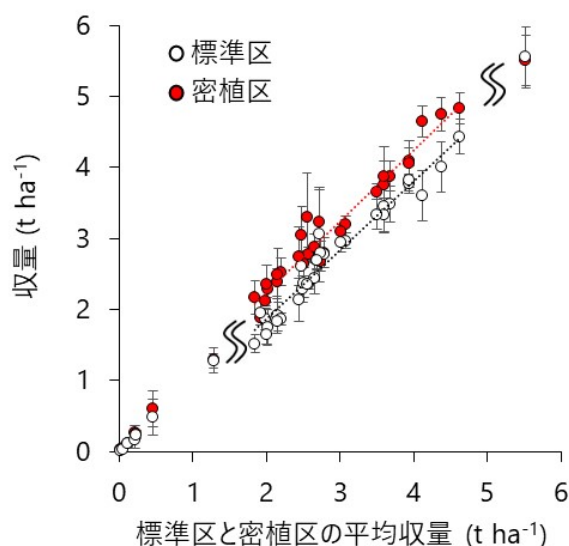


図1 栽植密度の違いが水稻収量に及ぼす影響

平均収量が1.8~4.6 t ha⁻¹の範囲（30 地点）において、栽植密度の効果は、栽培環境にかかわらず、0.1%水準で有意。その他の栽培環境（8 地点）では、栽植密度の効果なし。図中の誤差バーは反復間の標準誤差(n=3~4)。収量は、含水率14%の精粳収量で示した。1.3t ha⁻¹未満の極低収量条件では、いずれも登熟歩合が5割を下回った。全地点で、マダガスカル的主力水稻品種 X265 を供試した。
Copyright 2024 Elsevier

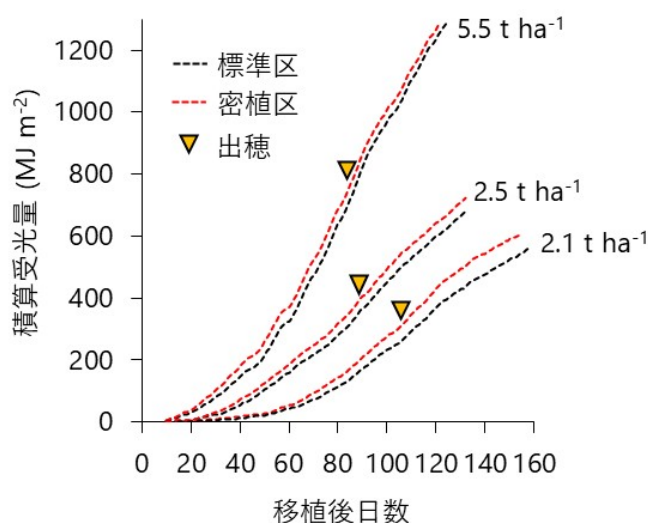


図2 栽植密度の違いが移植から登熟までの積算受光量に及ぼす影響

積算受光量は、日々の群落植被率と日射量の積を日受光量として、その値を積算して求めた。日々の群落植被率は、週ごとに撮影した群落写真と画像解析ソフト ImageJ を用いて Tsujimoto et al. 2017 (Plant Production Science 20, 12–23) の手法に従い推定した。図中の数値は、代表的な3 地点での標準区と密植区の平均収量。
Copyright 2024 Elsevier

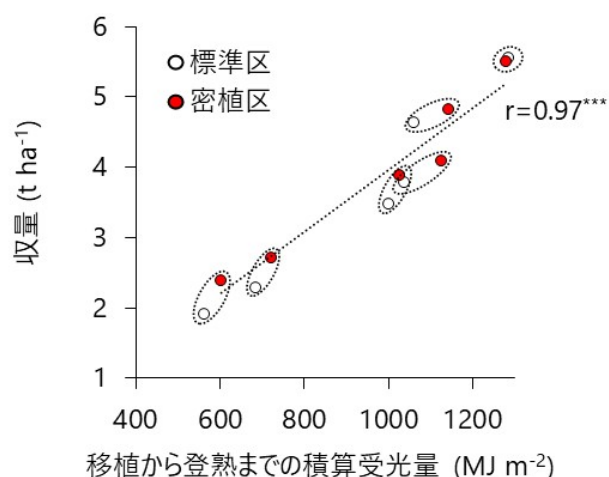


図3 移植から登熟までの群落の積算受光量と収量との関係

6つの異なる栽培環境（点線囲い）での標準区と密植区の数値をプロットした。***0.1%水準で相関係数は有意。
Copyright 2024 Elsevier

表1 標準区と密植区における種子費および移植労働費の推定値

	種子費 (千MGA ha ⁻¹)	移植労働費 (千MGA ha ⁻¹)
農家平均*	106	120
標準区	58~62	66~71
密植区	116~124	132~142

*60 村落 356 農家×3 年間の平均値を示した。移植労働費は家族労働含む。種子費と移植労働費は栽植密度に正比例して増減すると仮定し、農家平均から標準区と密植区の費用を推定した。農家の平均栽植密度は、対象地域 306 水田でのコドラート調査から求めた。

図表は [Andrianary et al. \(2024\)](#) © Elsevier B.V.2024 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

簡易な土壌診断情報の提供がマダガスカルマダガスカルの零細農家の水稻増収と所得増に貢献

土壌中のシュウ酸塩抽出リン含量を用いて窒素施肥効果を診断し、効果が「高い」か「低い」かの簡易な情報をマダガスカルマダガスカルの零細稲作農家に提供する。効果が「高い」と判定された水田では、情報のない水田と比較し窒素施肥量が 76%、収量が 24% 有意に増加する。また、診断情報を受けた農家では、診断情報のない農家と比較し、所得が 24% 有意に増加する。

キーワード：化学肥料、マダガスカル、土壌情報、稲作生産性

背景・ねらい

農家の肥料購買力が低く、かつ、土壌肥沃度の空間変動が大きいサブサハラアフリカでは、施肥応答の高い圃場に優先的に肥料を与えることで、作物の生産性と農業所得の改善が期待できる。しかし、先行研究の多くは、多数の土壌分析値を用いて施肥基準を設定しており、その複雑性や土壌診断費用が高額になることから、土壌診断情報の提供は必ずしも幅広い利用に至っていない。また、土壌診断情報の提供が農家の施肥行動や農業所得に及ぼす影響を社会実験的に実証した研究例は限られる。

本研究では、サブサハラアフリカの中でも、肥料利用量が少なく、かつ、土壌のリン欠乏が主な生産制限要因となっているマダガスカル中央高地を対象に、社会実験を行い、土壌のリン特性値のみを用いた簡易な土壌診断情報の提供が、農家の施肥行動、生産性および所得に及ぼす影響を明らかにする。

成果の内容・特徴

1. 無作為抽出した 10 集落 70 世帯が所有する主要な水田土壌のシュウ酸塩抽出リン含量(Pox)を分析し、窒素施肥効果が「高い」、もしくは「低い」圃場の 2 つ（二値）に分類する。そのうえで、無作為に選定した 35 世帯（介入群）のみに、得られた二値情報を作付時期より前に提供する（図 1）。
2. 介入群と対照群では、所得、稲作面積、水稻収量、水稻への化学肥料投入量、窒素施肥効果が「高い」と診断される圃場の割合など、介入前の世帯属性に有意差はない（表 1）。
3. 圃場間比較では、窒素施肥効果が「高い」という診断情報が提供された介入群の圃場では、診断情報がない対照群の圃場と比較して窒素施肥量が 34.1 kg ha⁻¹ (76%)、水稻収量が 1.1 t ha⁻¹ (24%)、それぞれ有意に増加する。一方で、「低い」という診断情報が提供

された圃場では、窒素施肥量、収量ともに対照群の圃場との有意差はない（図 2）。

4. 世帯間比較では、情報提供を受けた介入群では、対照群に比べて、世帯当たりの稲作収量が 0.6 t ha⁻¹ (16%)、所得が 434 千 MGA* ha⁻¹ (24%) 有意に増加する。世帯当たりの稲作の窒素施肥量に有意差はない（図 3）。

* MGA：マダガスカルマダガスカルの通貨単位で 1MGA=0.033923 円（2025 年 1 月の為替レート）

成果の活用面・留意点

1. 農家の肥料購買力が低く、かつ、土壌肥沃度の空間変動が大きい地域において、化学肥料の効率的な利用や稲作収量および農家所得の向上を図る施策として利用できる。
2. 施策の実施においては、土壌解析と情報提供に要する費用を考慮し、費用対効果を総合的に判断する必要がある。
3. 他地域への応用にあたっては、農家の施肥状況やリン以外に施肥効果に影響を与える要因に応じた情報設計が求められる。

その他

予算区分：交付金プロ [B5 アフリカ稲作システム（第 5 期）]、外部資金 [地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)]

研究実施期間：2017～2024 年度

研究担当者：尾崎諒介（社会科学領域）、辻本泰弘（生産環境・畜産領域）、Andriamananjara, A., Rakotonindrina, H.（アンタナナリボ大学放射線研究所）、櫻井武司（東京大学）

発表論文等：Ozaki et al. (2024) *Agriculture & Food Security* 13:45. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00500-5>

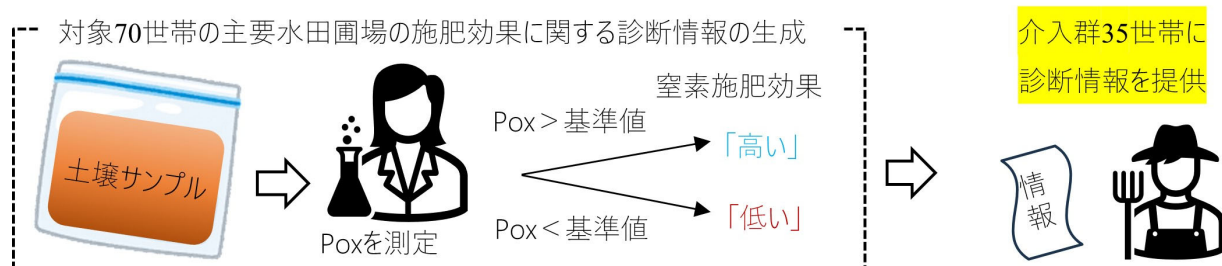


図1 施肥効果に関する簡易な情報の生成および提供のイメージ図

表層土壌のシュウ酸塩抽出リン含量 (Pox) を分析し、Asai et al. (2020) Plant Prod. Sci. 24 (4): 481–489 に従い、Pox 値が基準値 100 ppm を超える場合に窒素施肥効果が「高い」、100 ppm 未満の場合「低い」とした。一部集落では火山灰土壌の影響により土壌のリン吸着能が高く、300 ppm を基準とした。肥料調達にともなう負担や条件の違いが結果に影響を与えないよう、両群に少量の窒素肥料（尿素）5 kg を無償提供し、用途に制限は設けず、個々の農家の判断で転売やその他の作物への利用も可能とした。

表1 情報提供前の対象農家世帯の状況

	介入群	対照群
1.世帯人数	5.1	5.3
2.家長の教育年数	5.7	6.3
3.世帯所得 (10 ³ MGA)*	638.0	628.7
4.世帯当たり稲作（陸稻含む）面積 (ha)	0.61	0.45
5.土壌診断対象圃場の面積 (ha)	0.17	0.14
6.土壌診断対象圃場の前年の収量 (t ha ⁻¹)	4.3	4.5
7.土壌診断対象圃場の前年の窒素施肥量 (kg ha ⁻¹)	14.1	13.3
8.窒素施肥効果が「高い」と判定された圃場の割合 (%)	28.6	34.3

1から7の連続変数については *t* 検定、8はフィッシャーの正確確率検定によって介入群と対照群の差を検証。いずれの項目も群間で有意差なし。*所得は、保有家財の資産価値として求めた。窒素施肥量は農家が使用した化成肥料に含まれる窒素の量を成分割合によって算出し、使用していない場合は0として計算に含めた（図2、図3も同じ計算方法）

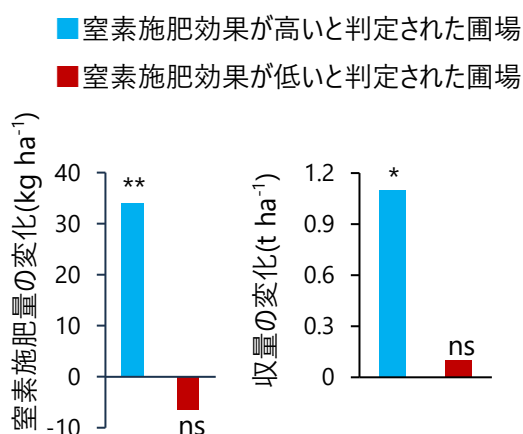


図2 土壌診断情報の提供が当該圃場における水稲作の窒素施肥量と収量に及ぼす効果

**は $p < 0.05$ 、*は $p < 0.10$ で有意差あり、ns は有意差なしを示す。窒素施肥量と収量の変化量は対照群世帯の土壌診断対象圃場と比較した重回帰モデルの偏回帰係数として求めた。

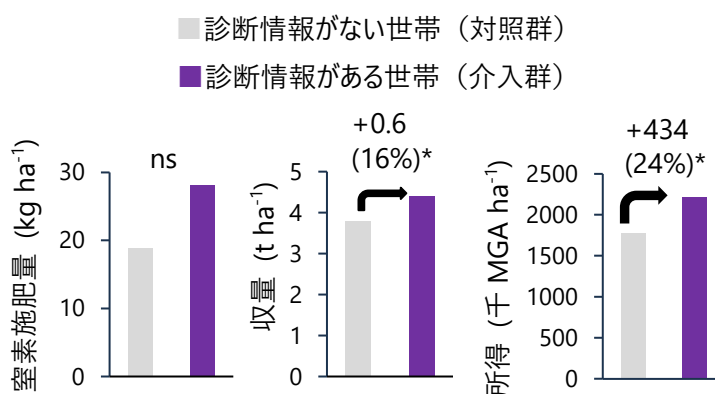


図3 土壌診断情報の提供が世帯当りの稲作（陸稻含む）の窒素施肥量、収量、および所得に及ぼす効果

*は $p < 0.10$ 、ns は有意差なしを示す。所得は生産量に軒先販売価格の集落平均を掛け金額から、種子、雇用労働、農薬肥料の合計費用を引き、単位面積(1ha)当りに換算した。

図表は Ozaki et al. (2024) © The Author(s) 2024 より転載/改変して作成。

イネの穂数を増加させる遺伝子 *MP3* は飼料用米品種「北陸 193 号」を増収させる

「コシヒカリ」由来の遺伝子 *MP3* を国内最多収記録を有する飼料用米品種「北陸 193 号」に交配により導入した新系統「北陸 193 号-*MP3*」は、窒素施肥の有無にかかわらず、「北陸 193 号」と比較して穂数が 21～28% 増加し、6～8% 増収する。新系統の利用により、肥料価格や飼料価格の高騰下における農家の安定生産へ貢献が期待される。

キーワード：イネ、*MP3*、北陸 193 号、多収、低肥料

背景・ねらい

近年、国際情勢の影響による肥料価格および飼料価格の高騰や地球温暖化による高温障害など、国内の農畜産業を取り巻く環境は厳しさを増している。このような状況下で、生産性に優れた飼料用米を利用することは、農家の収益および経営の安定化を図るため戦略の 1 つとして考えられる。

これまでにイネ品種「コシヒカリ」からインディカイネの穂数を増加させる遺伝子 *MP3* を同定し、インディカ多収品種「タカナリ」に *MP3* を交配により導入した結果、穂数および粒数が約 20% 増加し、高 CO₂ 環境下で約 6% の増収を達成した（令和 5 年度国際農林水産業研究成果情報「穂数を増加させる量的遺伝子座 *MP3* は高 CO₂ 環境でイネを増収させる」）。しかしながら、自然大気 CO₂ 環境では増収が見られず、その要因として「タカナリ」の光合成能力不足が考えられた。

一方、国内最多収記録（玄米収量でヘクタール当たり 13 t）を持つインディカ飼料用米品種「北陸 193 号」は、成熟期でも光合成能力に余力があることが示唆されており、*MP3* の導入による更なる増収の可能性が期待される。本研究では、*MP3* を「北陸 193 号」に導入した新系統を開発し、新系統が異なる窒素施肥を行った環境で増収に寄与することを検証する。

成果の内容・特徴

1. 「コシヒカリ」に「北陸 193 号」を複数回戻し交配し開発した新系統「北陸 193 号-*MP3*」（図 1A）は、「北陸 193 号」と比較してより豊かな実りを示す（図 1B）。
2. 窒素施肥の有無にかかわらず、新系統の穂数は「北陸 193 号」と比較して 21～28% 増加し（図 2A）、粒数も 22～23% 増加する（図 2B）。さらに、新系統は「北陸 193 号」と比較して、窒素施肥区では 9.7 t ha⁻¹

から 10.3 t ha⁻¹ へ 6% 増収、窒素無施肥区でも 7.7 t ha⁻¹ から 8.4 t ha⁻¹ へ 8% 増収する（図 2C）。

3. 新系統は、出穂 2 週間後の茎部の非構造的炭水化物(NSC)が「北陸 193 号」より著しく減少する（図 3）。このことは、新系統はこの期間により多くの NSC を穂へ転流させ、胚乳細胞の生長を促すことを示唆している。
4. 「北陸 193 号」と新系統の成熟期における一穂内の粒のうち、6 mg 以下の空粒の割合は 11% と同程度である（図 4）。このことは、新系統は穂数の増加に伴って増加する粒を十分に稔実させる光合成能力や転流能力を有することを示唆している。

成果の活用面・留意点

1. 新系統の利用により、肥料価格および飼料価格の高騰下における農家の安定生産へ貢献が期待される。
2. 栽培試験を行った 2023 年は、供試品種・系統の出穂～登熟にあたる 8 月の日平均最高気温が 34℃ の観測史上最高値を記録しており、こうした酷暑環境においても本成果の汎用性が期待される。
3. *MP3* を利用することで、「北陸 193 号」と同等の高い光合成能力を有する世界のインディカ品種の更なる収量性向上が期待できる。

その他

予算区分：交付金プロ「B5 アフリカ稲作システム（第 5 期）」、外部資金「科研費」
研究実施期間：2022～2023 年度
研究担当者：高井俊之、アウン・ゾー・ウー（生産環境・畜産領域）、中野洋（農研機構）
発表論文等：Takai et al. (2024) *Field Crops Research* 318: 109566. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109566>

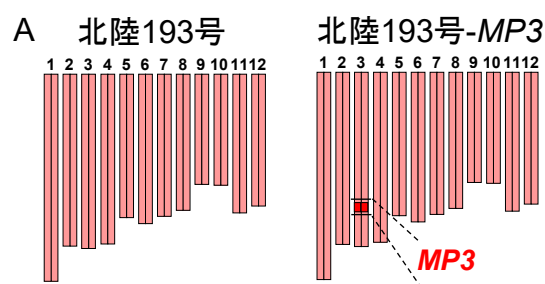


図1 新系統「北陸193号-MP3」

親品種「北陸193号」と「北陸193号-MP3」の遺伝子型(A)および草姿(B)。

(A)内の数値は染色体番号、縦棒は染色体の長さを示す。

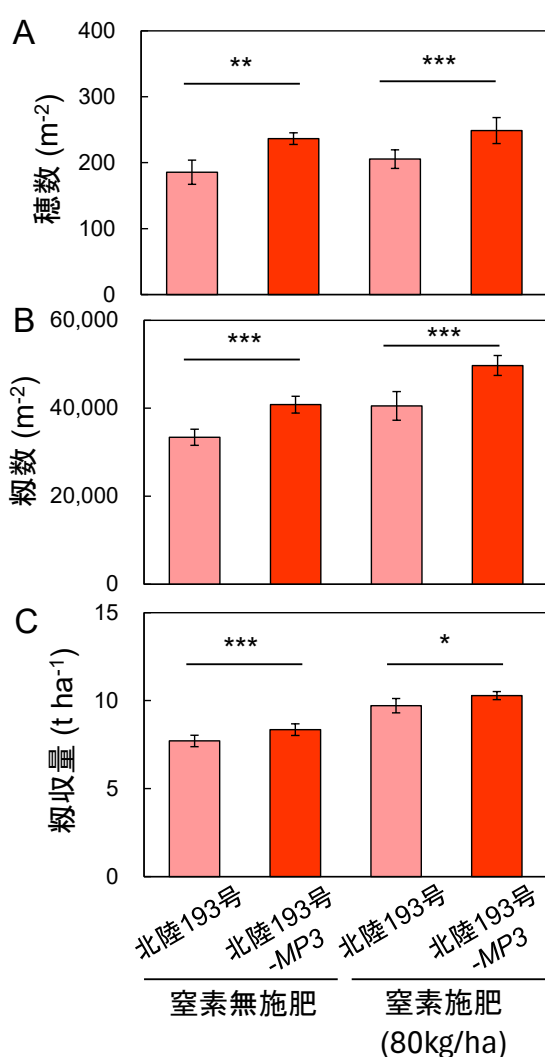
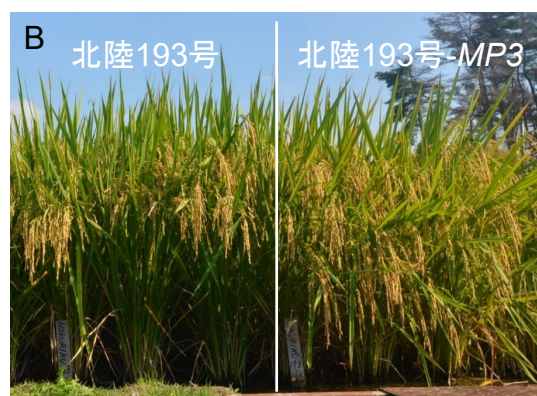


図2 「北陸193号」と「北陸193号-MP3」の窒素施肥の違いにおける穂数(A)、粒数(B)、粒収量(C)の比較

＊、＊、＊は5%、1%、0.1%水準でそれぞれ有意であることを示す(ANOVA)。

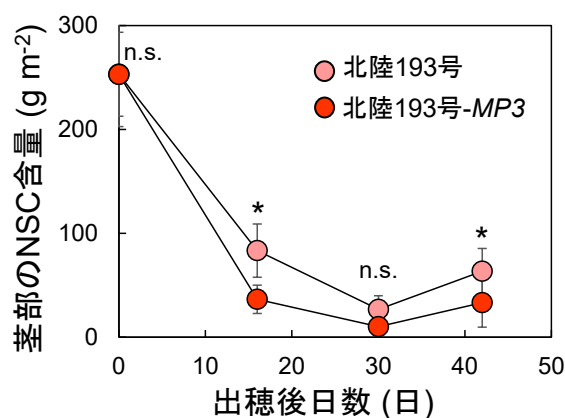


図3 「北陸193号」と「北陸193号-MP3」の出穂後における茎部の非構造性炭水化物(NSC)含量の比較

NSCは糖や澱粉など、植物体内に蓄積された光合成産物のこと。多くは登熟期に穂に転流されて、粒生長のエネルギー源となる。n.s.は有意差なし、*は5%水準で有意であることを示す(ANOVA)。

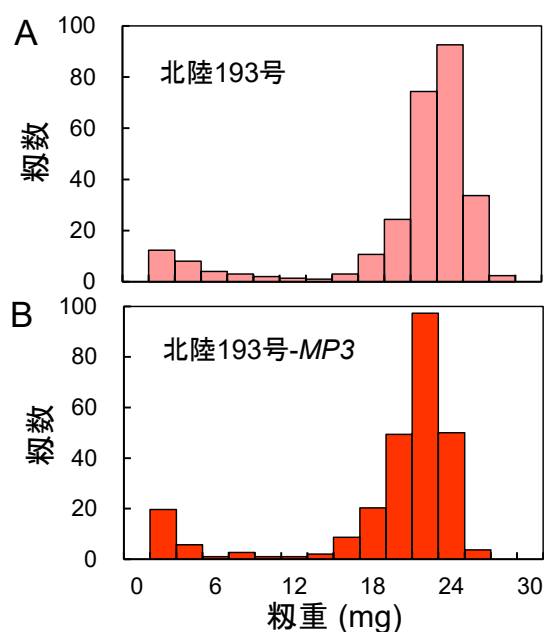


図4 「北陸193号」(A)と「北陸193号-MP3」(B)の成熟期における一穂内の粒重の分布

図は Takai et al. (2024) ©Author(s) 2024 より転載/改変して作成

乾燥サバンナのマメ科作物ではリン鉱石直接施用により化学リン肥料の代替が可能

西アフリカの乾燥サバンナに広く分布する低肥沃土壌では、安価なリン鉱石粉はササゲ、ラッカセイ、ダイズに対して化学リン肥料と同等の効果があり、代替品として利用できる。特に、ダイズは最も高い施用効果が得られる。また、土壌型プリンソルでは土壌型リキシソルよりも 10% 程度増収効果が高い。

キーワード：西アフリカ、乾燥サバンナ、マメ科、低品位リン鉱石

背景・ねらい

半乾燥熱帯地域の風化土壌ではリン欠乏が食料生産を妨げ、小規模農家の慢性的な貧困を引き起こしている。しかし、化学肥料は多くの発展途上国の農家にとって高価なため手が届かず、近年の肥料価格高騰が状況をさらに悪化させている。

リン鉱石の中でリン酸含量が低いものや、不純物を多く含む化学的反応性の低いものは低品位に分類され、その多くは利用されていない。粉碎された低品位リン鉱石（以下、リン鉱石：図 1）は、化学的なリン肥料に代わる安価な選択肢である。これまでに、水稻ではリン鉱石施用の有効性が確認されている（平成 25 年度国際農林水産業研究成果情報 B03「ブルキナファソ産リン鉱石は水田への直接施用において高い肥効を示す」）が、乾燥条件となる畑地での効果は低いと考えられていたため、リン鉱石施用の効果に対する作物種間差や土壌型の影響に関する知見は少ない。

マメ科作物は共生的窒素固定による土壌の酸性化や有機酸の分泌能力を有することから、リン鉱石に含まれる難溶性リンを利用しやすいと考えられる。そこで、本研究では、スーダンサバンナで優占する 2 種類の土壌型（リキシソル*、プリンソル**）において、現地で主要な 5 種のマメ科作物（ササゲ、ラッカセイ、バンバラマメ、リョクトウ、ダイズ）を栽培し、リン鉱石の直接施用に適した作物を明らかにする。

*リキシソル：相対的に肥沃で保水性が高い一方、降雨直後には酸素不足による過湿害を受けやすい。

**プリンソル：肥沃度や保水性がリキシソルよりも低く、乾燥ストレスを受けやすい。

成果の内容・特徴

1. 西アフリカ乾燥サバンナの平均的な降雨条件において、ササゲ、ラッカセイ、ダイズではブルキナファソ産低品位リン鉱石の施用により化学リン肥料と同等の効果が得ら

れる（図 2）。ササゲとラッカセイはリン鉱石施用条件下における絶対収量が他のマメ科作物よりも高い。ダイズは絶対収量が低いものの、施用による増収率が最も高い。

2. リキシソル土壌は相対的に養分に富むため、プリンソル土壌より実収量が高いが、高い保水力に起因する土壌過湿害により施肥効果が低い。このため、リン鉱石施用による収量増加率はリキシソル土壌よりもプリンソル土壌で高い（図 2）。

成果の活用面・留意点

1. 現地の主要な農業形態である畑作において、安価な低品位リン鉱石による増収効果が明らかになったことで、半乾燥地の低肥沃土壌における作物生産改善にむけたリン鉱石の利用促進に貢献する。
2. リン鉱石の可溶性は産地によって異なるため、可溶性の高いリン鉱石を用いる場合はより高い効果が期待できる。
3. 窒素施肥を行わずリン鉱石のみ施用する場合、リンよりも窒素制限が相対的に強まるため、増収効果が低下する可能性がある。

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)]、交付金 [B6 アフリカ畑作システム（第 5 期）]

研究実施期間：2019～2022 年度、2021～2024 年度

研究担当者：井関洸太郎（生物資源・利用領域）、伊ヶ崎健大（生産環境・畜産領域）、中村智史（生産環境・畜産領域）、Sidibe, H.（ブルキナファソ環境農業研究所）

発表論文等：Iseki et al. (2024) *Plant Production Science* 27(4): 272-282. DOI: 10.1080/1343943X.2024.2400084

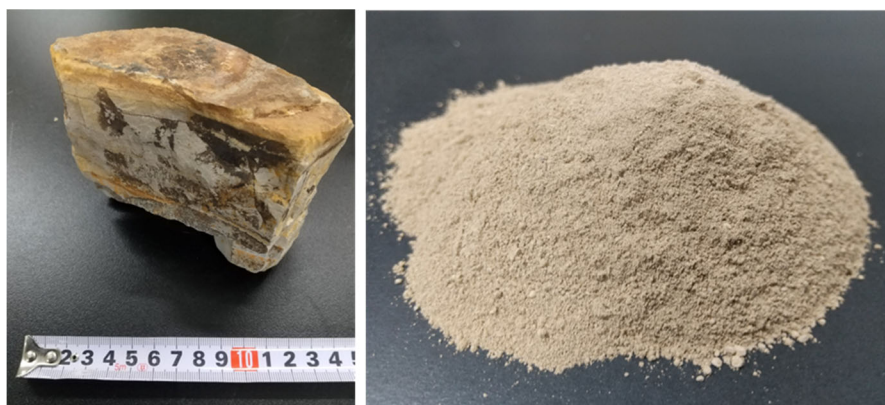


図 1 ブルキナファソ産低品位リン鉱石（左）とその粉碎試料（右）

栽培試験のリン鉱石施用区には右の粉碎試料を現地の推奨量に従い 1ha 当たり 400 kg の割合で施用した。

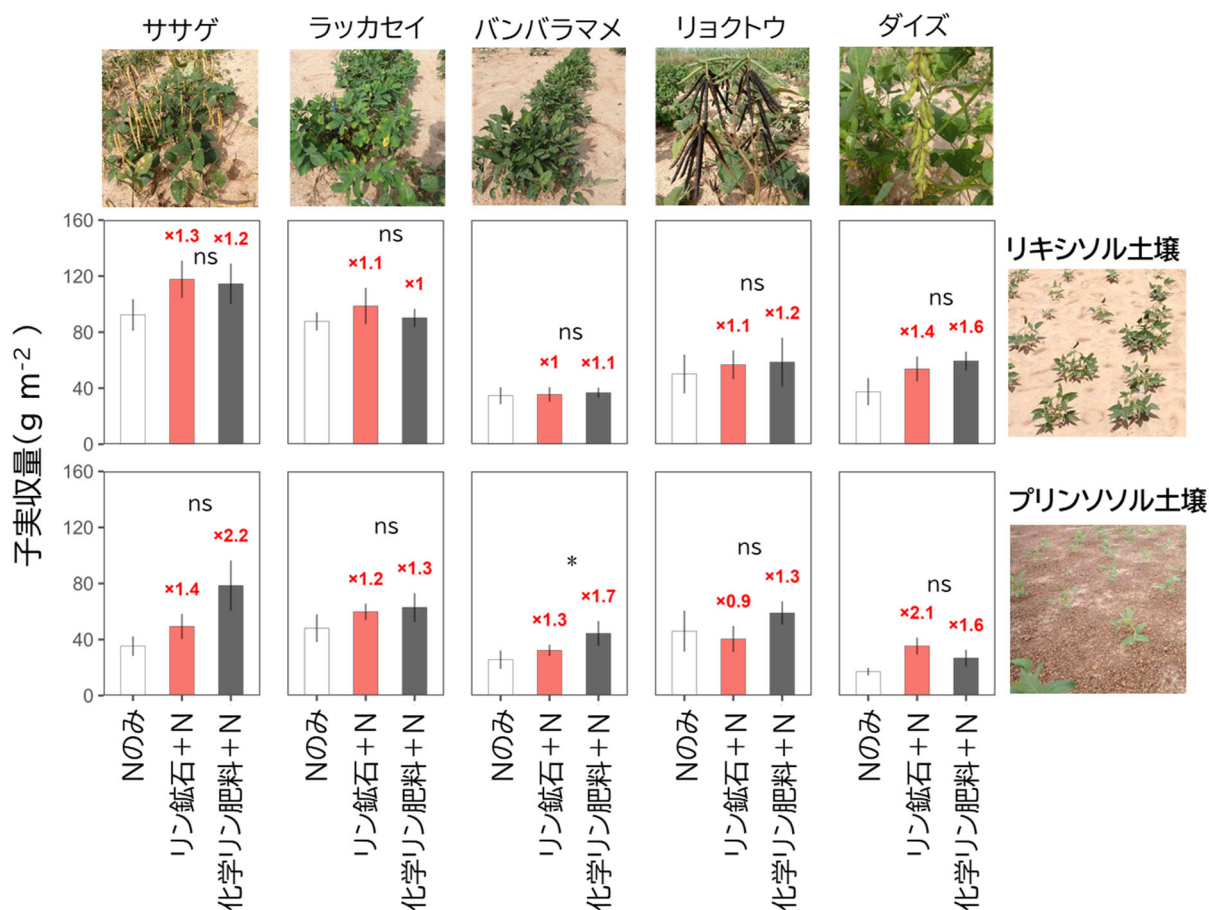


図 2 異なるマメ科作物における低品位リン鉱石と化学リン肥料の効果の違い

リキシソル土壌（上段）とプリンソル土壌（下段）における 2 年間の栽培試験データ（各 5 反復）の平均値±標準誤差(n=10)を示す。N のみは窒素のみ尿酸態で 14 kg ha⁻¹ 施用した対照区で、化学リン肥料+N は窒素とともに重過リン酸石灰をリン含量でリン鉱石と同量(4.6 kg P ha⁻¹)施用した処理区。赤字は対照区（N のみ）に対する収量の相対増加率。ns は student-t 検定でリン鉱石と化学リン肥料による増加率に有意差なし、* は有意水準 $p < 0.01$ で増加率が異なることを示す。

図表は Iseki et al. (2024) © The Author(s) 2024 より転載/改編して作成

土-石膏混合クラストで種子の出芽能力を簡易に評価

石膏と土の混合資材を用いることで、土壌クラストを任意の硬度で均一に再現することができる。この手法をダイズ遺伝資源集団に用いることで、クラスト生成条件下において出芽能力が優れる系統・品種を簡便、迅速かつ低コストに選抜することができる。この手法はダイズ以外にも幅広く応用できるため、様々な作物遺伝資源においてクラスト条件下での出芽能力に優れる系統選抜が進むと期待される。

キーワード：土壌クラスト、出芽、簡易評価、ダイズ

背景・ねらい

畑が裸地状態の際に降雨後の地表面に形成される土壌クラスト（緻密で硬い薄層）は、種子の出芽を物理的に阻害し、株立ち数を減らすことから、面積当たりの収量減少や再播種のためのコスト増加など、栽培上の問題となっている。クラスト条件で安定して出芽する品種が必要とされているが、自然条件ではクラストが均一に形成されないうえ、クラスト硬度の調整が困難である。

これまで、均一なクラストを人工的に再現する場合、対象の畑条件で採取した土壌に対して人工降雨装置を用いる方法がとられてきた。しかし、土壌採取の手間に加えて人工降雨装置が高価であることから簡便であるとはいえず、多数の遺伝資源を評価するのに適していない。このため、既往研究では十分な数の遺伝資源評価を行うことができず、品種育成が遅れる原因となっている。

本研究では、入手が容易で安価な石膏を土壌に混合した資材を用いることで均一な土壌クラストを再現し、クラストに対する出芽能力を効率的に評価する手法を開発する。

成果の内容・特徴

1. 目的の硬度に応じて市販の石膏を 20~40%程度の割合で土壌に混合し、ペーパーポットに播いた種子を均一に覆う（図 1）。ペーパーポットには保水力の高い土（水田土壌）を用い、種子は予備発芽させることで均一な条件で再現性の高い評価ができる。
2. 土-石膏混合資材は時間経過とともに硬度が増す。温度 30℃、湿度 50%の条件で処理開始からおよそ

100 時間後に目的の硬度に達するように混合比を調整する（図 2）。西アフリカで優占する土壌を想定した場合、100 時間後に混合比 20%で実際の土壌クラストに近い硬度（1.57 MPa）が得られる。

3. 特別な装置を必要とせず、低コストで実施可能であるため、反復を伴う多系統のスクリーニングに適している（図 3）。

成果の活用面・留意点

1. 対象作物に適したサイズのペーパーポットを用いることでダイズ以外の作物にも適用可能である。また、ペーパーポットが入手できない場合、市販のトレイなどでも代用可能である。
2. 使用する土の性質の違いや処理開始後の温湿度条件によって硬化速度が変化するため、試験条件における土-石膏混合資材の硬化速度をあらかじめ確認する必要がある。
3. 出芽速度などの植物特性や目的のクラスト硬度に応じて石膏の乾燥時間（本研究では 100 時間後に設定）は任意に設定できる。

その他

予算区分：交付金プロ [B6 アフリカ畑作（第 5 期）]、理事長インセンティブ経費

研究実施期間：2021~2022 年度

研究担当者：中川アンドレッサ、伊ヶ崎健大（生産環境・畜産領域）、井関洸太郎（生物資源・利用領域）

発表論文等：Nakagawa et al. (2024) *Plant Production Science* 27(4): 265–271. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2392296>

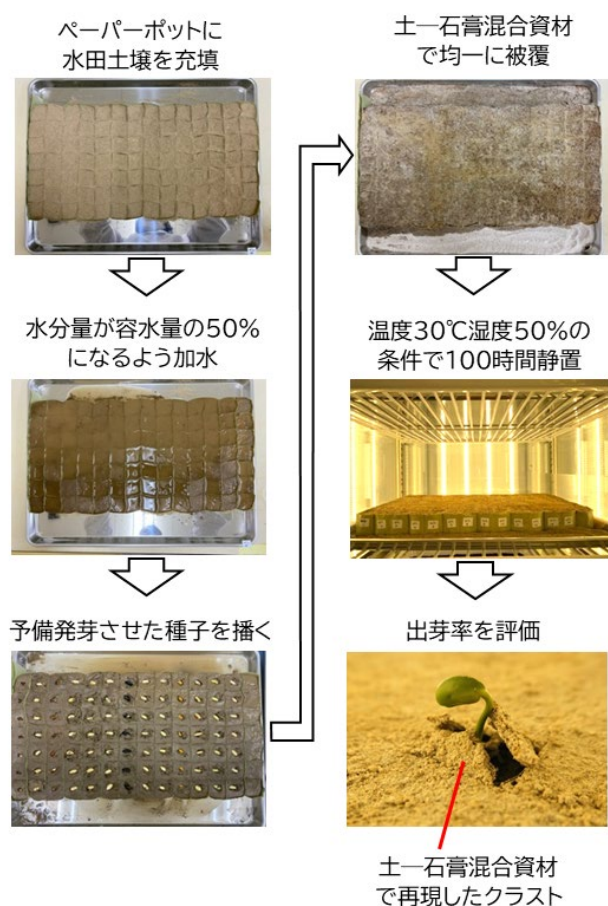


図1 土壌クラストに対する出芽能力の評価手順

発芽処理済みのダイズ種子をペーパーポット内の加水した水田土壌に播種し、土-石膏混合資材で覆う。ペーパーポットは温度30℃、湿度50%に設定した人工気象器内に設置し、100時間後に出芽率を評価する。

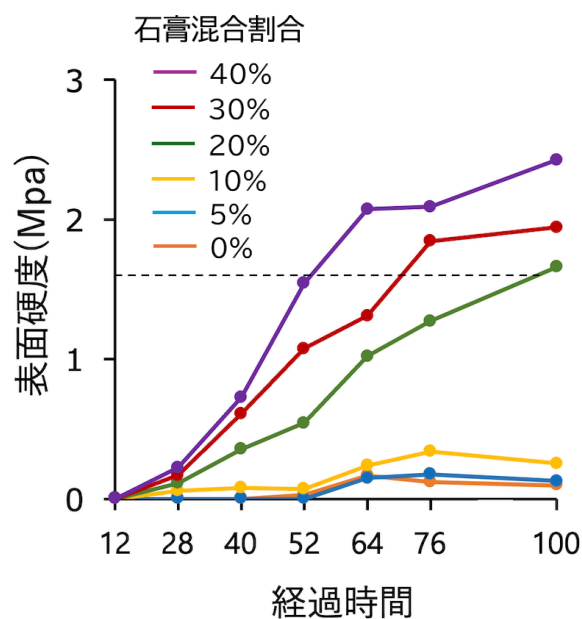


図2 土-石膏混合資材の表面硬度の経時変化

0~40%の割合で石膏を混合した場合の表面硬度の経時変化を貫入硬度計で計測。図中の破線はこの試験における目的硬度を示し、西アフリカの優占土壌を想定。

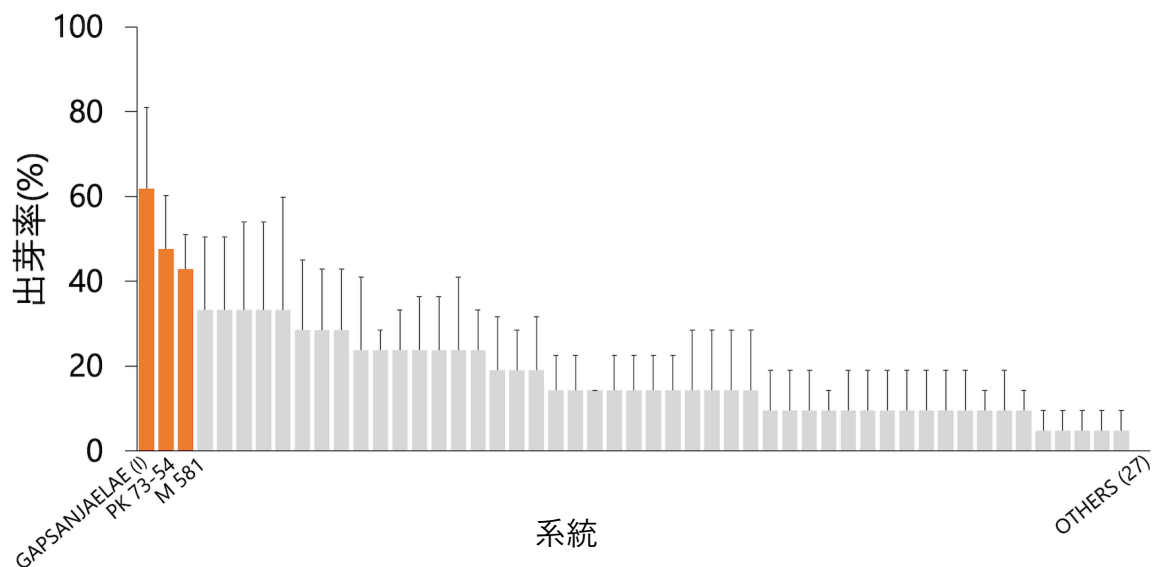


図3 本手法によるダイズ遺伝資源の出芽能力評価

ダイズ世界ミニコアコレクションの78系統および熱帯由来の4品種を含む、計82系統・品種における出芽率を示す。オレンジ色バーは出芽率の高い上位3系統を示す。出芽率がゼロであった27系統は、「OTHERS」として示す。棒グラフおよびエラーバーは、それぞれ3反復の平均値および標準誤差を示す。

植物肉の栄養・健康面、原料面と環境面の特徴に対する中国消費者の嗜好分析

健康や環境への関心が高まる近年において注目を集める植物肉には、従来の食肉と異なる特徴があり、消費者嗜好の理解に基づく政策立案は持続的な食料システム実現に貢献し得る。中国における大規模調査は、消費者が、植物肉の主要な 13 の特徴のうち、環境面や原料面の特徴よりも、豊富な食物繊維、ホルモン剤非含有、コレステロール非含有など栄養面や健康面の特徴を重視する傾向を示す。一方、消費者の社会的特性に応じて嗜好パターンは不均一であり、健康的な栄養素を好む、健康に有害な成分を嫌うなどの傾向がある。

キーワード：植物肉の特徴、栄養・健康、原料、環境、消費者の嗜好

背景・ねらい

所得水準の上昇や食習慣の変化により、世界で肉類の消費量が増加しつつある。OECD/FAO は 2030 年の世界の肉類由来タンパク質の需要は、2018～2020 年の基準期間平均と比較して 14%増加すると予測しており、動物性タンパク質の需要・供給増にともなう人間の健康と環境の持続可能性への影響に関する懸念が課題となっている。近年、大豆や小麦、エンドウ豆、こんにゃく、ソラマメなどの植物由来の原料を用いて作る代替肉の一種である植物肉は、栄養・健康面、原料面、環境面といった多くの利点から、持続的な食料システムに重要な貢献を果たすことが期待されている。従来の食肉と比べると、植物肉には様々な異なる特徴があり、食品メーカーはこれらの特徴を消費者に示すことで植物肉の効用をアピールすることができる。しかし、植物肉はまだ市場で広く普及していないため、消費者の嗜好に関する理解はまだ不十分である。植物肉に対する消費者の認識や受容をより深く理解し、その普及を促進するためには、消費者の嗜好をより詳しく研究する必要がある。

従来の食肉の消費者が植物肉の潜在的な消費者であることを踏まえ、本研究では、世界最大の食肉および植物肉消費市場であり世界最大の食肉輸入国でもある中国の主要な 5 つの都市を対象に、ベスト・ワースト・スケーリング手法（BWS 手法、図 1）を用いて 2,500 人を対象とした大規模な消費者調査を実施する。定量化しやすい植物肉の 13 の特徴を文献調査に基づいて選び出し、消費者がどの特徴を最も重視しているかを計量分析により明らかにしたうえで、消費者の社会的特性に応じた嗜好パターンのばらつきについても検証する。

成果の内容・特徴

1. 植物肉の主要な 13 の特徴のうち、調査対象の消費者が最も重視するのは豊富な食物繊維（1 位）、ホルモン剤非含有（2 位）とコレステロール非含有（3 位）である。植物肉を選ぶ理由として、消費者の 17%、13.1%、11.7%がそれぞれ、豊富な食物繊維、ホルモン

剤非含有とコレステロール非含有を最も重要な理由として挙げている（表 1）。

2. 最も重視されていない特徴はエンドウ豆たんぱく質（11 位）、炭素ラベル（12 位）、ビーガンフォーミュラ（13 位）であった。栄養・健康面、原料面、環境面の特徴のうち、調査対象の消費者は栄養・健康面の特徴を重視する傾向がある（表 1）。
3. 回答者の選択傾向に基づいて、潜在クラスモデル（表 2 注）を用いて 3 つのグループに分類し、各消費者を最も所属する確率が高いグループに割り当てた。特徴に対する重要性の順位はグループ間で異なっていたが、全てのグループの消費者が最も重視する 3 つの特徴は、栄養・健康面の特徴であった（表 2）。
4. 消費者の社会的特性に応じ、栄養素や成分に対する嗜好は不均一である。健康的な栄養素を好むグループは、健康に有害な成分を嫌うグループより、所得が高く、年齢が若く、男性が多く、肉類の支出が高い（表 2）。

成果の活用面・留意点

1. これらの成果は植物肉に対する消費者の嗜好についての理解を深め、植物肉の普及を促進する政策立案の科学的根拠として用いることができ、持続的な食料システムの実現に貢献することが期待される。
2. 消費者の嗜好は不均一であるため、それに応じて特定の消費者層をねらった普及促進方針を策定することができる。
3. 中国の主要な 5 つの都市の消費者を対象として得られた成果であり、その他の市場を利用する場合は、現地の消費者の特性等を十分に考慮する必要がある。

その他

予算区分：交付金プロ [C1 戦略情報（第 5 期）]

研究実施期間：2022～2024 年度

研究担当者：呉文超（社会科学領域）、Yuan, R.（貴州大学）、Jin, S.（浙江大学）

発表論文等：Wu et al. (2024) *Future Foods* 9: 100384.

<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100384>

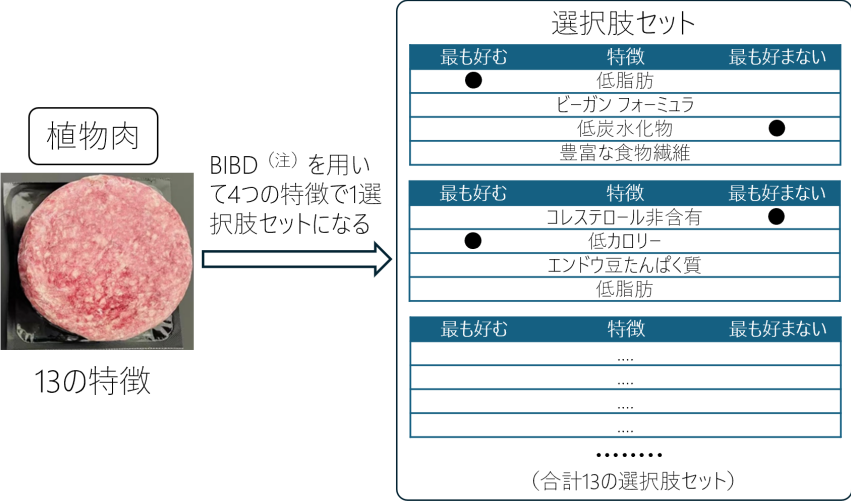


図1 回答者に提示された BWS の組み合わせの例

回答者に各選択肢の中で最も好みの属性を1つ、最も好まない属性を1つ選択するよう求め、回答者は●をつけて選択する。
（注）BIBD (Balanced Incomplete Block Design): 釣合い型不完備ブロック計画。

特徴	重要性の順位	嗜好の割合
豊富な食物繊維	1	17.0%
ホルモン剤非含有 ^(注)	2	13.1%
コレステロール非含有	3	11.7%
高タンパク	4	11.5%
トランス脂肪酸非含有	5	10.3%
ミネラル(鉄)含有	6	7.3%
低脂肪	7	6.7%
低カロリー	8	5.3%
大豆たんぱく質	9	4.7%
低炭水化物	10	3.7%
エンドウ豆たんぱく質	11	3.4%
炭素ラベル	12	2.9%
ビーガンフォーミュラ	13	2.6%

表1 混合ロジットモデルで推定した各特徴に対する嗜好の割合

青：栄養・健康面の特徴
赤：原料面の特徴
緑：環境面の特徴
嗜好の割合はその特徴を最も重視する消費者の割合を示している。
（注）中国では畜産業でのホルモン剤の使用が禁止されているが、文献によれば懸念する消費者が多い (Wang (2022) Meat Science 194: 108982)。

表2 潜在クラスモデル^(注)による消費者のセグメンテーションと特性

（注）潜在クラスモデルは、観測された個体はいずれかの潜在クラスに属すると考えるモデルである。

各グループの消費者が最も重視する3つの特徴				
重要性の順位	健康的な栄養素を好むグループ		中間的な嗜好のグループ	
				健康に有害な成分を嫌うグループ
1	(+) 豊富な食物繊維	(+) 豊富な食物繊維	(-) ホルモン剤非含有	
2	(+) 高タンパク	(-) ホルモン剤非含有	(-) トランス脂肪酸なし	
3	(+) ミネラル(鉄)含有	(+) 高タンパク	(-) コレステロール非含有	
消費者の割合	47%		24%	
社会経済変数				
所得（低～高7つの所得区分）	0.19***		0.05	
年齢	-0.11**		-0.01	
性別（女性=1,男性=0）	-0.24**		-0.24**	
肉類支出（低～高4つの支出区分）	0.43***		-0.01	

(+)は植物肉を摂取すれば、健康に有益な栄養素が増加することを示す。

(-)は植物肉を摂取すれば、健康に有害な成分が減少することを示す。

は5%、*は1%水準で有意あり（Wald-test）。

図表は Wu et al. (2024) © The Autor(s) 2024 より転載/改変して作成

ゴカイ生餌の給餌によるバナメイエビ成熟制御技術の開発

バナメイエビ養殖の持続性および収益性維持には、高品質な種苗の安定供給を可能とする技術が必要となる。人工配合餌料に加えゴカイの生餌を併せて給餌することにより、親エビの卵成熟誘導を促進し、産卵回数・産卵数を向上させ、成熟効果を長く維持できる。従来の眼柄切除法に代わる新たな卵成熟誘導技術としてこの給餌法を採用することで、エビ養殖において最も手間と時間を要していた種苗生産の効率化が期待できる。

キーワード：眼柄切除、産卵、給餌法、生殖能力、バナメイエビ

背景・ねらい

養殖環境下における親エビの卵成熟誘導には、卵黄形成抑制ホルモン(VIH)を分泌する眼柄を切除し、催熟を促す方法が用いられている。しかし眼柄には VIH の他にも生命維持に関わる重要なホルモンが存在し、これらを全て遮断する眼柄切除法は、施術時のハンドリングも含め親エビ個体への負担が大きい。また個々の親エビに切除処理を行うため、作業には多大な時間と手間を要し、生産性の低下につながっている。加えて近年は動物福祉の観点から、甲殻類においても飼育個体への物理的負担を問題視する動きもみられ、物理的切除以外の方法で人工催熟を促す方法の開発が求められている。本研究は、従来の眼柄切除法に代わり雌親エビに物理的負担を与えずに成熟・産卵を促進させる技術を開発する。

成果の内容・特徴

- 多価不飽和脂肪酸を含む多毛類を親エビに給餌すると、プロスタグランジンの生合成・卵成熟が促される可能性がある。そこで、ゴカイ (*Nereis sp.*) を原料とした生餌を人工餌料とともにバナメイエビ雌親個体に給餌した際の卵巣催熟の効果を検証した。人工配合餌料のみの投餌と人工配合餌料と生餌を 3 対 7 の割合で投餌する 2 種類の投餌法に、眼柄切除処理の有無を組み合わせた計 4 群の試験区を設け、各群 9 尾ずつの雌親エビを 8 週間にわたり給餌飼育し、その間の延べ成熟回数を計数した（図 1）。さらに成熟個体がみられた試験区では自然交尾または人工授精を施し、試験区ごとの延べ産卵回数と 1 産卵当たりの卵数を調べた（図 2）。
- 各試験区の延べ成熟回数を比較すると、同じ餌条件では眼柄切除群(B、D)は非切除群(A、C)より 3.0～4.3 倍ほど高い値を示す。これは眼柄切除法の高い催熟効果を表すが、餌料の違いで比較すると、切除なしでは 2.3 倍(A、C)、切除ありでは 1.6 倍(B、D)、ゴカイの生餌を与えた群(C、D)の方がそれぞれ多く成熟に至る（表 1）。また各試験区における成熟個体の出現割合を経過時間毎にみると、眼柄切除の有無にかかわら

ず、多毛類の生餌を与えた群(C、D)の方が、試験期間終盤に至るまで成熟個体が出現し、多毛類の生餌給餌は、配合餌料のみの給餌に比べ催熟効果が高く、かつより長期間その効果が維持される（図 3）。

- 成熟個体が現れた試験区に対して、雄親エビの投入による自然交尾あるいは人工授精による産卵を促した結果、延べ産卵回数では眼柄切除+生餌投餌の D 群が延べ 7 回と最大であるが、1 回当たりの産卵数では眼柄切除なし+生餌投餌の C 群が最大値を示す（表 1）。

成果の活用面・留意点

- 人工餌料に加え、ゴカイの生餌を雌親エビに給餌することにより、従来の眼柄切除処理を行わずとも従来法と同程度あるいはそれを上回る雌親エビの卵成熟誘導を促進することができる。これにより、親エビを傷つけることなく、また個々の雌親個体にいちいち処理を行わずとも稚エビの生産ができるようになり、従来法を上回る生産効率を達成することが可能となる。

その他

予算区分：交付金プロ [C2 実用化連携]

研究期間：2021～2024 年度

研究担当者：マーシー・ワイルダー、姜奉廷、ザケア・スルタナ（水産領域）

発表論文等：スルタナら (2023). 日本水産学会誌、「実験条件下において異なる飼餌料で飼育されたバナメイエビ

Litopenaeus vannamei の繁殖能力およびそれに及ぼす眼柄切除の影響」(2023 年 3 月号、89: 127-13)

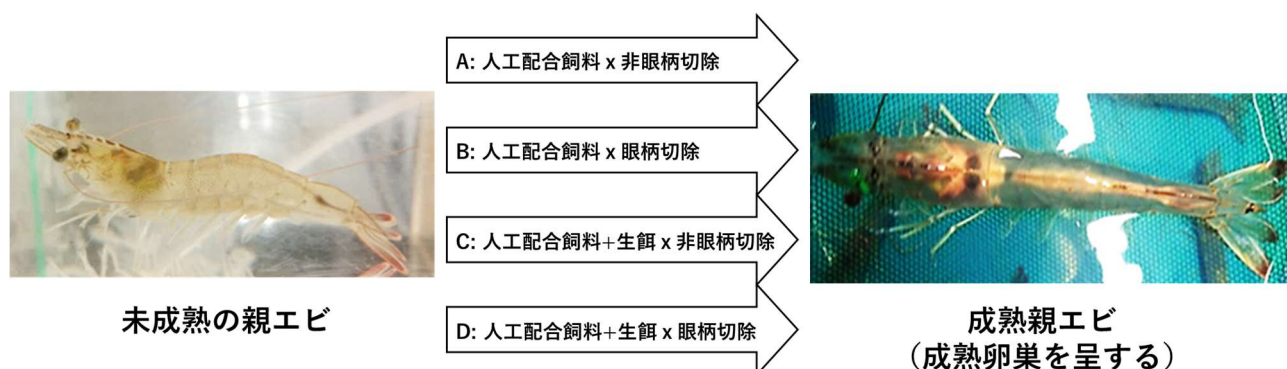


図 1 バナメイエビの卵巣催熟試験における実験区設定

バナメイエビの卵巣催熟試験の 4 試験区。「人工配合飼料のみを与えた群」と「人工配合飼料と生餌（多毛類のゴカイ *Nereis sp.*）を 3 対 7 の割合で与えた群」に対し、それぞれ「眼柄切除処理なし」「眼柄切除あり」を組み合わせて設定。

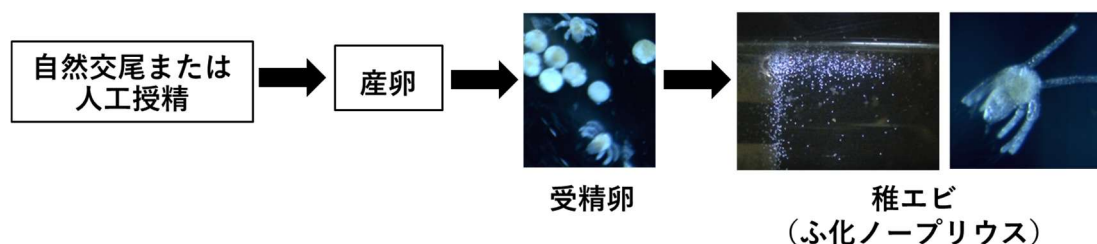


図 2 自然交尾または人工授精による産卵・発生過程の模式図

表 1 餌料と眼柄切除の有無の組み合わせによる 4 試験区における飼育試験期間中の成熟・産卵状況

	人工配合飼料		人工配合飼料+生餌	
	A: 非眼柄切除	B: 眼柄切除	C: 非眼柄切除	D: 眼柄切除
延べ成熟回数	3回	13回	7回	21回
延べ産卵回数	1回 ^(a)	2回 ^(a)	4回 ^(b)	7回 ^(a)
1産卵当たり卵数	1.4×10^5 ⁽⁻⁾	$1.3 \pm 0.3 \times 10^5$ ^(a)	$4.4 \pm 0.2 \times 10^5$ ^(b)	$2.7 \pm 0.2 \times 10^5$ ^(a)

各試験区ともそれぞれ 9 尾の雌親エビを 8 週間にわたり飼育し、その間にみられた延べ成熟回数と述べ産卵回数（いずれも目視で確認）、また 1 回の産卵当たりの卵数の分布を表示。表中の英文字は有意差の有無を示す（カイ二乗検定後、One-way ANOVA; $p < 0.05$ 。"-は産卵が 1 回しか起こらなかったため統計処理せず、の意）。

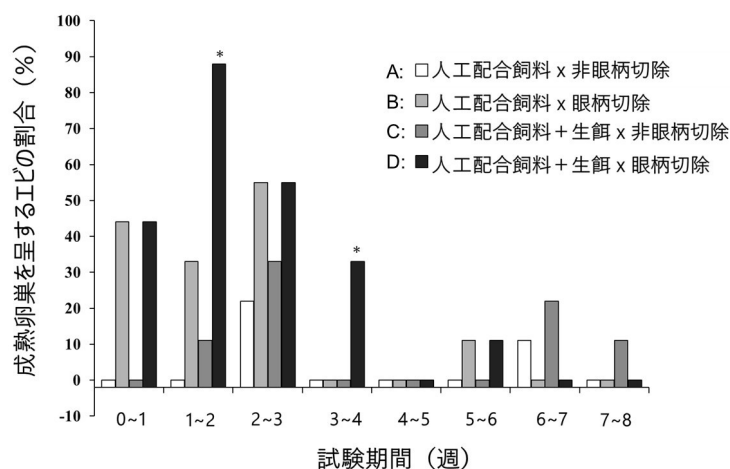


図 3 各試験区における成熟雌個体出現割合の推移

図 1 および表 1 に示した 4 試験区において、成熟卵巣を呈する雌親エビの出現割合を、試験期間の経過時間毎に示した。「*」は有意差が認められた群（Friedman test, $p < 0.05$ ）。

図表はスルタナラ（2023）日本水産学会誌 89: 127-136 Fig. 1a, Fig. 3a, Table 2, Table3 © 2023 公益社団法人日本水産学会より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

イネ科ウロクロア属牧草で初のアジアモンスーン向け品種「イサーン」の育成と品種登録

「イサーン」は、乾物収量の平均値が 1 年当たり 18.8 t ha⁻¹と既存品種よりも約 12%多収であり、強い耐乾性や高い粗タンパク質含量などの優れた飼料特性を有するウロクロア属で初のアジアモンスーン向け品種であり、日本では 2021 年 8 月に、タイでは 2024 年 7 月に品種登録された。無性生殖による種子生産のため、種子から均一な草地造成が容易で、放牧利用に適し、タイの農家の経営安定化や畜産業発展に寄与する。日本でも地球温暖化の適応策として、南西諸島や九州から関東地方での利用が期待される。

キーワード：暖地型牧草、ウロクロア属、乾物収量、アポミクシス、放牧

背景・ねらい

ウロクロア属（旧称、ブラキアリア属）牧草は、世界の熱帯・亜熱帯で広く栽培されているイネ科の暖地型牧草で、ブラジルだけで 4 千万 ha 以上栽培され、高収量で強い耐乾性や放牧適性、高い粗タンパク質含量といった優れた飼料特性を有する。しかし、ウロクロア属は交配育種の歴史が浅いため、世界で登録されている品種は約 20 種しかなく、そのほとんどが南米およびオーストラリアで育成されたもので、アジアモンスーン地域向けに育成された品種はこれまでにない。

また、アジアモンスーン地域では、牛肉や生乳の生産量の増加に伴い家畜頭数も増加しているが、多くの農家は栄養価の低い稲わら中心の飼料給餌体系を採用しており、栄養不足による家畜の生産性や繁殖率の低下が課題になっている。これらの問題を解決するため、アジアモンスーン地域の気候に適した高収量・高品質で低コスト栽培が可能な暖地型牧草品種を育種開発する。

成果の内容・特徴

- 「イサーン」はウロクロア属の牧草として日本とタイで初となる品種である（図 1, 2）。育種の経緯と各組織の役割分担を図 3 に示す。
- 「イサーン」は、乾物収量の平均値が 1 年当たり 18.8 t ha⁻¹と既存品種の平均値 16.8 t ha⁻¹よりも約 12%多収である（表 1）。
- 「イサーン」の乾物率は、既存品種よりも約 2 ポイント低い（表 1）。
- 「イサーン」は粗タンパク質含量に優れており、ナコンラチャシマ家畜栄養研究開発センターの 1 年目の 1 番草で 17.2%と既存品種「ケネディ」と比較して約 3%高い。TDN（可消化養分総量）含量*は、既存品種と同等である（表 1）。
- アポミクシス**のため（表 1、注）、種子から均一性の高い草地造成が容易である。

*TDN：牧草に含まれるエネルギーを評価する指標。

**アポミクシス：受精を伴わない無性生殖による種子生産。種

子から育つ植物体は種子親と遺伝的に同一のクローンになる。

成果の活用面・留意点

- 「イサーン」は高収量・高品質、さらに管理が容易という特徴があり、アジアモンスーン地域の牧草のニーズに応えられる可能性が高いと考えられる。
- 日本の南西諸島の無霜地帯では、「イサーン」を放牧あるいは採草用として多年利用することが可能となる。粗タンパク質含量に優れ、粗放的放牧利用に適していることから、価格が高騰している濃厚飼料の購入を減らし、農家の経営安定化につながることが期待される。
- 近年の夏季の高温により寒地型牧草の夏枯れが問題となっており、地球温暖化の適応策として、南西諸島以外の地域でも暖地型牧草の利用拡大が求められている。「イサーン」は高温や乾燥に強く、種子で繁殖するため、九州から関東地方にかけて、牧草地における単年利用も期待される。
- 乾物率が低いため、サイレージ***調製には水分含量を 60～70%程度に調整する予乾が必要となる。粗タンパク質含量の変動は大きいので、適切な刈り取り時期を選ぶ必要がある。

***サイレージ：牧草を密封し乳酸発酵させた飼料。

その他

予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源（第 5 期）、A4B NI 活用（第 4 期）、C1 インドシナ農山村（第 3 期）、ブラキアリア育種（第 2 期）]

研究実施期間：2006～2024 年度

研究担当者：下田勝久（国際農研、現農研機構）、安藤象太郎（国際農研）、蝦名真澄（農研機構）、幸喜香織（沖縄県）、明石良（宮崎大学）、末永一博（国際農研）、安藤貞（国際農研、現農研機構）、金森紀仁、松本成夫（国際農研）、Nakamane, G., Rimkeeree, K., Srisomporn, W., Patipan, C., Mangpung, Y.（タイ畜産振興局）

発表論文等：

下田ら「イサーン」品種登録第 28580 号（2021 年 8 月 5 日）
Nakamane et al. 「Isan」 Variety Registration No. 0924/2024 (2024/7/26 in Thailand)

蝦名ら (2021) 関東畜産学会報 71: 2-10



図 1 「イサーン」の草姿



図 2 ナコンラチャシマ家畜栄養研究開発センター（パクチョン）の系統適応性検定試験圃場。一番手前の矢印で示した区画が「イサーン」（2014 年 9 月撮影）

宮崎大学農学部が染色体倍加によって作成した有性生殖4倍体*ルジグラス中間母本**「宮沖国一号」を種子親として、国際熱帯農業研究センター（CIAT）から譲渡されたアポミクシスの交雑品種「ムラト」を花粉親として、国際農研で交配（2008-2009年）



農研機構畜産研究部門・那須塩原研究拠点において、得られた交配株の選抜とアポミクシスを判定（2010年）



タイ農業協同組合省畜産振興局(DLD)ナコンラチャシマ家畜栄養研究開発センターで農業特性を評価（2011-2012年）。



選抜された3系統の系統適応性検定試験***を、同センターを含むタイの5か所のDLD傘下の研究機関と沖縄県畜産研究センターで実施。乾季が厳しい地域で耐乾性を評価。品種特性評価試験****を同センターと沖縄県畜産研究センターの2か所で実施し、最終選抜（2013-2014年）



国際農研が日本における品種登録申請（2017年3月）、日本における品種登録審査基準の策定（2020年3月）、日本における品種登録（2021年8月）



タイにおける品種登録審査基準の策定（2020年）、DLDがタイにおける品種登録申請（2021年5月）、タイにおける品種登録（2024年7月）

図 3 「イサーン」育種の経緯と各組織の役割分担

*4 倍体：体細胞の染色体数は、通常生殖細胞の染色体数の 2 倍であるが、体細胞の染色体数がさらに倍になったものを 4 倍体という。

**中間母本：有用な 1 以上の形質について優れた遺伝的特性を備え、その特性が持続するものであって、新品種育成のための母本として効率的に利用可能な系統。

***系統適応性試験：育成中の系統の中で有望な系統については、その優れた特性が発揮でき、普及に適した地域を明らかにするため、系統適応性検定試験とよばれる地域適応性の試験を行う。

****品種特性評価試験：品種登録に必要な特性を明らかにするための試験。

表 1 「イサーン」と対照品種の主要特性

	イサーン	ケネディ	ムラト-II
乾物収量 (t ha ⁻¹ 年 ⁻¹)			
1年目	22.7 a	20.7 b	19.6 b
2年目	14.8 a	13.3 b	13.6 ab
2年間の平均	18.8 a	17.0 b	16.6 b
乾物率 (%)			
1年目	17.5 b	19.9 a	18.3 ab
2年目	20.4 b	22.1 ab	23.6 a
飼料成分 (%)			
粗タンパク質	17.2 a	14.3 b	16.1 a
粗脂肪	2.5 a	2.0 a	2.3 a
灰分	14.3 a	13.8 ab	13.0 b
ADF*	34.3 a	31.0 a	32.3 a
NDF**	59.5 a	60.3 a	55.6 a
ADL***	3.3 a	2.9 b	3.2 a
TDN	61.3 a	61.9 a	61.9 a
単為生殖率 (%)			
胚のう分析	86.4	0.0	90.3

下田未発表データを含め作成。

・ウロクロア属品種：新品種イサーン（アポミクシス 4 倍体交雑品種、*Urochloa* hybrid）、既存品種ケネディ（有性生殖 2 倍体品種、*Urochloa ruziziensis*）、既存品種ムラト-II（アポミクシス 4 倍体交雑品種、*Urochloa* hybrid）。

・乾物収量は 2013 年と 2014 年の調査結果。5 か所の系統適応性検定試験地：ナコンラチャシマ家畜栄養研究開発センター（パクチョン）、パチャプリ、プレー、サケオ、サコンナコンの平均値。

・乾物率は、ナコンラチャシマ家畜栄養研究開発センターの系統適応性検定試験の結果。

・飼料成分は、ナコンラチャシマ家畜栄養研究開発センターの系統適応性検定試験の 1 年目の 1 番草の分析結果。

*ADF: 酸性デタージェント繊維（主成分はセルロースとリグニン）。

**NDF: 中性デタージェント繊維（飼料中の総繊維量。主成分はセルロース、ヘミセルロースとリグニン）。

***ADL: 酸性デタージェントリグニン（主成分はリグニン）。

・TDN（可消化養分総量）は、North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services, Feed and Forage Laboratory の推定式により算出。

・単為生殖（アポミクシス）率は、胚のうの顕微鏡観察により求めた。

・異なる文字間に 5%有意差あり。

アジアイネとアフリカイネ種間の雑種不稔性は 4 倍体化により軽減できる

アフリカイネはアジアイネの育種のための重要な遺伝資源であるが、両種間の F_1 雑種は花粉が不稔となり種子が実らず、両種間の遺伝子交換は難しい。花粉不稔の原因は雑種不稔遺伝子座と呼ばれる遺伝子座群であるが、このうち特定のメカニズムをもつ不稔遺伝子座の不稔効果は、 F_1 雑種の全ゲノムを倍加（4 倍体化）させることで軽減できる。4 倍体化してアジアイネ–アフリカイネ種間の遺伝子交換を加速させることで、両種の形質を組み合わせた多様な雑種を育成できる可能性がある。

キーワード：アフリカイネ、雑種不稔性、4 倍体、薬培養

背景・ねらい

世界中で栽培されるイネはほぼ全てアジアイネ種 (*Oryza sativa*) に属し、高収量性や良食味性をもつ新品種の多くはアジアイネ種内の交配により作出される。アフリカイネ種 (*O. glaberrima*) は西アフリカの限られた地域で栽培される種で、アジアイネと異なった病虫害抵抗性や低肥沃土壌での栽培適性を示すため、両種を掛け合わせることで、従来はアジアイネの栽培が難しかった地域・環境でも栽培可能な品種を育成できる可能性がある。しかし、アフリカイネとアジアイネ種間の F_1 雑種*は花粉が完全不稔となる（雑種不稔性）ため、種子が実らない。したがって、種子稔性をもつ種間雑種を育成するためには、花粉不稔を克服する必要がある。

本研究では、種間雑種の倍数性**を操作し 2 倍体から 4 倍体とすることで、花粉不稔の克服に取り組むとともに、4 倍体雑種であれば自殖により種子が実ることを明らかにする。

* F_1 雑種：2 つの種/系統を交配して育成した 1 世代目の雑種。

**倍数性：生物の生存に必要な一揃いの遺伝子セット（ゲノム）を何セットもっているのかを表す。イネも含め多くの生物はゲノムを 2 セットもつ 2 倍体である。2 倍体のイネに特定の処理を施すことで、ゲノムを 4 セットもつ 4 倍体のイネを育成できる。

成果の内容・特徴

1. *O. sativa* 種内の 3 つのサブグループ ($Os1$: *japonica*, $Os2$: *indica*, $Os3$: *aus*) と、*O. glaberrima* (Og) の F_1 雑種の花粉稔性を観察（図 1）。2 倍体 F_1 雑種は花粉稔性が 0%（完全不稔）だが、4 倍体 F_1 雑種では 5.7~28.1% に回復し、自殖により種子が得られる。花

粉稔性の回復は、*O. sativa* 種内のサブグループを問わない。

2. 4 倍体化にともなう花粉稔性の回復メカニズムは、稔性小孢子（花粉に発達する前の細胞）の遺伝解析により説明される（図 2）。例示した $S2$ 座は不稔遺伝子座の一つで、2 倍体では、 Og 型対立遺伝子（アレル）をもつ花粉は全て不稔となる。しかし 4 倍体では、 Og 型アレルをもっていたとしても、同時に Os 型アレルをもつ場合その花粉は稔性を示す。

成果の活用面・留意点

1. 本研究において確立された 4 倍体雑種の利用により、アジアイネ–アフリカイネ種間の遺伝子交換がより容易に行えるようになり、多様な形質をもつ雑種を育成できる可能性がある。

2. 4 倍体雑種を薬培養することで、稔性小孢子に由来する 2 倍体の種間雑種を作出することができる。これらの 2 倍体雑種における花粉稔性や農業形質はまだ明らかではないが、2 倍体雑種は両親の中間的な遺伝的組成をもつことが期待され、今後更なる調査が必要となる。

その他

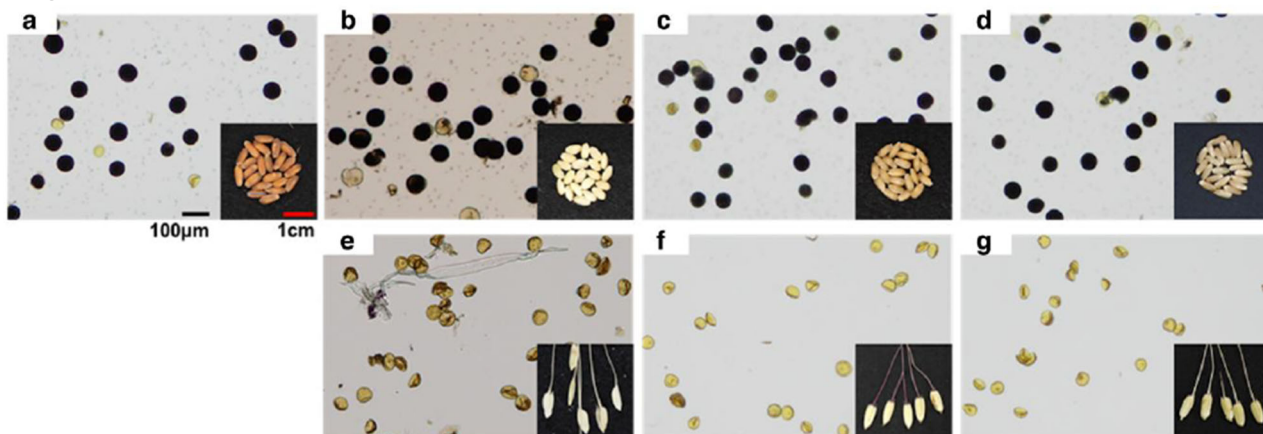
予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源（第 5 期）]、外部資金 [科研費 19H00937、23H02180]

研究実施期間：2021~2025 年度

研究担当者：國吉大地（熱帯・島嶼研究拠点）、石原萌、山森晃一、小出陽平、貴島祐治（北海道大）

発表論文等：Kuniyoshi et al. (2024) *GENETICS* 228: iyae104. <https://doi.org/10.1093/genetics/iyae104>

a-g: 2 倍体の花粉および自殖種子



h-n: 4 倍体の花粉および自殖種子

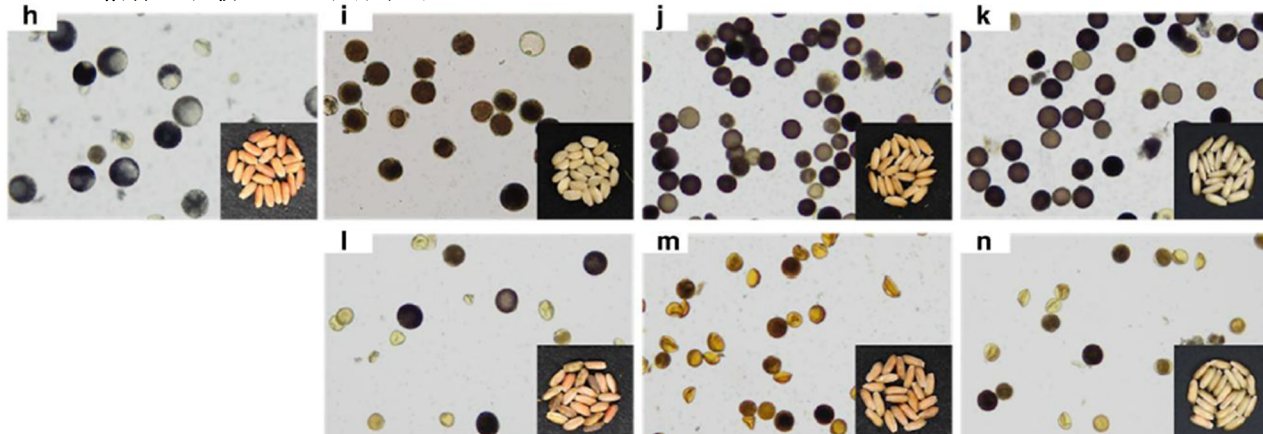


図 1 花粉・種子稔性の観察

花粉のデンプンをヨウ素液(I2-KI)で染色し、顕微鏡で観察。黒色の花粉は稔性花粉、薄黄色～茶色の花粉は不稔花粉。

a-g: 2 倍体の花粉および自殖種子。

a: *O. glaberrima* (Og) : b-d: *O. sativa* 3 品種 (Os1, Os2, Os3)。Os1 は *japonica*, Os2 は *indica*, Os3 は *aus* サブグループにそれぞれ属する。

e-g: Og/Os1, Og/Os2, Og/Os3。2 倍体 F₁ 雑種は花粉が完全不稔であり、種子が実らない。

h-n: 4 倍体の花粉および自殖種子。

h: Og

i-k: Os1, Os2, Os3

l-n: Og/Os1, Og/Os2, Og/Os3。4 倍体の F₁ 雑種は 5.7~28.1%の花粉稔性を示し、自殖種子を実らせる。

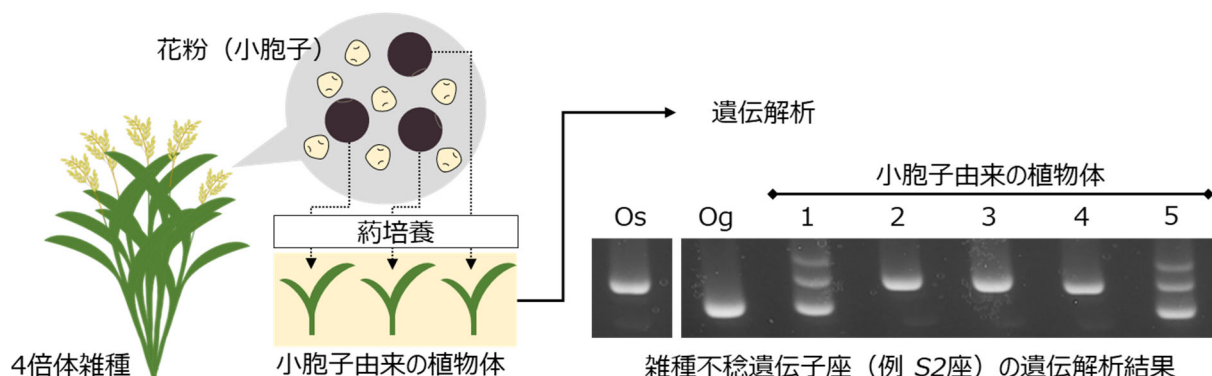


図 2 雑種不稔遺伝子座の解析

4 倍体雑種の小孢子（花粉に発達する前の細胞）を薬培養することで、稔性小孢子からの植物体を獲得し、不稔遺伝子座（S2座）の遺伝解析を実施。図中の小孢子由来個体はそれぞれ、S2座が Os 型(2、3、4)か、Os 型と Og 型のヘテロ接合型(1、5)の遺伝子型であることを示す。2 倍体雑種では、Og 型の S2 アレルをもつ花粉は全て不稔となる。しかし 4 倍体雑種では、Og 型の S2 アレルをもっている花粉でも、Os 型アレルを併せ持ったヘテロ接合型の状態であれば、花粉稔性を保持できることが判明。

図は Oxford University Press の許諾の元、以下の論文の図を転載して作成

Kuniyoshi et al. (2024) GENETICS 228: iyae104. Tetraploid interspecific hybrids between Asian and African rice species restore fertility depending on killer-protector loci for hybrid sterility.

エリアンサスの高い水利用効率と関連する葉身代謝物の蓄積

サトウキビの近縁属遺伝資源エリアンサスは、耐乾性指標である葉身の水利用効率（光合成速度÷気孔コンダクタンス）が、土壌の乾燥湿潤にかかわらずサトウキビに比べ高い。また、エリアンサスはサトウキビに比べ葉の裏面の気孔密度が低く、葉にベタインやγ-アミノ酪酸(GABA)といった気孔閉鎖およびストレス応答に機能する物質を豊富に蓄積する。これらの特性は、属間雑種集団などを用いた耐乾性系統選抜のためのバイオマーカーとしての利用が期待される。

キーワード：エリアンサス、サトウキビ、耐乾性、水利用効率、メタボローム解析（メタボロミクス）

背景・ねらい

サトウキビ(*Saccharum spp.*)の近縁属遺伝資源エリアンサス(*Erianthus arundinaceus*)は、属間交配によるサトウキビの耐乾性改良に資するとされる。一方、サトウキビとの比較を通じた本種の耐乾性の生理学的な成立要因についての検証が不十分であり、選抜指標としての有望形質の探索や耐乾性育種の効率化が進展していない。本種の耐乾性関連形質として、これまでに報告のある根系だけでなく、葉身など地上部特性にも着目した研究が必要である。葉のガス交換特性のうち、光合成速度を蒸散指標の気孔コンダクタンスで除した水利用効率は有用耐乾性指標の一つと考えられる。ここでは、水利用効率に加え、関連する気孔形態や代謝物に着目する。

国際農研 熱帯・島嶼研究拠点のガラス温室において、ポット条件で乾燥区、湿潤区を設け、サトウキビ品種 NiF8 とエリアンサス系統 JW630 の葉身ガス交換特性および植物体各部位の一次代謝物の応答（網羅的解析＝メタボロミクス）、気孔形態を調査し、耐乾性に関連する地上部の有用形質を探索する（図 1）。

成果の内容・特徴

1. 植物体各部位のメタボロミクスにより、188 種の代謝物濃度を測定し、多変量解析（主成分分析、階層型クラスター解析）を実施したところ、代謝物組成に関し部位間の連動があること、特に葉で種間差や土壌水分の影響が明瞭に認められる。
2. 土壌水分条件にかかわらずエリアンサスは葉身ガス交換特性から算出される水利用効率（光合成速度÷気孔コンダクタンス）がサトウキビに比べて高い（図 2a）。

3. エリアンサスは、葉の裏面の気孔がサトウキビに比べて少ない（図 2b）。
4. エリアンサスは、ベタインやγ-アミノ酪酸(GABA)など、気孔閉鎖やストレス応答に関与する代謝物を葉に豊富に蓄積する（図 3）。

成果の活用面・留意点

1. エリアンサスの葉面の気孔密度の低さは蒸散による水分損失を抑制している可能性があり、高い水利用効率との関連が示唆される。
2. エリアンサスの耐乾性に関し、既知の深根性等の根系拡充能力に加え、地上部の葉の特性（気孔密度、代謝物）が有用な評価指標となり得る。一方、エリアンサスの高い水利用効率（図 2a）と、葉の裏面の気孔密度（図 2b）および葉に蓄積する代謝物（図 3）との因果関係については更なる調査が必要である。
3. エリアンサスは遺伝的に異なる系統群の存在が知られている。本研究と異なる生理反応を示す系統が存在する可能性があり、遺伝資源集団の形質の多様性について着目した研究を実施中である。
4. 今後、これら形質（気孔密度、葉身代謝物）をバイオマーカーとして用いた耐乾性の簡易選抜が可能か、雑種集団などを用いて検証することで、耐乾性関連の遺伝マーカー開発による耐乾性育種の効率化が期待できる。

その他

予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源]、令和 3 年度理事長インセンティブ経費 [エリアンサス代謝物解析による水利用効率成立機構の解明に関する基礎研究]

研究実施期間：2021～2022 年度

研究担当者：竇川拓生（熱帯・島嶼研究拠点）、若山正隆（愛媛大学）

発表論文等：Takaragawa & Wakayama (2024) *Planta* 260:90. <https://doi.org/10.1007/s00425-024-04508-w>

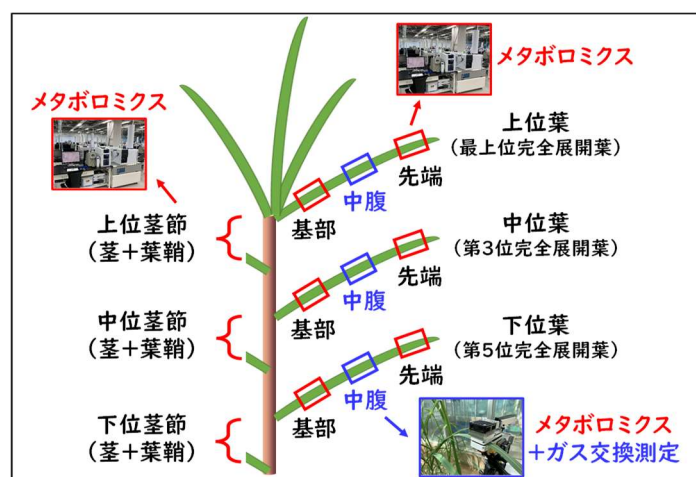


図1 本研究における調査部位

ガス交換特性および気孔形態は上位、中位、下位の葉の中腹を対象とした。

メタボロミクスでは、葉9点+茎3点+葉鞘3点+根1点、の計16点を供試した。いずれも主茎を対象とした。

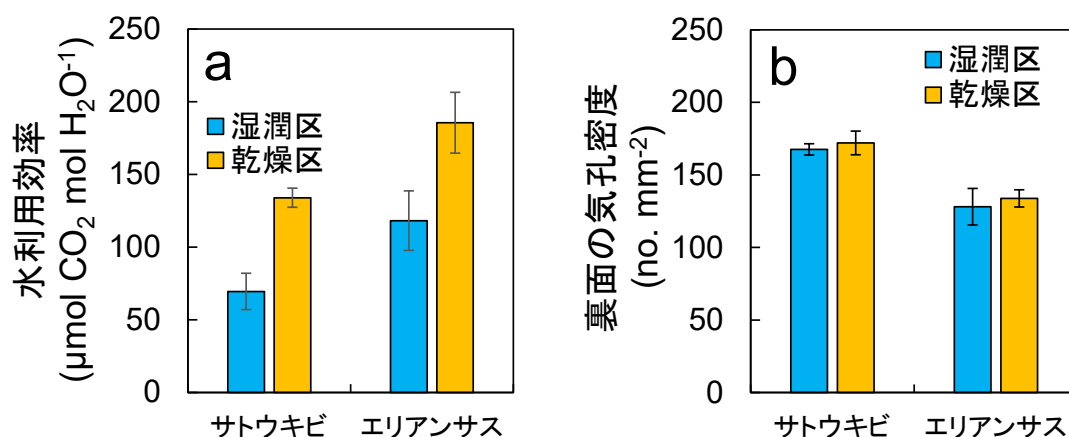


図2 葉身のガス交換特性から算出される水利用効率(a)と葉裏面の気孔密度(b)の種間差

水色バーは土壌湿潤区、黄色バーは土壌乾燥区を表す。エラーバーは標準偏差を表す(n=4)。これらは中位葉の測定値である。

水利用効率は測定光強度 500 μmol m⁻² s⁻¹で測定した。各処理区の変数において2種間の差は有意である（*t*検定、*P*<0.01）。

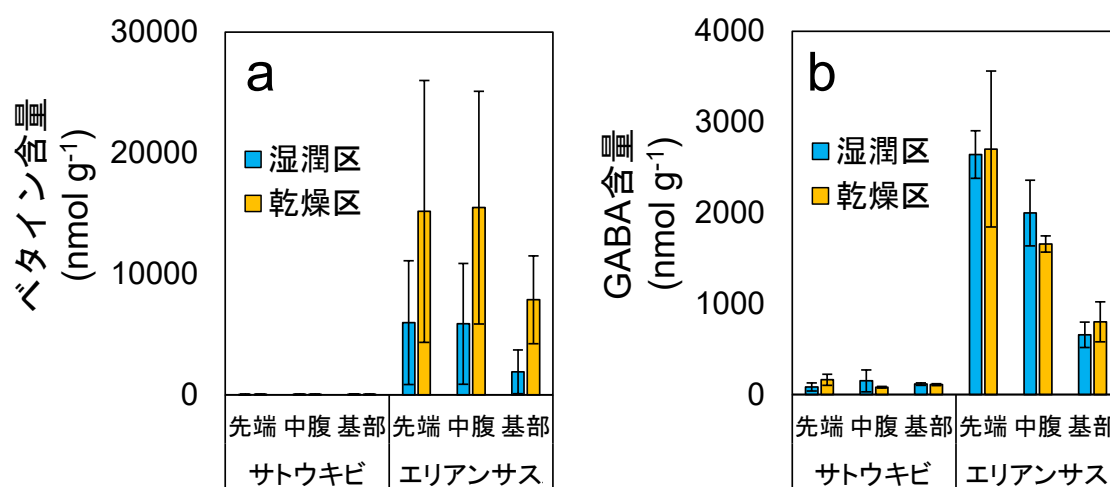


図3 葉身部位別（先端、中腹、基部）におけるベタイン含量(a)および GABA 含量(b)の種間差

水色バーは土壌湿潤区、黄色バーは土壌乾燥区を表す。値は3葉位の平均値であり、エラーバーは標準偏差を表す(n=3)。

湿潤区のベタインを除き、各処理区の変数において2種間の有意な差がみられる（*t*検定、*P*<0.05）。

図は Takaragawa & Wakayama (2024) © Springer 2024 より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

キャッサバモザイク病抵抗性品種の育成を効率化する DNA マーカー

キャッサバは熱帯・亜熱帯地域で栽培されるイモ類作物である。近年、キャッサバモザイク病（Cassava Mosaic Disease: CMD）の被害が深刻化している。今回開発した DNA マーカー法は CMD 抵抗性に関与する遺伝子の識別を可能にし、比較的安価な実験機材を用いた方法、あるいは高速かつ多検体判別に向く方法の 2 種類の手法を選択できることから、抵抗性品種の開発にかかるコストや労力を削減する。本技術は、CMD の深刻な被害がみられる地域において、CMD 抵抗性品種の開発の加速化に貢献し得る。

キーワード：キャッサバ、キャッサバモザイク病、DNA マーカー、病害抵抗性

背景・ねらい

熱帯および亜熱帯地域で栽培されるキャッサバ（*Manihot esculenta*）は、世界で最も生産されているイモ類作物であり、約 8 億人の主食作物でもあることから、その安定的な生産は食料安全保障の観点から非常に重要である。キャッサバのイモから作られる澱粉は、食品・工業用にも利用されており、日本も年間 12 万 t 相当を主に東南アジアから輸入している（財務統計 2023）。

キャッサバ生産性を著しく低下および不安定にしているウイルス病のキャッサバモザイク病（CMD）は長年にわたりアフリカやインドで問題となっている。最近では東南アジアでスリランカキャッサバモザイクウイルスによる被害が深刻になっている。タイ農業協同組合省農業経済局によると、タイでは 2023 年に前年度比 180 万 t の減収が発生し、CMD がその主な原因と考えられている。CMD が一度でも発生してしまうと防除が困難であり、CMD 抵抗性を有するキャッサバ品種を利用することが唯一有効な対策であると考えられているが、CMD 抵抗性品種を選抜する際に数年に及ぶ抵抗性評価に関わる大規模な圃場試験が必要になり、多大なコストや労力が生じるのが現状である。育種の高速・効率化をねらうため、CMD 抵抗性に関わる遺伝子を識別する DNA マーカーの開発が求められている。

成果の内容・特徴

- ベトナム農業遺伝学研究所が保持する CMD 抵抗性を有するキャッサバ品種・系統は、CMD 抵抗性に関わるとされる DNA ポリメラーゼδサブユニット 1（*POLD1*）遺伝子に変異をもつ（図 1、表 1）。コロンビアの国際熱帯農業センター（CIAT）およびナイジェリアの国際熱帯農業研究所（IITA）由来の系統・品種は、それぞれ 680 番目のアミノ酸であるグリシンがバリンに、685 番目のロイシンがフェニルアラニンに置換する変異を有する（以下、G680V 型および L685F 型とする）（表 1）。
- 開発した DNA マーカーは *POLD1* の遺伝子型を識別できる。比較的安価な実験機材で実施できる dCAPS

法と（図 2A、2B）、高速かつ多検体判別に向く KASP の 2 種類の手法を選択できる（図 2C）。

- 開発した DNA マーカーの有効性を検証するため、*POLD1* 遺伝子が通常型および G680V 変異型のキャッサバ系統を CMD 感染圃場で栽培して、病徴の程度を比較したところ、通常型と変異型とで有意に病徴に差があり、変異型のほとんどは無病徴もしくは葉の形態に影響がでない。

成果の活用面・留意点

- 本法において、CMD 抵抗性をもつキャッサバ個体を効率的に選抜することが可能となる。熱帯地域各国・地域の優良キャッサバ品種に CMD 抵抗性をもつキャッサバ系統を交配し、その後代から選抜することで、栽培環境や用途に適したキャッサバの品種開発につながる。
- 本報をもとにすることで、東南アジアで発生しているスリランカキャッサバモザイクウイルスに対してのみだけでなく、アフリカなどで主に発生しているキャッサバモザイクウイルス系統に対しての抵抗性品種開発にも適用可能であると期待される。Lim, YW. Et.al *Nat Commun*13, 3933 (2022) を参照。
- 本報は、DNA マーカー選抜の効果を病徴の程度で評価したのみで、今後は収量や環境ストレス応答など、より長期的な効果を研究する必要がある。

その他

予算区分：外部資金 [科研費 21KK0110]

研究実施期間：2022～2024 年度

研究担当者：徳永浩樹（熱帯・島嶼研究拠点）、Nhan, P. T.、Hoa, T. M.、Trang, N. T. H.、Tung, N. B.（フロンティア農業研究センター）、Huong, P. T.、Anh N. H.、Huong, L. T. M.、Ham, L. H.（農業遺伝学研究所）、Thuy, C. T.（国際熱帯農業センター）、Zhang, X.（国際熱帯農業センター、現カリフォルニア大学）、関原明（理化学研究所）

発表論文等：Tokunaga H. et al. *Breeding Science*. 2024 年 12 月受理



東南アジア品種（CMD 感受性） C-33 系統（CMD 抵抗性）

図 1 キャッサバモザイク病抵抗性品種

ベトナムの CMD 感染が発生している圃場で 3 か月間栽培した様子。通常の品種では葉の萎縮やモザイク症状を生じるのに対して、コロンビア CIAT 由来の C-33 系統は無病徴のまま成長する。写真は国際熱帯農業センターの Ms. Thuy より提供。

表 1 CMD 抵抗性品種・系統における CMD 抵抗性に関わる *POLD1* 遺伝子の変異箇所

品種・系統	CMD 感受性	<i>POLD1</i> の変異箇所と変異に伴うアミノ酸			
		680番目のアミノ酸		685番目のアミノ酸	
		コドン	アミノ酸	コドン	アミノ酸
ベトナムの主要品種	高い	G G T	グリシン	T T G	ロイシン
コロンビアCIAT由来の系統	抵抗性	G T T	バリン	T T G	ロイシン
ナイジェリアIITA由来の品種	抵抗性	G G T	グリシン	T T C	フェニルアラニン

ベトナムの主要品種: KU50, KM140, BK, HL-S12 等; コロンビア CIAT 由来の系統: C-33, CR27-20, CR100-9, AR9-4 等;
ナイジェリア IITA 由来の品種: IBA920057, IBA972205, IBA980505 等

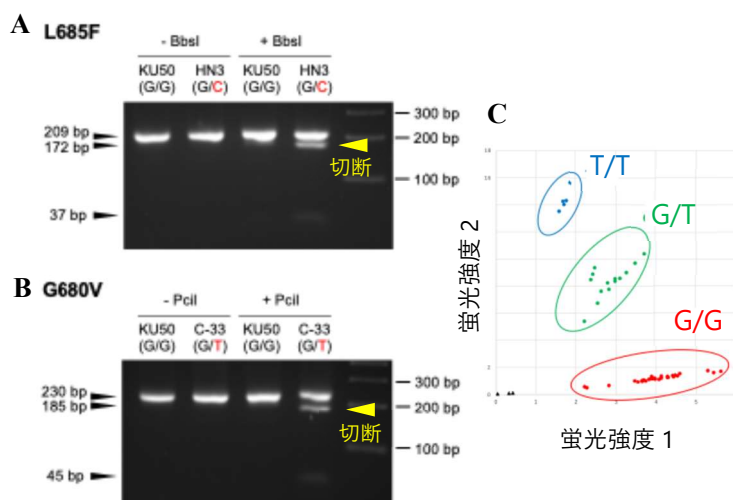


図 2 DNA マーカーを用いた *POLD1* 遺伝子の変異型の識別

(A, B) dCAPS 法により、PCR 産物に制限酵素認識部位を導入することで、*POLD1* 遺伝子が通常型（品種 KU50）と L685F 型（品種 HN3）および G680V 型（C-33 系統）の変異をもつ個体の DNA をもとにした PCR 増幅産物を制限酵素 BbsI (A) または PciI (B) 処理する。切断されない場合は通常型、切断された場合は変異型と判別できる。(C) KASP アッセイ*により、*POLD1* 遺伝子が通常型と G680V 型の変異をもつ個体を迅速に識別することが可能であることが分かった。2 種の蛍光強度の割合により、通常型 G/G（相同染色体の対象の塩基がどちらも G）、ヘテロ G/T、ホモ T/T の 3 つのグループに分類される。

*KASP アッセイ：Kompetitive Allele Specific PCR の略。蛍光色素 FAM や HEX 等を利用して、対立遺伝子の既知の SNP (1 塩基多型) や InDel (挿入/欠失) を PCR 法により高い確度で迅速に識別することができる。

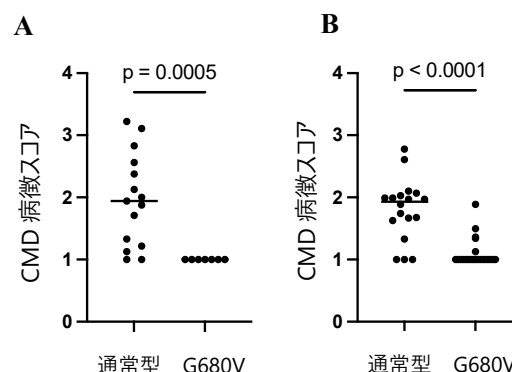


図 3 *POLD1* 遺伝子の変異型と CMD 感受性の関連

(A, B) G680V 型の CMD 抵抗性系統と東南アジア品種 (A) または南米品種 (B) との交配後代を CMD 感染圃場で 3 か月栽培後、CMD 病徴を観察した。CMD 病徴スコア 1 が無病徴で、数が大きくなるとより深刻であることを示す。dCAPS 法によりグループ分けした、*POLD1* 遺伝子が通常型と G680V において CMD スコアに有意な差がみられることが分かった。

図表は Tokunaga H. et al. (2025) © Breeding Science より転載/改変して作成（転載/改変許諾済み）

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/>

