

国際農林水産業
研究成果情報

－ 2020 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2年度国際農林水産業研究成果情報

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1	執筆責任者2
資源・環境管理 (A)	1	研究成果情報	研究	気候変動対応	進藤 惣治	前田 高輝	—
			カシューナッツ殻液給与によるライシン牛からのメタン排出量削減効果				
	2	研究成果情報	研究	気候変動対応	進藤 惣治	レオン 愛	南川 和則
			間断灌漑技術(AWD)によるライフサイクル温室効果ガス削減効果				
	3	研究成果情報	研究	気候変動対応	進藤 惣治	酒井 徹	大森 圭祐
			衛星画像を使ってミャンマーの沿岸部の塩水遡上がモニタリングできる				
	4	研究成果情報	研究	気候変動対応	進藤 惣治	白木 秀太郎	—
			水稲再生作では前作稲収穫前後の土壌乾燥が再生稲の収量性を高める				
	5	研究成果情報	研究	アフリカ流域管理	林 慶一	蔡 義民	山崎 正史
			サイレージ調製はソルガムとトウジンビエ茎葉部の飼料利用率を向上させる				
	6	研究成果情報	研究	アフリカ流域管理	林 慶一	鬼木 俊次	—
			エチオピアの共有林維持管理には協力行動の意義に関する情報提供が欠かせない				
農産物安定生産 (B)	7	研究成果情報	技術	アジア・島嶼資源管理	渡辺 武	大前 英	—
			改良部分耕と表土被覆の組み合わせによる環境保全型タロイモ栽培技術				
	8	研究成果情報	研究	アジア・島嶼資源管理	渡辺 武	岡本 健	—
			石垣島のサトウキビ栽培では基肥窒素半量でも収量を維持し溶脱量を削減できる				
	9	研究成果情報	研究	BNI活用	松本 成夫	中村 智史	サール ババ サリオウ
			ブラキアリアは株間土壌のアンモニア酸化古細菌を抑制し硝化速度を低減する				
	10	研究成果情報	研究	SATREPSブルキナ	南雲 不二男	中村 智史	南雲 不二男
			西アフリカ天水稲作の各農業生態域区分に最適なリン鉱石直接施用頻度				
	11	研究成果情報	研究	SATREPSブルキナ	南雲 不二男	サール ババ サリオウ	中村 智史
			リン鉱石富化堆肥中の有効態リン含量に及ぼす根圏土壌添加の効果				
	1	研究成果情報	研究	アフリカ食料	柳原誠司	高井俊之	—
			量的遺伝子座MP3の導入は養分欠乏によるイネの穂数不足を緩和する				
	2	主要普及成果	技術	アフリカ食料	柳原誠司	辻本泰弘	—
			移植苗のリン浸漬処理はイネの施肥効率を改善し低温ストレスを回避する				
	3	研究成果情報	研究	アフリカ食料	柳原誠司	山中慎介	村中聡
			効率的な遺伝解析及び特性評価を可能にするギニアヤム多様性研究材料の選定				
	4	研究成果情報	研究	アフリカ食料	柳原誠司	井関洸太郎	伊ヶ崎健大
			スーダンサバンナにおけるササゲ生産を広範囲で改善するための品種選抜法				
	5	研究成果情報	研究	アフリカ食料	柳原誠司	蔡 義民	山崎 正史
			モザンビーク飼料資源を用いた発酵TMR給与は牛乳生産量と収益性を向上させる				
	6	研究成果情報	研究	アフリカ食料	柳原誠司	小出淳司	—
			モザンビークにおける乳牛飼養の存立条件を反映した耕畜複合経営計画モデル				
	7	研究成果情報	研究	不良環境耐性作物開発	許東河	マティアス ヒスバ	植田佳明
			リン利用効率の高いイネを推定するための代謝物マーカー				
	8	研究成果情報	研究	不良環境耐性作物開発	許東河	小林安文	藤田泰成
			キヌア自殖系統コレクションの多様性				
	9	研究成果情報	研究	病害虫防除	加藤雅康	前野浩太郎	—
			アフリカにおけるサバクトビバッタの体温調節行動に基づく行動予測モデル				

令和2年度国際農林水産業研究成果情報

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1	執筆責任者2
	10	主要普及成果	技術	病害虫防除	加藤雅康	小堀陽一	—
			サトウキビ白葉病対策としての健全種茎増殖・配布マニュアル				
農産物安定生産 (B)	11	主要普及成果	研究	病害虫防除／アフリカ食料	加藤雅康／柳原誠司	福田善通	—
			イネいもち病防除のための国際判別システム				
	12	研究成果情報	研究	(環境省地球環境保全等試験研究費)	(辻本泰弘)	辻本泰弘	—
			非湛水管理による水稻栽培が群落内気温の日変化と収量に及ぼす影響				
高付加価値化 (C)	1	研究成果情報	技術	フードバリューチェーン	中原 和彦	吉橋 忠	—
			数値モデルの活用による長粒米向け粳摺りロールの開発				
	2	研究成果情報	技術	フードバリューチェーン	中原 和彦	草野 栄一	丸井 淳一郎
			タイ発酵型米麺の液状化及び予防のためのpH管理の経営的評価				
	3	研究成果情報	研究	アジアバイオマス	小杉 昭彦	小杉 昭彦	—
			キチン分解好熱嫌気性細菌 <i>Capillibacterium thermochitinicola</i> の発見				
	4	研究成果情報	技術	農山村資源活用	森岡 伸介	丸井 淳一郎	—
			ラオス淡水魚発酵調味料のヒスタミン生成は仕込み時の塩分調整で抑制できる				
	5	研究成果情報	研究	農山村資源活用	森岡 伸介	川村 健介	浅井 英利
			汎用小型ドローンから陸稲圃場のイネと雑草を高精度で判別できる				
	6	研究成果情報	研究	価値化林業	岡 裕泰	谷 尚樹	—
			東南アジア熱帯雨林で重要な林業樹種におけるゲノム選抜育種導入の可能性				
	7	研究成果情報	研究	価値化林業	岡 裕泰	小林 正樹	谷 尚樹
			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				
	8	研究成果情報	研究	価値化林業	岡 裕泰	諏訪 鍊平	—
			地上部バイオマスを広域推定するためのマングローブモデルの開発				
	9	研究成果情報	研究	熱帯水産資源	阿部 寧	筒井 功	—
			ウシエビ養殖初期に糸状緑藻と微小巻貝を摂餌させることで収益性が向上する				
	10	研究成果情報	技術	熱帯水産資源	阿部 寧	齊藤 肇	阿部 寧
			ハイガイ養殖漁場管理のための簡便な生物指標の開発				

〔成果情報名〕 カシューナッツ殻液給与によるライシン牛からのメタン排出量削減効果

〔要約〕 ベトナム在来牛（ライシン牛）にカシューナッツ殻液を給与することにより、第一胃内のメタン生成古細菌等の微生物群集のメタン代謝に抑制的に作用し、第一胃由来メタン排出量をおよそ2割強削減できる。

〔キーワード〕 メタン、カシューナッツ殻液、反芻胃微生物群集

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

東南アジアでは今後畜産物の需要の増大が見込まれているが、反芻家畜は主要な温室効果ガス(GHG)排出源の一つであることから、メタンをはじめとする GHG 排出を抑制する技術開発が急務である。ベトナムではカシューナッツの生産が盛んであり、その過程で副産物である殻が廃棄物として大量に処理されている。カシューナッツ殻の抽出液(CNSL: cashew nut shell liquid)には、メタン生成古細菌等の微生物群集のメタン代謝に対し抑制的な効果を持つアナカルド酸等の成分が含まれている。そこで CNSL を現地在来牛に給与することにより、反芻胃由来メタンの排出抑制効果が期待される。本研究は、第一胃（ルーメン）液中微生物群集及びその代謝機能に及ぼす CNSL 給与の影響を明らかにし、現地未利用資源を有効に活用した温室効果ガス排出削減技術の開発に資する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ベトナムにおいて一般的な肉用牛であるライシン牛（試験 1: 体重 246.1 ± 22.6 kg、試験 2: 同 375.0 ± 36.0 kg、 $n=4$ ）の飼料に CNSL（試験 1: 4 g/体重 100 kg/日、試験 2: 6 g/体重 100 kg/日の割合で混合）を給与することにより、乾物摂取量あたりのメタン排出量は 20.2～23.4%減少する（図 1A、図 1B）。
2. CNSL 給与は、ルーメン液中微生物群集による有機物分解及び代謝経路に大きく影響を及ぼし、その結果として排出されるメタンの $\delta^{13}\text{C}$ 値に大きな変動が検出される（図 1C）。
3. 上記 CNSL 給与は、ルーメン液中の揮発性脂肪酸の一種であるプロピオン酸の相対濃度を上昇させる一方で（試験 1: 8.2%→10.6%, $p=0.001$; 試験 2: 17.7%→21.4%, $p=0.015$ ）、飼料消化率に影響を及ぼさない。
4. CNSL 給与はルーメン液中の *Methanobacteriales* 目に属するメタン生成古細菌の存在比を有意に低下させ（図 2A、ピンクの帯）、多糖類の分解やプロピオン酸生成等に関与する *Prevotellaceae* 科細菌の存在比を有意に増加させる（図 2A、青の帯）。
5. ルーメン液中微生物群集の機能推定結果から、CNSL 給与はメタン代謝を抑制するとともに、ルーメン液中微生物群集の炭水化物及び脂質代謝を促進していると推定される（図 2B）。
6. CNSL 給与はルーメン液中微生物群集の多様性を下げ、主要なメタン生成古細菌である *Methanobacteriales* 目に属する古細菌と密接な相関関係にある細菌種を変化させる（図 2C）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. ベトナムにおける肉牛反芻胃由来のメタン排出削減技術として活用できる。
2. CNSL を 6 g/体重 100 kg/日以上を給与してもメタン削減効果の増大は見込めず、逆に生産性を損ねる可能性があるため、適切な給与量について留意する。

[具体的データ]

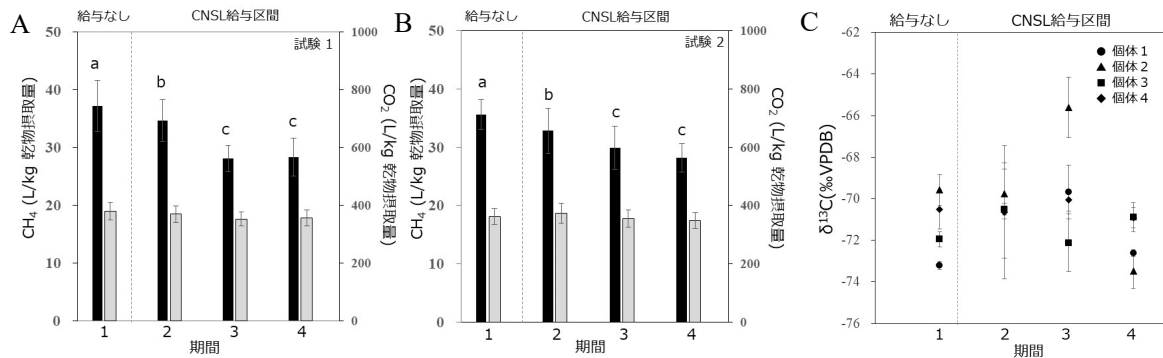
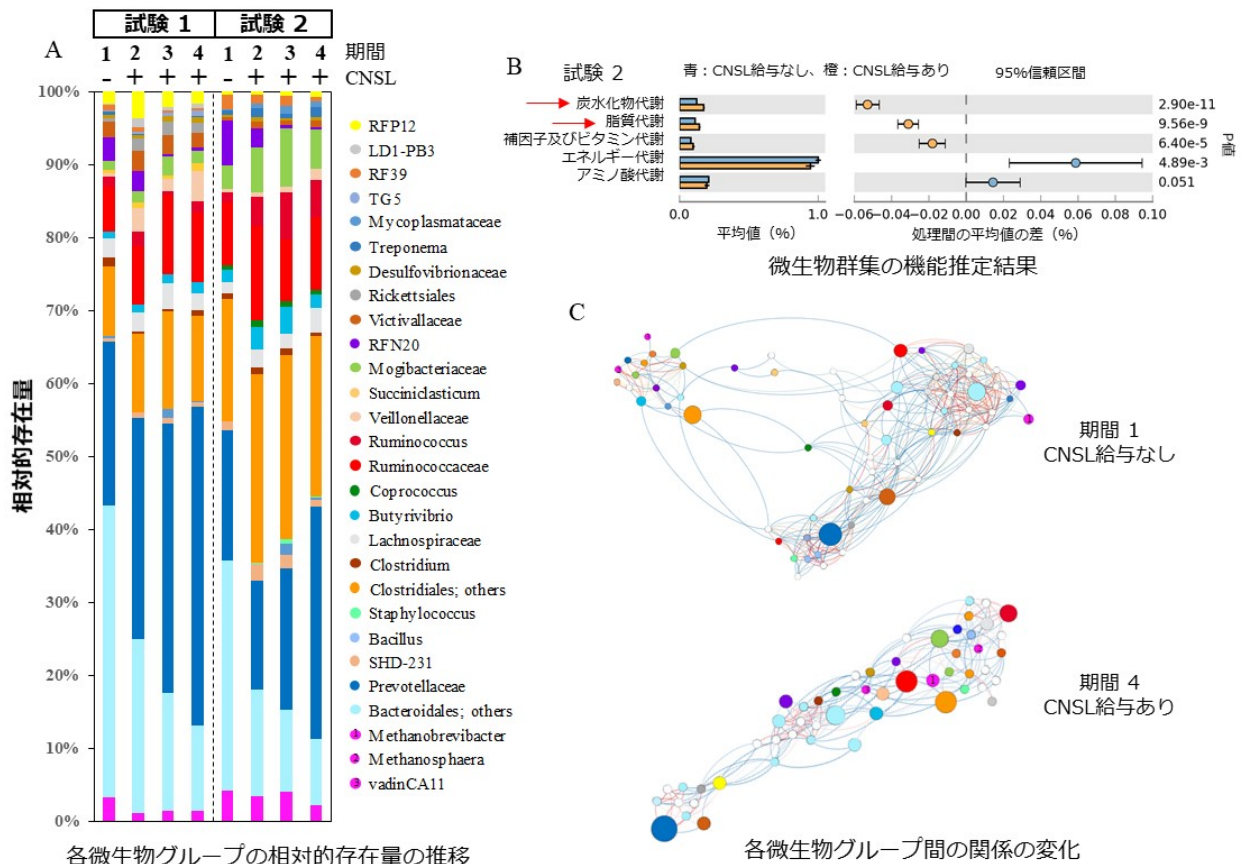
図1 CNSL 給与によるメタン（黒）、CO₂（灰色）排出量平均値（5日/期間）及び $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ の推移

図2 CNSL 給与がルーメン液中微生物群集に及ぼす影響

[その他]

研究課題：開発途上地域農業の温室効果ガス排出抑制とリスク回避技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金〔気候変動対応〕

研究期間：2020 年度（2017～2020 年度）

研究担当者：前田高輝・鈴木知之（現農研機構 中央農業研究センター）、Nguyen VT・Phong LV・Nguyen MC（カントー大）、山田桂大・工藤久志・吉田尚弘（東工大）、疋田千枝（出光興産）

発表論文等：Maeda K. et al. (2020) Microb. Biotechnol., doi:10.1111/1751-7915.13702

〔成果情報名〕 間断灌漑技術(AWD)によるライフサイクル温室効果ガス削減効果

〔要約〕 ベトナムのメコンデルタにおける間断灌漑技術導入(AWD)農家は、収量を維持しつつ、播種量、窒素施肥量、リン酸肥料施用量を減らし、ライフサイクル温室効果ガス(LC-GHG)を削減させる。

〔キーワード〕 間断灌漑技術、ライフサイクル温室効果ガス、ベトナム・メコンデルタ

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 社会科学領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

ベトナム・メコンデルタでは、温室効果ガス(Greenhouse gas: GHG)排出量を抑制し、気候変動を緩和させる水稲作技術の一つとして、間断灌漑技術(Alternate wetting and drying: AWD)が導入されている。AWD 導入による効果 (GHG の一つであるメタン(CH₄)削減、灌漑用ポンプ運転経費削減や収量増加等)は、国際農研とカウンターパートを始めとする多くの研究者により報告されてきた。一方で、AWD 導入による CH₄と一酸化二窒素 (N₂O、GHG の一つ) とのトレードオフ、及び施肥管理等への影響も報告されている。しかし、これらが地球温暖化へ与える影響を包括的に考慮した評価はほとんど行われていない。本研究では、ライフサイクルアセスメント(LCA)手法を用い、コメ栽培の播種から収穫までの資源消費量や排出物量を計算し、AWD 導入によるライフサイクル温室効果ガス(LC-GHG)削減ポテンシャルを評価する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ベトナム・メコンデルタ北部のアンジャン省において、AWD 実施農家約 100 戸、未実施農家約 100 戸、合計 200 戸の農家を対象に、水稲栽培管理（播種量、機械稼働時間等）に関する聞き取り調査を行い、LCA 手法による分析の基礎データとする。
2. 水田土壌由来及び稲わら焼却に伴う GHG (CH₄ と N₂O) 発生量は、IPCC(2019)に基づき推定した。なお水田土壌由来 CH₄ の計算には、水管理の寄与を表す係数として AWD 実施農家に 0.55、未実施農家に 1 を用いた。その他、栽培日数、投入有機物の種類や量等は調査に基づく。
3. アンジャン省において AWD を実施している農家では、水田土壌の酸化・還元状態が繰り返される AWD の導入により、水田土壌由来の N₂O 発生量が増加する。また、カリ肥料の施用量も多い。しかし、播種量、窒素施肥量、リン酸肥料施用量、灌漑用ポンプ運転時間を減らしながら、収量を減らさず（図 1）、土壌由来 CH₄ を 47%削減、土壌由来 N₂O を 17%増加、非土壌由来 GHG（焼却とその他）を 9%削減させる。LC-GHG 排出量は AWD 実施・未実施農家でそれぞれ 9.82、16.6 t CO₂-eq ha⁻¹であり、AWD の実施により 41%削減される（図 2）。
4. AWD 実施・未実施に関係なく、75%以上の農家で焼却が行われていたため、稲わら処理の違いが AWD 実施・未実施農家の水田土壌由来 CH₄ 発生量の差へ及ぼす影響は小さい（図 3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 本結果は、AWD のさらなる普及に向けた施策立案・実行の科学的根拠として用いることが可能である。
2. アンジャン省では、年間を通して稲が 2 ～3 回作付けされている。本結果は、夏秋作（早期雨季 early wet）に基づくものであり、年間を通しての評価が必要である。
3. LC-GHG 排出量を用い、AWD 導入国における LC-GHG 削減率が推定できる。
4. 本研究で用いた LCA 手法は、他の地域・国への応用が可能である。

[具体的データ]

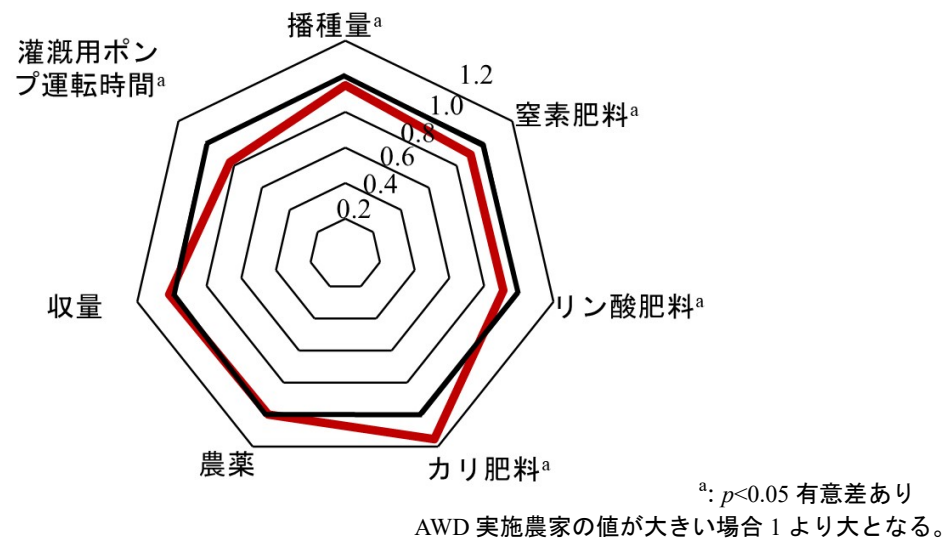


図1 AWD 未実施農家の平均値に対する実施農家の平均値の比で表した播種量、施肥量、農薬施用量、収量ならびに灌漑用ポンプ運転時間

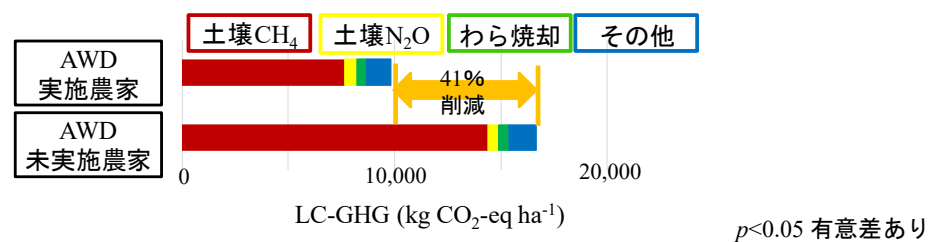


図2 AWD 実施・未実施農家の温室効果ガス排出量比較

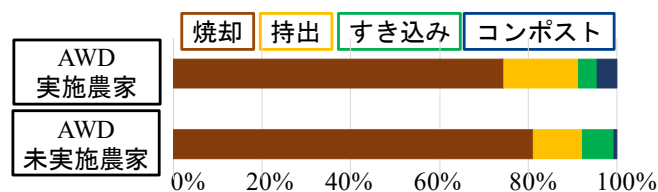


図3 AWD 実施・未実施農家の稲わら処理

[その他]

研究課題：開発途上地域農業の温室効果ガス排出抑制とリスク回避技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [気候変動対応]

研究期間：2020 年度（2019～2020 年度）

研究担当者：レオン愛・南川和則・泉太郎、Nguyen Huu Chiem（カントー大学）

発表論文等：Leon A et al. (2020) Journal of Cleaner Production, 285:125309

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125309>

〔成果情報名〕 衛星画像を使ってミャンマーの沿岸部の塩水遡上がモニタリングできる

〔要約〕 東南アジアの主要な農業生産地である大型河川のデルタ地帯では、塩水遡上が問題になっている。衛星画像から塩分濃度を直接推定することはできないが、河川水の電気伝導度と濁度との間の強い関係性から、間接的に塩分濃度と塩水遡上の季節的变化を推定できる。

〔キーワード〕 衛星画像、塩水遡上、海面上昇、ミャンマー、デルタ地帯

〔所属〕 社会科学領域、企画連携部

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

ミャンマーでは主食であるコメのほとんどが沿岸低地部のエーヤワディデルタで栽培されている。近年、気候変動による海面上昇の影響により、デルタを流れる河川や土壌内に海水が侵入する「塩水遡上」が問題になっている。塩水遡上の進行により収量の低下が引き起こされ、塩害により農地としての利用が困難な地域が増加している。そこで沿岸低地部の塩害対策を検討するためには、塩水遡上とその影響範囲の推移を適切に評価することが重要である。本研究では、衛星画像を使って、時々刻々と変化する塩水遡上を広域でモニタリングするための手法を開発する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 対象地域であるミャンマーのエーヤワディデルタにおいて、河川の濁度は上流部では高く、海に近い下流部で低い（図 1）。これは、淡水の河川水は負に帯電する懸濁粒子同士が強く反発することによって茶色く濁るが、海水の進入で陽イオン（ Na^+ など）が混じると粒子間の反発力が失われ、懸濁粒子の凝集（フロック化）によって沈降速度を速めて堆積する結果である。実測した電気伝導度と濁度との間には、強い反比例の関係がある（図 2a）。
2. 衛星画像(Sentinel-2)から得られる緑色バンドの反射率は茶色く濁度が高いところで高い値を示す。よって、衛星画像によって、河川水の電気伝導度を間接的に推定することができる（図 2b）。
3. 雨が降らない乾季（12 月から翌年 3 月まで）には、河川流量が低下するため塩水遡上が発生する。塩水遡上距離や速度は河川によって異なり、ピャマロウ川では約 40 km、イエ川では 60 km、パセイン川では 80 km 河口から内陸まで進行する（図 3）。そのため、時空間変化パターンの大きい塩水遡上を、衛星画像を利用して把握することは効果的である。
4. 塩分濃度が 1 ppt（電気伝導度で 1.56 dS m^{-1} に相当）以上の河川水を水田に灌漑することは望ましくない(Driel and Nauta 2015)。衛星画像から作成した塩水遡上ラインマップを利用し、コメの栽培適地や播種時期を把握することができる（図 4）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. Sentinel-2 衛星は、10 日間隔でミャンマー上空を通過する。そのため、6 時間毎に変動する潮汐の影響を考慮することはできないが、エーヤワディデルタのように潮位の干潮差が比較的小さいところでは、ゆっくりとした内陸への塩水遡上ラインの動きを捉えることができる。
2. 作物の成長阻害などの塩害被害は事後に気づくことが多いが、衛星観測による塩水モニタリングにより、塩水がコメの栽培エリアに近づいたときにアラートを発して、農家が塩水侵入を防ぐための対策を事前に講じることができる。
3. 本手法による電気伝導度の推定は濁度との関係に基づいている。濁度は、雨や風、潮位などによっても大きく変わる点に留意する。

[具体的データ]

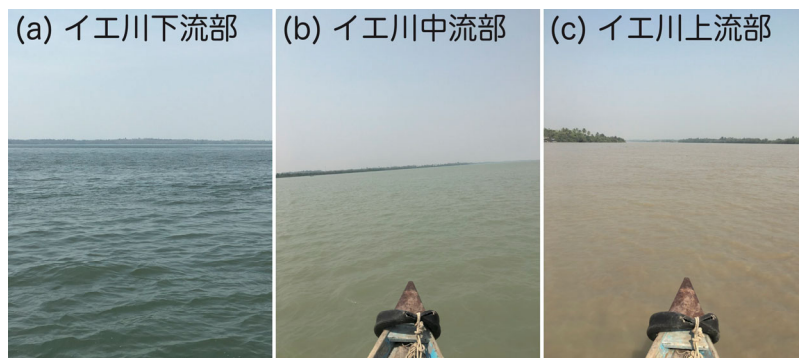


図1 イエ川の(a)下流部、(b)中流部、(c)上流部での様子（2018年3月9日撮影）

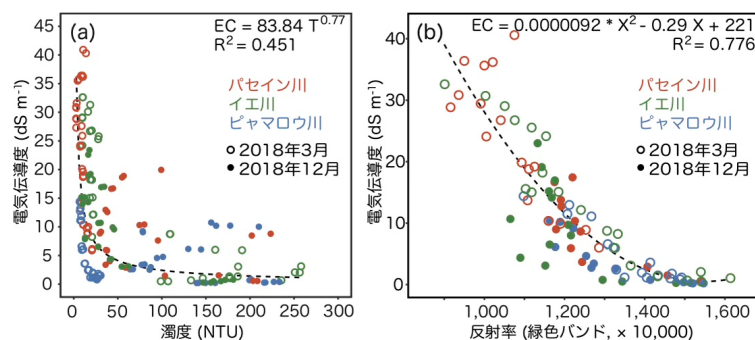


図2 濁度と電気伝導度の関係(a)と反射率（緑色バンド）と電気伝導度（EC）の関係(b)

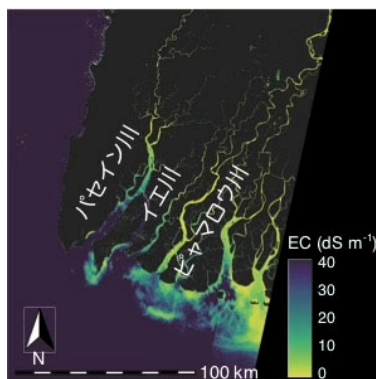
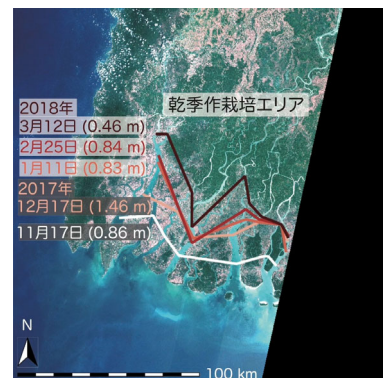


図3 衛星画像の緑色バンドの反射率から求めた電気伝導度(EC)マップ（2018年3月12日）

図4 衛星データから求めた塩水遡上ライン
塩水遡上ライン：河川塩分濃度が1 pptとなる点を結んだ線。3月12日の塩水遡上ライン以南では乾季作が栽培されていない（括弧内の数字は干満差を示す）。

[その他]

研究課題：開発途上地域農業の温室効果ガス排出抑制とリスク回避技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金〔気候変動対応〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：酒井徹・大森圭佑、Aung Naing Oo（イエジン農業大学）、Yan Naung Zaw（ミャンマー国農業局）

発表論文等：Sakai T et al. (2020) Paddy and Water Environment, doi.org/10.1007/s10333-020-00837-0

〔成果情報名〕 水稻再生作では前作稲収穫前後の土壌乾燥が再生稲の収量性を高める

〔要約〕 ミャンマーの熱帯地域では、前作稲収穫前後 4 週間を土壌乾燥条件で水管理した再生稲の収量は、飽和条件で水管理した場合に比べて 50%以上増加する。また、前作収穫後に行う再生作のための追加的な株刈りには増収効果は認められない。

〔キーワード〕 水稻再生稲、株刈り、土壌水分管理、ミャンマー

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 農村開発領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

再生稲による水稻二期作栽培（本作＋再生作）は、育苗、代かき・田植えを必要としないため慣行の水稻二期作に比べて、労働コスト・時間、種子等の生産コストを削減できること、単位水量当たりの年間収量が増加すること、さらに、温室効果ガス(CO₂、N₂O、CH₄)の削減に貢献できる栽培体系であることが報告されている (Firouzi et al. 2018 等)。しかし、再生稲の単収は慣行移植栽培による本作に比較して 40～60% (Santos et al. 2003)に留まることから、商業規模の栽培は限定され、ほとんどは本作の補充栽培として実施されている(Wang et al. 2019)。近年、インドネシア国西スマトラ州において、Erdiman ら(2014)により本作と同レベルの収量 (6～7 t ha⁻¹) を連続的に繰り返す多年生稲栽培（現地名 SALIBU）が報告された。そこで本研究では、水稻再生作の増収要因を探索するため、SALIBU 栽培管理における特徴的な株二回刈り（図 1 上）と収穫前後の土壌水分管理（図 1 下）に着目し、熱帯地域であるミャンマー・ネピドーにおいてコンクリートタンク栽培試験（図 2）を行い、これら栽培管理が再生稲の収量性に及ぼす影響を検証する。

〔成果の内容・特徴〕

1. コンクリートタンクを用いた再生稲による水稻二期作（本作＋再生作 1、栽培期間 2019/2～8 月）および三期作（本作＋再生作 2＋再生作 3、栽培期間 2019/9～2020/5 月）試験において、前作の収穫前後約 4 週間の 3 つの土壌水分処理区（飽和、湿潤、乾燥）および 2 つの株刈り区（一回刈り、二回刈り）における再生稲 3 作の分けつ再生率および収量を比較する。
2. 各水分処理区の約 4 週間の土壌水分張力と酸化還元電位の平均値はそれぞれ飽和区が 0 kPa、-200 mV、湿潤区が-11 kPa、200 mV、乾燥区が-19 kPa、550 mV であり、土壌が乾燥するほど分けつ再生率および収量が有意に増加する（図 3 および図 4）。
3. 株二回刈り（収穫時の株高 30～40 cm の刈取りと再生作のための株高 5 cm の追加刈り）と株一回刈り（収穫および再生作のための株高 5 cm の刈取り）の収量の差から株二回刈りに増収効果は認められない（図 4）。追加刈りの作業コストに見合う増収がなければ、再生作の株刈りは収穫時の株高 5 cm の一回刈りとなる。
4. 土壌を乾燥させる水管理は、易分解性窒素化合物の増加と無機態窒素の供給の促進、ならびに土壌酸化条件による根の呼吸の活性化を通じ、再生稲生育初期の根圏環境を改善し、再生稲の増収に貢献すると考えられる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 排水管理が容易なコンクリートタンクの試験結果であり、水田圃場において再生稲の収量性を高める土壌水分管理には、排水路整備などの排水対策を検討する必要がある。
2. 前作収穫前後の水管理（灌漑水量・頻度・期間）は、気温、降雨量や水田土壌の保水性、また、再生稲の生育を考慮して行う必要がある。

[具体的データ]

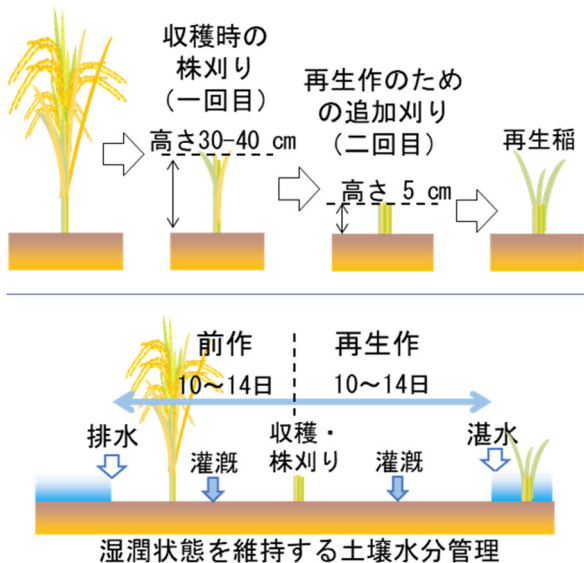


図1 インドネシア多年生稲栽培 (SALIBU) における特徴的な栽培管理である株二回刈りと前作収穫前後の土壌水分管理



図2 コンクリートタンク（幅0.9m×長さ1.8m×深さ0.4m）栽培試験（分割法、4反復、計24プロット）

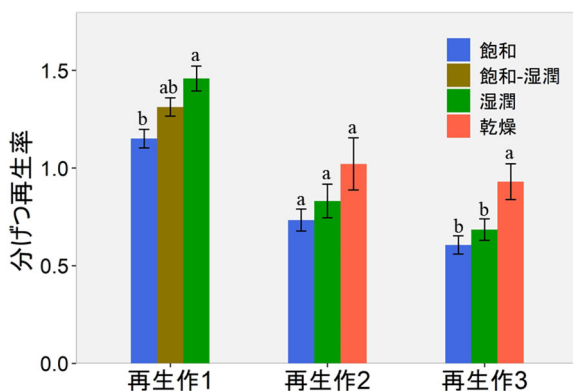


図3 前作収穫前後の土壌水分管理の違いが分げつ再生率（収穫後3週目）に及ぼす影響
株一回刈りの再生稲が対象。分げつ再生率は1株当たりの再生分げつ数を前作最終分げつ数で除して算定。エラーバーは標準誤差(n=16)、各再生作における同一文字は5%水準で有意差がないことを示す(Tukey HSD)。

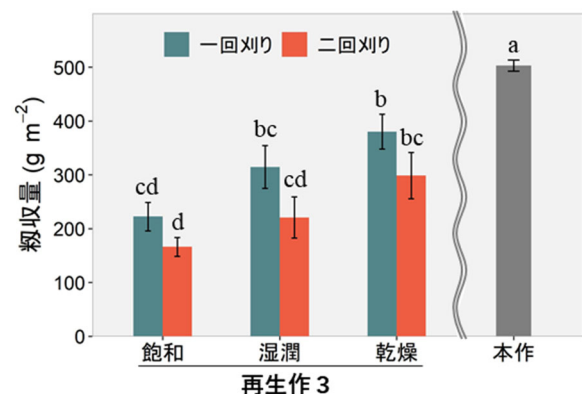


図4 刈取り回数・土壌水分処理の違いが再生稲の籾収量に及ぼす影響（再生作3の例）
エラーバーは標準誤差(n=4)、同一文字は5%水準で有意差がないことを示す (Tukey HSD)。

[その他]

研究課題：開発途上地域農業の温室効果ガス排出抑制とリスク回避技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [気候変動対応]、科研費 [挑戦的研究 (開拓)]

研究期間：2020年度 (2016~2020年度)

研究担当者：白木秀太郎・山岡和純、Thin MC・Khin MH (ミャンマー農業研究局)

発表論文等：Shiraki S et al. (2020) Agronomy, <https://doi.org/10.3390/agronomy10111621>

〔成果情報名〕サイレージ調製はソルガムとトウジンビエ茎葉部の飼料利用率を向上させる

〔要約〕西アフリカ半乾燥地域においてソルガムとトウジンビエの茎葉部は反芻家畜の主な粗飼料源であるが、収穫後に放置すると栄養成分が減少する。しかしサイレージとして調製することで良質に発酵しその飼料利用率は向上して、乾季における飼料不足の緩和が期待される。

〔キーワード〕西アフリカ、作物副産物、反芻家畜、サイレージ、飼料利用率

〔所属〕国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕研究

〔背景・ねらい〕

ソルガム(*Sorghum bicolor* [L.] Moench)とトウジンビエ(*Pennisetum glaucum* L.)は西アフリカ半乾燥地域における主要作物であり、両作物の穂収穫後の茎葉部は、屋外で保存（放置）され、反芻家畜にとって飼料が著しく不足する乾季中の粗飼料として利用される。しかし飼料資源の乾燥が、この地域で唯一の保存方法であり、保存期間が長くなるにつれて栄養成分の溶脱や分解により、その飼料としての栄養価値は低下する。そこで、これら作物の茎葉部をサイレージに調製することで飼料成分が保持されるとともに飼料利用率が改善され、乾季飼料不足の緩和と家畜生産性の向上が期待できる。

〔成果の内容・特徴〕

1. ソルガムとトウジンビエの茎葉部は、穂収穫直後の新鮮なものと比較して、120日間放置した場合、粗蛋白質と粗脂肪の含量およびエネルギーは減少し、繊維とリグニン等の難消化性炭水化物含量が相対的に増加する。一方、サイレージを調製した場合、貯蔵120日後の栄養成分の減少が少なく、良質に保持される（図1）。
2. 収穫直後のそれぞれの作物の茎葉部には乳酸菌が付着しているが、120日間放置した後には好気性細菌、大腸菌群、酵母及び糸状菌等、サイレージ発酵に対する不良微生物が多くなり、乳酸菌は検出されない。一方、貯蔵120日後のサイレージでは乳酸菌が優勢となり、不良微生物の増殖は抑制される。微生物の菌種構成について、同じ処理区内では作物間で差は見られない（図2）。
3. このサイレージ調製によれば、乳酸発酵によるpHの低下及び低水分による酪酸発酵の抑制により、貯蔵過程における腐敗の発生がなく、長期間にわたり栄養成分を保持できる。
4. 在来種肉牛15頭（平均体重257.4±13.5 kg）を供試し、濃厚飼料1 kgと粗飼料（放置、あるいはサイレージ調製したソルガム茎葉部）を自由採食させる飼養試験では、採食量と飼料利用率が、放置のものからサイレージ調製することにより大幅に改善される（図3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 作物の茎葉部を用いたサイレージは、西アフリカ半乾燥地域の農家において簡易に調製でき、反芻家畜用貯蔵飼料として乾季飼料不足の緩和に活用できる。
2. このサイレージの調製技術は、CNRST（ブルキナファソ国家科学研究技術センター）の技術書として発刊され、現地の家畜飼養技術の改善に活用される。
3. 収穫直後のソルガムとトウジンビエの茎葉部は低水分のため、サイレージを調製する際の水分調整について留意する。
4. 飼料利用率は、家畜採食量と飼料給与量の乾物比により計算している。

[具体的データ]

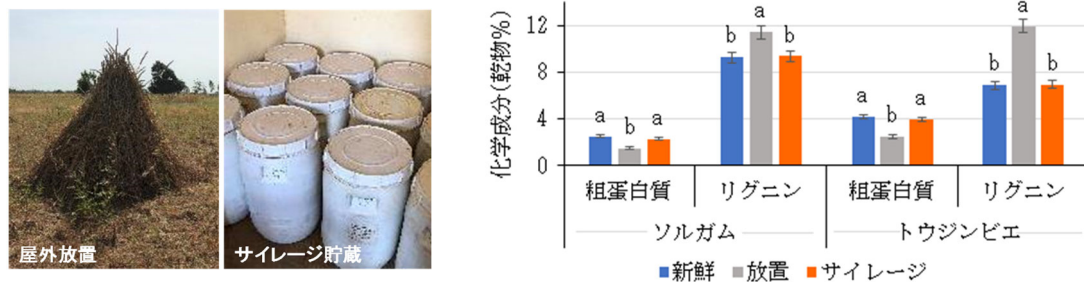


図1 作物茎葉部の屋外での放置とサイレージ調製（左）による飼料成分の変化（右）

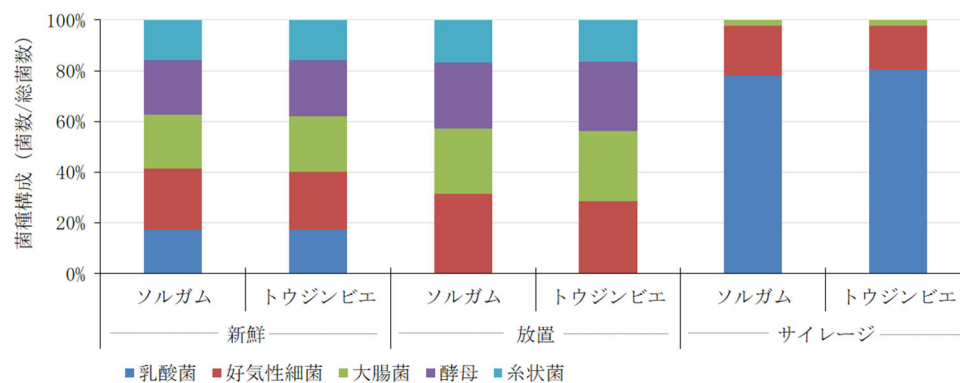
a, b: t 検定で有意差 ($p < 0.05$) あり。

図2 作物茎葉部の保存方法の違いによる微生物の菌種構成

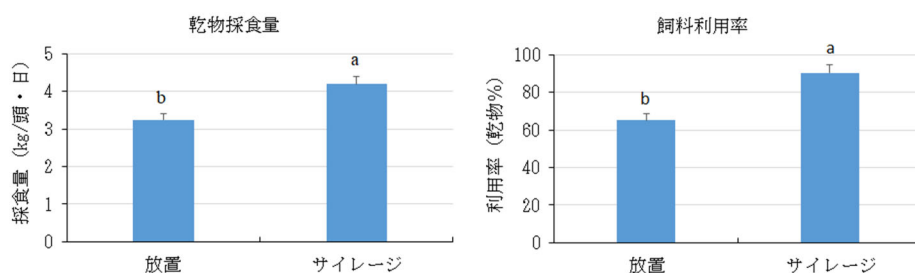


図3 ソルガム茎葉部の保存方法の違いによる肉牛の乾物採食量と飼料利用率

a, b: t 検定で有意差 ($p < 0.05$) あり。n=15。飼料利用率=家畜採食量/飼料給与量×100%。

[その他]

研究課題：サブサハラアフリカの土壌侵食危険地域における集約型流域管理モデルの構築

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ流域管理]

研究期間：2020 年度 (2016～2020 年度)

研究担当者：蔡義民・山崎正史、Delma J・Nignan M (ブルキナファソ環境農業研究所)

発表論文等：Cai Y et al. (2020) Animal Science Journal, DOI: 10.1111/asj.13463.

〔成果情報名〕 エチオピアの共有林維持管理には協力行動の意義に関する情報提供が欠かせない

〔要約〕 エチオピアティグライ州の農民は、エチオピア高原の共有地を利用しながら、保全するための協力行動を行っている。このような農民による共有林保全活動を持続的に行うためには、協力行動の意義に関する情報提供を行う必要がある。

〔キーワード〕 自然資源管理、協力行動、共有地、森林、エチオピア

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 社会科学領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

エチオピア高原にあるティグライ州の森林の多くは、村落が共同管理する共有林である。こうした共有林は、地域の農民が共同で石積みや保全溝の造成などの水土保持作業や植林作業を行うなど農民の共同作業負担によって維持されてきた（図1）。共同体の成員全員が無償で水土保持工を行うことによって共有林の植生が維持・改善され、農民はそこから家畜の飼料や薪木の採集をすることができる。しかし、近年はそうした共同体活動への参加率が下がりつつある。共有林の維持は、地域の農民が自発的に協力して植林や水土保持工などの作業を続けることができるかどうかにかかっている。本研究では行動経済実験により、共有林保全に資する協力行動の意義に関する情報提供が農民の協力行動を促すかどうか調べる。

〔成果の内容・特徴〕

1. ティグライ州東部の11村で無作為抽出した農民672人を対象に、8人のコミュニティー単位で、公共財ゲームとして知られる行動経済実験を行う。実験参加者が、共有林維持のために匿名の拠出を行うという設定で経済実験を10回（ラウンド）繰り返す。実験開始前に参加者に対しゲームのルールと拠出の結果に関する説明を行う。各参加者は共有地保全のための拠出として、実際に自分の所持金から現金を支払う。これはコミュニティーの他のメンバーに対する協力の程度を示す。共有地全体をプールして二倍にした金額を共有地保全による便益として各参加者に平等に分配する。5回目終了後に再び参加者に、ゲームのルールと協力行動によってどのような結果が生じるかについて情報提供を行い、さらに実験を継続する。
2. 拠出額は5回目までは低下を続ける（図2）。情報提供の後、6回目には拠出額は1回目と同じ水準まで上昇し、その後の拠出額の低下は少なくなる（表1）。この結果は、この情報提供が協力行動による共有林の保全に対し長期的な効果があることを示す。
3. 自然資源の保全意識は参加者個人の属性によって異なる（表2）。郡の中心地から遠い農家ほど拠出額は多く、村民に対する信頼度が高いほど拠出額は多い。市場との関係が薄い伝統的な農村の家ほどコミュニティーに協力的である。
4. 各回の拠出額は、直前の回での他のメンバーの拠出額と正の相関がある（表2）。他のメンバーが拠出額を変えれば、次の自分の拠出額はほぼ同じだけ変える。すなわち各参加者の協力行動は、他のコミュニティーメンバーの協力行動の影響を受ける。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 農民に森林保全活動に関して協力行動を取ることのメリットを伝えることにより、保全活動への参加意欲が高く継続する。セミナーや研修等の情報提供を主体とした機会を持つことが望ましい。
2. 農民の協調性は、国・地域や民族、世帯特性や地理条件によって異なることに留意する。

[具体的データ]



図1 農家の共同作業で作られた石積みによる植林用水土保全工（メケレ市内）

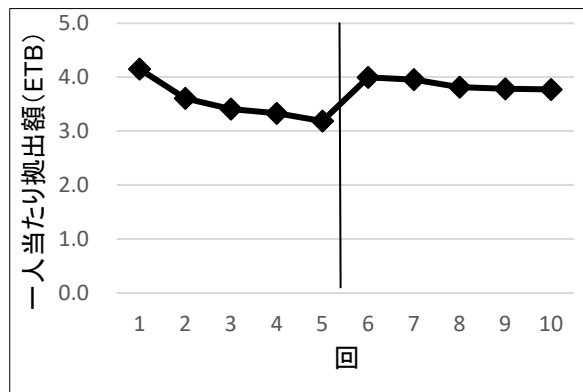


図2 公共財自発的供給実験の拠出額

注：垂直な線は情報提供のタイミングを示す。

ETB：エチオピアブル

表1 公共財自発的供給実験の進行にともなう拠出額の変化

実験の回数	1回から5回	5回から6回	6回から10回
拠出額の変化	-0.963***	0.808***	-0.224***
1回から5回との差	-	1.771***	0.739***

注：672人の実験の平均値。*** $p < 0.01$ 。

表2 農民の属性と拠出額の決定要因

属性	係数推定値	属性	係数推定値
他のメンバーの拠出額	1.084***	町からの距離	0.021***
女性	-0.090	村民に対する信頼	0.395***
就学年数	0.014	農地面積	-0.112**
年齢	0.206***	保有家畜頭数	-0.008
肥沃度	-0.213***		

注：Tobit回帰モデル推定値。他のメンバーの拠出額：1回前の自分以外のメンバーの拠出額の平均値(ETB)。町からの距離：郡の中心地から自宅までの距離(km)。村民に対する信頼：アンケート調査で同じ村の人々が互いを信頼するか、信頼しないかを質問した結果のダミー変数。女性、就学年数、および年齢は世帯主のデータ。保有家畜頭数：世帯の総家畜数（熱帯家畜単位）。肥沃度は石灰質土壌以外の地域のダミー変数。*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$ 。

[その他]

研究課題：サブサハラアフリカの土壌侵食危険地域における集約型流域管理モデルの構築

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金〔アフリカ流域管理〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：鬼木俊次、Haftu Etsay・Melaku Berhe・Teklay Negash（メケレ大学）

発表論文等：Oniki S et al. (2020) Sustainability 12, 9290.

〔成果情報名〕 改良部分耕と表土被覆の組み合わせによる環境保全型タロイモ栽培技術

〔要約〕 傾斜地において、携帯型深穴掘り器や深溝掘り機を用いた部分耕と有機物マルチを組み合わせると、慣行（全面耕起、マルチ無し）に比べて土壌侵食量が80～91%減少し、タロイモが3倍程度増収する。

〔キーワード〕 太平洋島嶼、傾斜圃場、タロイモ、改良部分耕、混作、有機物マルチ

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

タロイモ(*Colocasia esculenta* (L.) Schott)は太平洋島嶼地域の主要作物として、主に海洋沿岸に近い低湿地帯で伝統的に栽培・維持されてきた。しかし近年の気候変動に伴う海面上昇等がタロイモ圃場への塩分の侵入を引き起こし、より海岸から離れた傾斜地でタロイモを栽培する必要性が生じている。しかし太平洋島嶼高島における火山岩由来の土壌は、表層の土壌有機物層が薄く、肥沃度が極めて低い酸性風化土壌である。そこでタロイモの肥培管理として、下層土の土壌改良と土壌保全を実現する環境保全型栽培技術の開発に取り組む。具体的には、耕起の違い（深溝耕、深穴耕の2種の部分耕起と全面耕起）とマルチの違い（ジュウロクササゲ、サツマイモ混作による被覆、有機物マルチ）の組み合わせにより、斜面で等高線栽培したタロイモの収量と傾斜圃場からの土壌侵食、下層土の土壌改善に及ぼす影響を明らかにし、最適な栽培方法を見出す。

〔成果の内容・特徴〕

1. 試験はパラオ共和国バベルダオブ島内のパラオコミュニティカレッジ農場内で8月から翌年5月にかけて行った。圃場の斜度は8～13°、作付け期間中の降雨量は2,800 mmであった。
2. 部分耕の改良技術として携帯型深穴掘り器と深溝掘り機を導入する（図1）。45 cmの深さに掘削した穴の中へ堆肥300 gと掘削土壌を混和しながら25 cmの高さまで埋め戻した後、タロイモ苗（品種名 Ngesaus）を植え付ける。
3. 改良部分耕と有機物マルチ（ビンロウ葉を使用）の組み合わせでタロイモを栽培すると、慣行（全面耕起、マルチ無し）に比べてタロイモが3.2～3.6倍（1.8～2.0 t ha⁻¹）増収する（図2）。
4. 携帯型深穴掘り器を用いた場合、タロイモの一個重が2.6倍重く（256 g 個⁻¹）なる。
5. 上記の組み合わせにより、土壌侵食量が、慣行に比べて80～91%（35 m³ ha⁻¹ から3.1～6.9 m³ ha⁻¹）減少する（図3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 本技術は、パラオ共和国バベルダオブ島のオキシソル土壌で効果が検証されたが、他の太平洋島嶼高島の傾斜地で栽培を行う場合は、別途本技術の適用効果を確認するための試験を行う必要がある。
2. 携帯型深穴掘り器の価格は約6万円と比較的安価で軽量であるため扱いやすい。深溝掘り機は約177万円と高価だが、自走式で傾斜10°程度まで作業可能である。
3. 携帯型深穴掘り器や深溝掘り機を用いて掘削する穴や溝の深さは、植え付ける苗の大きさや改良すべき土壌の物理化学性を考慮しながら、埋め戻す堆肥等の量を決めることが望ましい。
4. 有機物マルチは現地で入手可能で腐食しにくく、地面を全面被覆しやすい素材を用いる。
5. 混作の作物選定にあたって、タロイモと競合しないよう注意する必要がある。

[具体的データ]



図1 部分耕として使用する携帯型深穴掘り器（左）と深溝掘り機（右）

左；ハンデタイプエンジン付きオーガー(AGZ5010EZ, ZENNOH, Japan)にドリル（直径 15 cm、長さ 80 cm）を装着し使用。右；自走式トレンチャー(NF-827 II, KAWABE, Japan)。

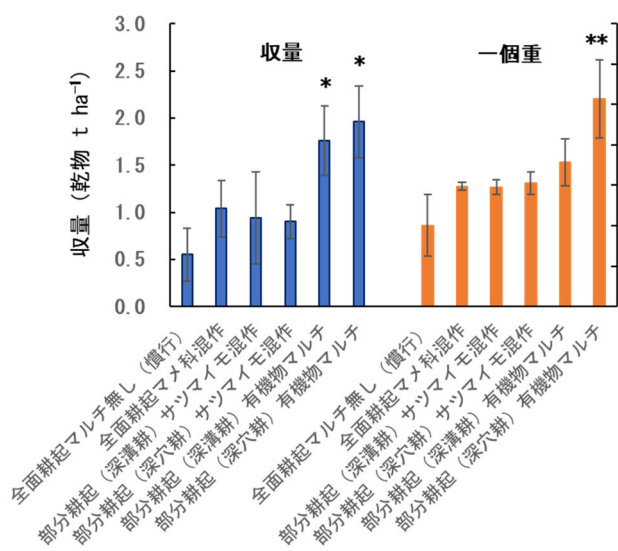


図2 改良部分耕と表土被覆の組み合わせがタロイモ収量と一個重に及ぼす影響

*、**：慣行との間に有意差（*： $p < 0.05$ 、**： $p < 0.01$ ）あり（Dunnett 検定）。

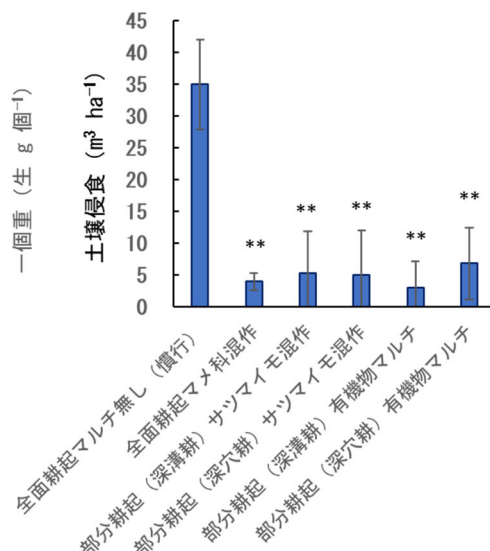


図3 改良部分耕とマルチの組み合わせが土壌侵食に及ぼす影響

侵食土壌量を測定するため、試験区（傾斜度 8～13°の圃場）を木枠で囲み、下部に土壌トラップを設置。**：慣行との間に有意差（ $p < 0.01$ ）あり（Dunnett 検定）。

[その他]

研究課題：アジア・太平洋島嶼水利用制限地域における資源保全管理技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [アジア・島嶼資源管理]

研究期間：2020 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：大前英、Nwe YY（パラオコミュニティカレッジ）

発表論文等： Nwe YY, et al. (2021) Tropical Agriculture and Development（印刷中）

〔成果情報名〕 石垣島のサトウキビ栽培では基肥窒素半量でも収量を維持し溶脱量を削減できる

〔要約〕 新植サトウキビ栽培では、植付け直後に施用される施肥窒素はサトウキビの初期生育に影響しない。硝酸態窒素溶脱は主に生育初期に発生することから、基肥窒素の施用量を半減しても、収量を維持しつつ地下への窒素負荷量が削減可能である。

〔キーワード〕 ライシメーター、亜熱帯島嶼、窒素溶脱、肥培管理、サトウキビ

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

透水性の高い石灰岩が分布する熱帯・亜熱帯島嶼地域では、肥料由来の窒素が容易に地下に溶脱し、地下水の硝酸態窒素汚染を引き起こす。地下水を生活用水や農業用水として利用している南西諸島の島嶼地域においては、サトウキビ肥培管理による施肥窒素の溶脱が地下水への主な窒素負荷源となっている。特に、根系発達前の生育初期に多量施用される施肥の効果は限定的であり、サトウキビの生育特性に適した肥培管理が重要である。そこで、排水型ライシメーターを用いて、異なる施肥条件下でサトウキビを栽培すると同時に窒素溶脱観測を行い、サトウキビ収量を維持しつつ地下への窒素負荷量を削減する肥培管理法の開発を行う。

〔成果の内容・特徴〕

1. 石垣島の熱帯島嶼研究拠点の屋外有底ライシメーター（面積 10 m²、深さ 2 m）に石灰岩由来の土壌を詰め、サトウキビ（*Saccharum officinarum* 品種農林 8 号）を新植し、天水のみで栽培する（図 1）。下端において浸透水を採取し、浸透水量および浸透水中の硝酸濃度を測定する。
2. 基肥窒素を現行の施肥基準の半量に削減(T2)しても基肥窒素を全量施用した T1 と同程度の収量が維持される。追肥窒素を半減した T4 は、基肥無施用の T3 と比較して、合計の施肥窒素量が少ないにもかかわらず、収量が多いことから、施肥のタイミングは重要である。（表 1）。
3. 葉面積は、生育初期においては、施肥処理の違いによる差は確認できないが、生育旺盛期においては、基肥と追肥を同時に削減した処理区 T5 - 7 で違いが確認できる（表 1）。
4. 浸透水中の硝酸態窒素(NO₃-N)濃度は、生育初期の 4 月後半から 6 月後半までの期間で高く、慣行の施肥基準量区(T1)では、8~10 mg L⁻¹ の高濃度で浸透水中から検出される（図 2）。
5. 追肥窒素のみ半量区(T4)、基肥窒素半量区（T2 および T5）および基肥窒素無施用区（T3 および T6）では、現行の施肥基準量である T1 の積算窒素溶脱量(24 kg ha⁻¹)と比べて、それぞれ 10 kg ha⁻¹、12 kg ha⁻¹、19 kg ha⁻¹ 減少する（図 3）。
6. 現行の施肥基準における窒素施肥量を 15 %削減（35 kg ha⁻¹ 相当）しても、収量は同レベルを維持しつつ、肥料由来の窒素の溶脱は 5 割程度削減(12 kg ha⁻¹)できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 適正な肥培管理は、環境負荷の軽減と肥料費の削減に貢献し、あらゆる農家で推奨される。
2. この成果は、沖縄県のサトウキビ栽培における施肥基準（施肥量）を改訂する際の基礎データとなるとともに、地下水帯全般における窒素収支・動態解析のためのデータとなる。
3. 適切な肥培管理には、窒素の減肥に加えとりまく環境条件に配慮する必要がある。よって、土壌・気象データを蓄積し、それらを用いたモデル解析が有効である。

[具体的データ]

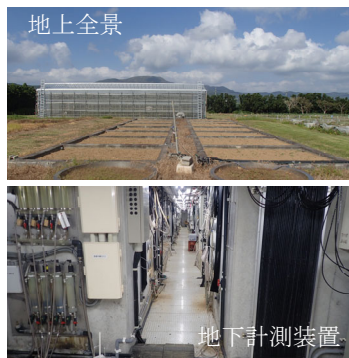


図1 熱帯島嶼拠点のライシメーター

表1 各施肥窒素処理区のサトウキビ収量ならびに葉面積

処理区	施肥窒素処理		収量調査			葉面積調査	
	基肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	追肥窒素量 (kg ha ⁻¹)	収量 (t ha ⁻¹)	一茎重 (kg)	茎数 (茎数 m ⁻²)	生育初期 (4月) (cm ²)	生育旺盛期 (8月) (cm ²)
T1	70	160	91.0	1.13 a	8.4 a	83.3 a	295 a
T2	35	160	88.8	1.11 a	7.9 a	84.5 a	275 a
T3	0	160	76.8	1.03 a	8.4 a	87.4 a	272 a
T4	70	80	83.0	1.01 a	8.4 a	98.3 a	270 a
T5	35	80	74.5	1.07 a	6.8 a	86.3 a	250 ab
T6	0	80	72.3	1.06 a	7.1 a	82.3 a	241 b
T7	0	0	39.8	0.75 b	7.9 a	91.3 a	215 b

T1 から T7 は施肥窒素処理区を示す。収量は2反復の調査結果の平均値。施肥窒素処理間で、Tukey 法により異なるアルファベット間には有意差があることを示す($p<0.05$)

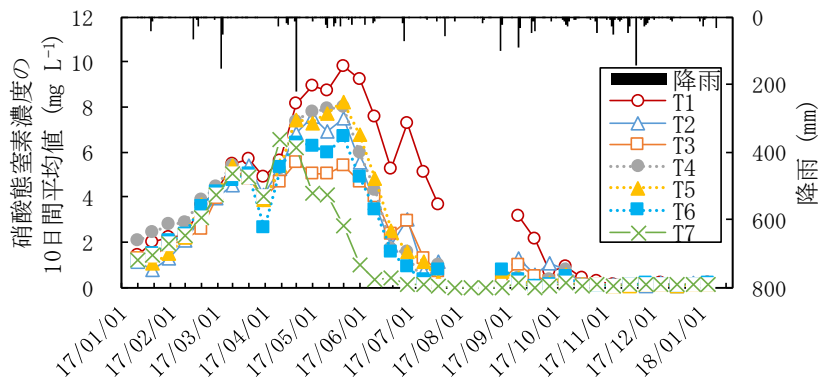


図2 浸透水中の硝酸態窒素濃度の経時変化

T1 から T7 は表1 の処理区を示す。

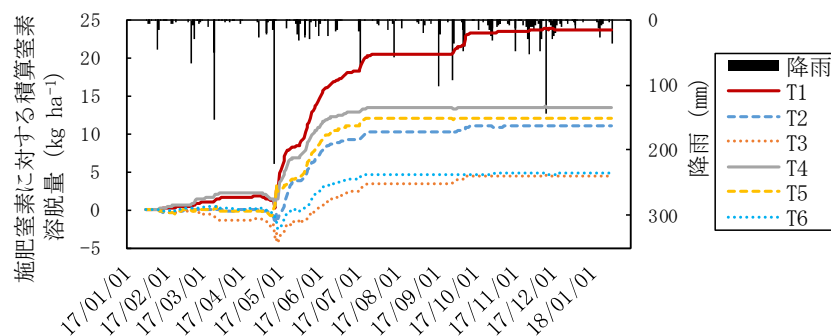


図3 施肥窒素に対する積算窒素溶脱量

T1 から T6 は表1 の処理区を示す。施肥窒素に対する積算窒素溶脱量は、T1 から T6 の硝酸態窒素溶脱量を T7 (無施肥区) の NO₃-N 溶脱量で差し引いた値の積算量を示す。

[その他]

研究課題：アジア・太平洋島嶼水利用制限地域における資源保全管理技術の開発

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分：交付金 [アジア・島嶼資源管理]

研究期間：2020 年度 (2016~2020 年度)

研究担当者：岡本健・安西俊彦・安藤象太郎・後藤慎吉 (現農研機構 九州沖縄農業研究センター)

発表論文等：岡本ら (2020) 熱帯農業研究, 13(2):57-67

〔成果情報名〕 ブラキアリアは株間土壌のアンモニア酸化古細菌を抑制し硝化速度を低減する

〔要約〕 ブラキアリア属牧草の栽培における硝化抑制効果は株間土壌においても確認でき、その硝化抑制作用はアンモニア酸化古細菌数の抑制によって生じる。株間土壌の硝化抑制効果は品種によって異なり、根圏分泌物に加えて根組織中の生物的硝化抑制活性が影響する。

〔キーワード〕 ブラキアリア、生物的硝化抑制、BNI、アンモニア酸化古細菌

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

現代農業においては作物収量を維持するための多量の窒素施用が必須であるが、その利用効率は高くない。窒素利用効率向上のため硝化抑制剤が用いられるが、高価な上、継続的に施用する必要がある。生物的硝化抑制(BNI)とは植物自身が硝化抑制物質を分泌し、その効果が発現するものであり、農業生態系における窒素利用効率の向上や環境負荷低減効果が期待されている。特に熱帯牧草ブラキアリアでは、硝化抑制物質としてブラキアラクトンが同定されるなど、BNI 植物として多くの研究がなされているが、植物根分泌物の影響を直接的に評価する根圏土壌を対象にした研究が多く、また圃場での BNI 効果については報告事例が極めて少ない。また BNI の発現に関して、ソルガムではアンモニア酸化古細菌の抑制との関連が示されているものの（令和元年度国際農林水産業研究成果情報 A05「ソルガムの生物的硝化抑制にはアンモニア酸化古細菌の抑制が関連する」）、ブラキアリアでは解明されていない。一方圃場レベルでは、根圏に限らず株間を含む圃場全体を評価する必要があるため、本試験では熱帯牧草ブラキアリア栽培における株間土壌の硝化速度の変化とそのメカニズムを明らかにする。

〔成果の内容・特徴〕

1. 根圏分泌物の BNI 活性の異なるブラキアリア属牧草 7 品種と対照区として裸地区を設定し、18 ヶ月間、国際農研熱帯・島嶼研究拠点内圃場において栽培試験を実施した（図 1）。調査した 7 品種のうち、Tupy は根圏分泌物の BNI 活性が最も高く、Marandu は最も低い（表 1）。
2. ブラキアリア栽培 18 ヶ月後の株間土壌（株間 90cm の中央、深さ 0～30 cm）における硝化速度は品種によって異なり、調査した 7 品種の中では、Marandu、Mulato、Tupy の 3 品種は特に硝化速度が低い（図 2）、品種ごとの硝化速度の低下程度は各品種の根圏分泌物の BNI 活性（表 1）と必ずしも一致しない。根組織中の BNI 活性を含めて重回帰分析を実施すると有意な回帰が可能となるため、根のターンオーバーによる組織中の BNI 活性の影響が考えられる。
3. 試験開始 18 ヶ月後の硝化速度は、土壌中のアンモニア酸化古細菌(AOA)の DNA 量と正の相関が認められるが、アンモニア酸化細菌(AOB)のそれとは相関関係がない（図 3）。このことから、AOA 数の減少が硝化速度低下の原因である。
4. 本試験はブラキアリアの株間で採取した土壌を対象としており、根圏土壌および株近傍においてはより強い硝化抑制が生じている可能性がある。

〔成果の活用面・留意点〕

1. ブラキアリア栽培後の耕地においては、後作物収量の増加が報告されており(Karwat et al. 2017)、ブラキアリアを活用した輪作体系の構築が期待される。
2. ブラキアリアにおける栽培期間中の総 BNI 活性量については、植物根分泌物の分泌量の季節変化や植物根のターンオーバーなどが影響するため、今後の検討を要する。

[具体的データ]



図1 ブラキアリア栽培試験の様子

表1 各ブラキアリア栽培18ヶ月後の株間土壌における植物根量および根圏分泌物と根組織中 BNI 活性

品種	根量 kg DM ha ⁻¹	BNI 活性	
		根圏分泌物	根組織中
		ATU g ⁻¹ DM 日 ⁻¹	ATU g ⁻¹ DM
Marandu	849	2.0	174.9
Basilisk	1,147	18.3	174.5
Kennedy	488	24.4	207.0
Mulato	648	7.0	200.5
Mulato II	855	7.0	202.8
Tupy	699	46.3	208.6
Tully	1,109	17.5	183.2

ATU: アリルチオ尿素換算単位 (0.22 μM のアリルチオ尿素による硝化抑制効果を1とする)。

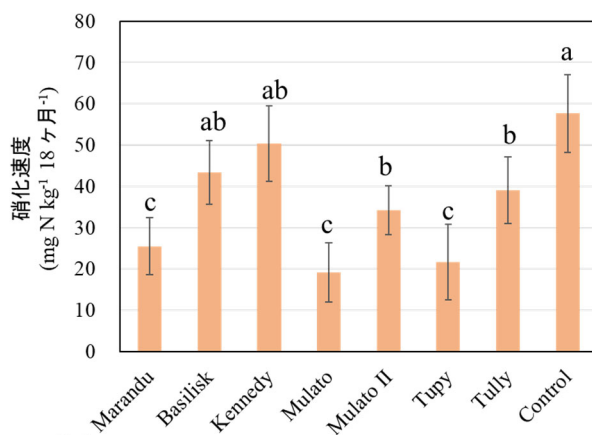
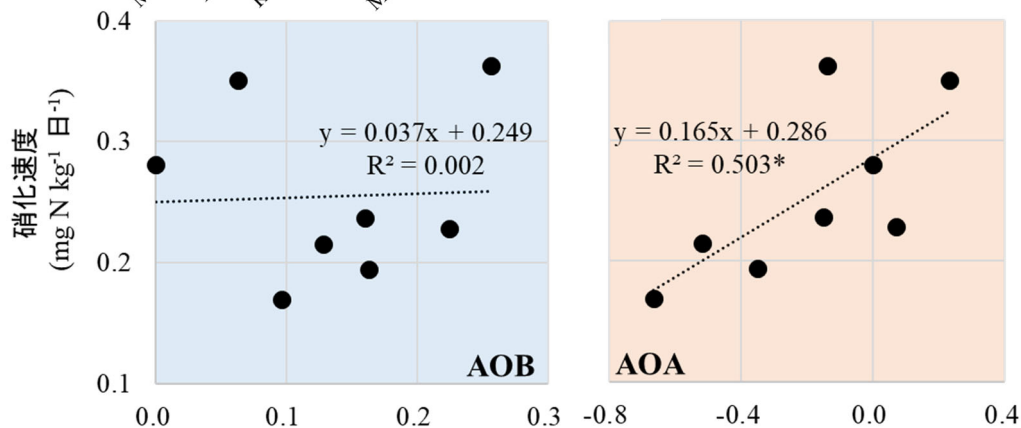


図2 ブラキアリアを18ヶ月間栽培後の株間土壌における硝化速度の品種間差

異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを示す



対照区に対する各処理区のAOB およびAOAの遺伝子コピー数の増減 (×10⁶, amoA 遺伝子コピー数 g⁻¹ 乾土)

図3 ブラキアリア栽培による AOB および AOA の増減量と硝化速度の関係

AOB: アンモニア酸化細菌、AOA: アンモニア酸化古細菌

[その他]

研究課題: 生物的硝化抑制(BNI)能を活用した環境調和型農業システムの開発

プログラム名: 開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分: 交付金 [BNI 活用]

研究期間: 2020 年度 (2016~2020 年度)

研究担当者: 中村智史・Sarr PS・安藤康雄・Subbarao GV

発表論文等: Nakamura S et al. (2020) Agronomy, 10:1003

〔成果情報名〕 西アフリカ天水稲作の各農業生態域区分に最適なリン鉱石直接施用頻度

〔要約〕 西アフリカ天水稲作に対する低品位リン鉱石直接施用効果は、1年目には農業生態域区分の違いで顕著な差異が認められる。全ての農業生態域で前年に施用したリン鉱石の残効が期待され、残効の大小によりそれぞれ最適な施用頻度が異なる。

〔キーワード〕 ガーナ、ブルキナファソ、リン鉱石、天水稲作、農業生態域区分

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

農業等で利用され海洋に流れ込んだ多くのリンが回収不能であるように、リンは環境に放出されると再利用が難しい有限の資源である。リンの効率的な農業利用に向けた取り組みが国際的に行われており、アフリカにおいては、安価なリン資源として地域産のリン鉱石の利用拡大が期待されている。しかし、アフリカに分布するリン鉱石は石英や鉄・アルミニウム等の夾雑物を多く含み、また可溶性が低いことから低品位とされ、十分に利用されていないため、焼成により可溶性向上が検討されてきた（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」）。一方で、低品位リン鉱石の直接的な施用は、溶解が促進される水稲作での有効性が期待されるが、アフリカにおける天水稲作の栽培環境は多様であり、その施用効果は一様ではないと考えられる。そこで西アフリカの天水稲作を対象とし、異なる農業生態域区分におけるリン鉱石直接施用の効果を経年調査し、栽培環境それぞれのリン鉱石利用効率を考慮した最適施用頻度を提案する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 調査地は、西アフリカの天水稲作の栽培環境を代表する3つの農業生態域区分(AEZ)であるスーダンサバンナ帯(SS)、ギニアサバンナ帯(GS)、ならびに赤道森林帯(EF)に位置する農家圃場である。各AEZにおける天水田表層土壌の化学性を表1に示す。
2. 各AEZの天水稲作圃場において、リン無施用区(NK)、ブルキナファソ・コジヤリ産の低品位リン鉱石直接施用区(PR)、化学肥料である重過リン酸石灰施用区(TSP)を設定する。PRでは、リン鉱石を粉砕したリン鉱粉を使用する。各処理区は、2年目にリン継続施用区と残効区に分割し、3年目を共にリン無施用区とし（図1）、リンの毎年施用、隔年施用などの施用頻度の変化がイネ収量におよぼす影響を調査する。
3. 各処理区における一回のPR施用量はリン酸量として同量($135 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$)とし、窒素およびカリウムは各AEZの推奨施用量とする。
4. PR施用区とTSP施用区の収量比(RY)は、1年目の施用では年間降水量の差異にともない、 $SS < GS < EF$ の順に高くなる（図2）。
5. 調査した施肥頻度の組み合わせから、各農業生態域区分におけるリン鉱石直接施用の最適施用頻度として、リン利用効率が高く、かつTSP区に対する相対農学的効率(RAE)が高いものを選択する。SSおよびGSでは「2年継続施用+1年残効」、EFでは「1年施用+2年残効」は、それぞれリン鉱石施用量が最小限で、毎年施用と同程度の収量が得られる（表2）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 本試験は、SSおよびGSは氾濫原、EFは内陸小低地における試験結果をもとにしており、地形要因などにより、低品位リン鉱石の直接施用効果変動する可能性がある。

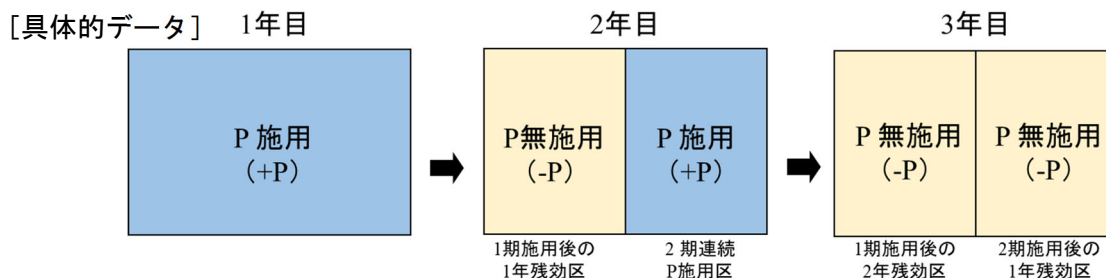


図1 リン鉱石直接施用試験の概要

表1 各農業生態域区分における調査地の表層土壌特性

		農業生態域区分		
		SS	GS	EF
年間降水量	mm	800	1,100	1,350
pH (H ₂ O)		5.40	5.72	5.12
有効態リン	mg P kg ⁻¹	1.90	8.51	4.99
全炭素	g kg ⁻¹	7.73	4.31	10.34
全窒素	g kg ⁻¹	0.58	0.41	0.82
交換性Ca	cmolc kg ⁻¹	2.48	1.88	5.11
交換性Mg	cmolc kg ⁻¹	0.93	1.11	2.01
交換性K	cmolc kg ⁻¹	0.18	0.15	0.24

SS: スーダンサバンナ帯ブルキナファソ・サリア近郊、GS: ギニアサバンナ帯ガーナ・タマレ近郊、EF: 赤道森林帯ガーナ・クマシ近郊

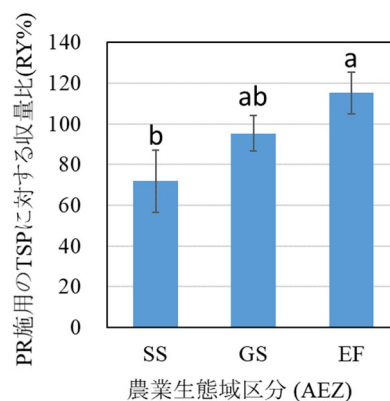


図2 各農業生態域区分におけるリン鉱石直接施用効果（1年目）

エラーバーは標準誤差、異なるアルファベットは Tukey-Kramer 法で 5%水準で有意差あり

表2 各農業生態域区分の異なる施用頻度における低品位リン鉱石の施用効果

リン鉱石施用頻度 /総リン施用量 (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ 3年 ⁻¹)	平均イネ収量 (t ha ⁻¹ 年 ⁻¹)			相対農学的効率 [†] (RAE %)			リン酸利用効率 ^{††} (kg kg P ₂ O ₅ ⁻¹ 年 ⁻¹)		
	SS	GS	EF	SS	GS	EF	SS	GS	EF
-P -P -P 0	2.42 c	2.02 c	3.63 b						
+P -P -P 135	2.79 b	2.67 b	5.02 a	20.3	62.6	96.5	8.3	14.4	30.9
+P +P -P 270	3.65 a	3.13 a	4.99 a	69.6	84.6	84.9	13.7	12.4	15.2
+P +P +P 405	3.85 a	3.12 a	5.02 a	63.9	77.2	89.4	10.6	8.2	10.3

施肥頻度における“+P”はリン酸施用あり、“-P”はリン酸施用なしを示す。異なるアルファベットは Tukey-Kramer 法で 5%水準で有意差があることを示す

†相対農学的効率: (PR 施用区収量-対照区収量) / (TSP 施用区収量-対照区収量) × 100

††リン酸利用効率: (PR 施用区収量-対照区収量) / 年あたりリン酸施用量

[その他]

研究課題: ブルキナファソ産リン鉱石を用いた施肥栽培促進モデル構築

プログラム名: 開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

予算区分: 受託 [SATREPS ブルキナ]、受託 [農林水産省大臣官房・肥沃度資源]

研究期間: 2020 年度 (2009~2021 年度)

研究担当者: 中村智史・南雲不二男・飛田哲・福田モンラウィー (現農研機構 中央農業研究センター)・神田隆志 (現農研機構 環境変動研究センター)、Issaka RN (SRI)、Dzomeku IK (UDS)、Saidou S (INERA)、他

発表論文等: Nakamura S et al. (2020) Tropical Agriculture and Development, 64:97-106.

Nakamura S et al. (2016) Nutrient Cycling in Agroecosystem, 106:47-59.

〔成果情報名〕 リン鉱石富化堆肥中の有効態リン含量に及ぼす根圏土壌添加の効果

〔要約〕 ソルガム残渣にブルキナファソ産リン鉱石を加えて堆肥化する際に、根圏土壌を添加すると堆肥中のリン酸塩可溶化微生物（特にリン酸可溶化糸状菌）とリン酸可溶化酵素（特にアルカリホスファターゼ）が、土壌を添加しない場合に比べて多くなる。完熟堆肥中の有効態リン含量は、根圏土壌の添加により高くなる傾向が見られる。

〔キーワード〕 リン鉱石可溶化微生物、リン鉱石富化堆肥、ホスファターゼ、有効態リン

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

土壌中の有効態リンの不足は、サハラ以南のアフリカの農業生産を制限している。リンの欠乏を補うため、現地産のリン鉱石の利用が進められているが、直接施用においては作物にとって利用可能なリンの供給は限定的である。そこで、生物学的処理によって有効態リン含量を高めたリン鉱石富化堆肥の利用が検討されている。堆肥化過程におけるリンの可溶化を促進するために、しばしば微生物資材が利用されるが、アフリカの多くの農家は市販の微生物資材を入手することは困難である。そこで、微生物供給源として、農家が容易に利用可能な根圏土壌を添加し、堆肥中の微生物叢の推移を明らかにするとともに、そのリン酸可溶化への効果を評価する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ソルガム残渣を用いて3種類の堆肥を製造する（図1）。何も加えず製造する堆肥に対し、2種類は重量比で10%のブルキナファソ産リン鉱石を添加するリン鉱石富化堆肥であり、そのうちの1種類では、さらに重量比で10%の根圏土壌を添加する。全ての処理で尿素を添加し、C/N比を25:1に調整して堆肥化を開始し、定期的な散水により含水率を60%に維持する。堆肥化は180日で終了し完熟する。
2. 完熟時（180日目）において、土壌を添加したリン鉱石富化堆肥中のリン酸塩可溶化細菌(PSB)と糸状菌(PSF)を合わせた微生物量は、添加しない堆肥に比べて有意に多い（図2A）。また、リン酸可溶化酵素を生産する菌数が、根圏土壌を添加したリン鉱石富化堆肥において著しく多い（図2B）。そのうち、アルカリホスファターゼ生産菌(phoD)の数が、酸性ホスファターゼ生産菌やホスホナターゼ生産菌の数より多い（データ示さず）。
3. 堆肥中の有効態リン含量は、PSFおよびphoDと高い相関を有する。一方、リン酸可溶化細菌数(PSB)との相関は低い。
4. 堆肥化を開始して60日目まで、2種類のリン鉱石富化堆肥中の、有効態リン含量（炭酸水素ナトリウム抽出の無機態リンと有機態リン、ならびに水抽出の無機態リンと有機態リンの総量）は同等である。しかし、180日目には、根圏土壌を添加した堆肥の有効態リン含量が、添加しない場合に比べ、有意差はないが高い傾向が見られる（図4）。この結果は、堆肥化過程でのリン可溶化を促進するための微生物コンソーシアム源として根圏土壌が有望であることを示す。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 根圏土壌を添加したリン鉱石富化堆肥は、ソルガム栽培試験で化学肥料(NPK)と同等な収量を示すことを確認済みである。

[具体的データ]



図1 堆肥化試験の様子

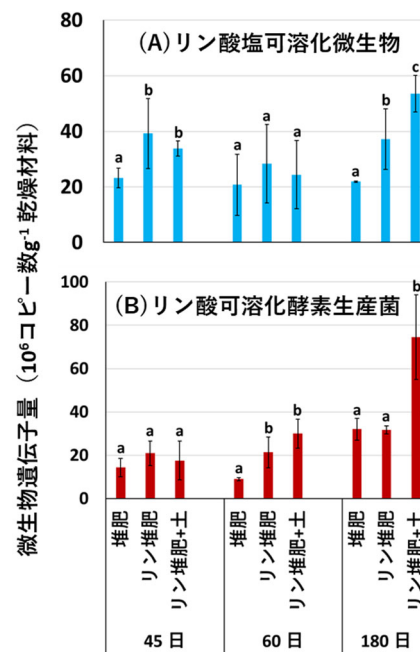


図2 堆肥化中のリン酸塩可溶性微生物量とリン酸可溶性酵素量の推移

(A)リン酸塩可溶性微生物=リン酸塩可溶性糸状菌+リン酸塩可溶性細菌、(B)リン酸可溶性酵素生産菌=アルカリホスファターゼ生産菌+酸性ホスファターゼ生産菌+ホスホナターゼ生産菌。各サンプリング期間で異なるアルファベットは一元配置の分散分析により $p < 0.05$ で有意差があることを示す。

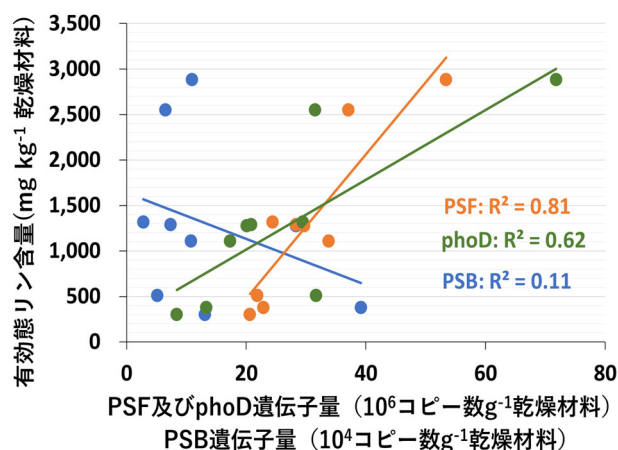


図3 堆肥化中の有効態リン含量と遺伝子量の関係

●PSF: リン酸塩可溶性糸状菌、●phoD: アルカリホスファターゼ生産菌、●PSB: リン酸塩可溶性細菌。サンプリングは堆肥化開始後45日目、60日目及び180日目に行った。示されたデータは、各期間、各種類の堆肥における平均値を示す。

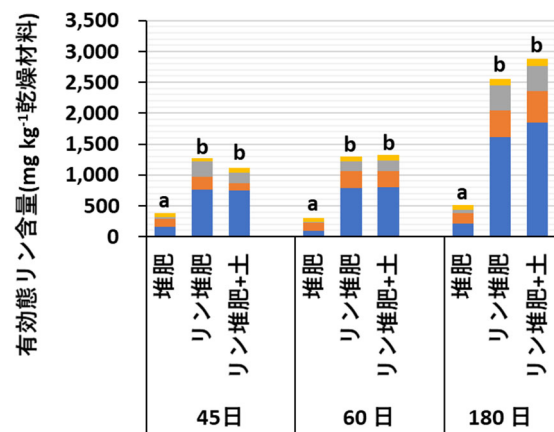


図4 堆肥化中の有効態リン画分の推移

■ $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$: 炭酸水素ナトリウム抽出有機態リン、■ $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$: 炭酸水素ナトリウム抽出無機態リン、■ $\text{H}_2\text{O-Po}$: 水抽出有機態リン、■ $\text{H}_2\text{O-Pi}$: 水抽出無機態リン。各期間で異なるアルファベットは一元配置の分散分析により $p < 0.05$ で有意差があることを示す。

[その他]

研究課題：ブルキナファソ産リン鉱石を用いた施肥栽培促進モデル構築

プログラム名：開発途上地域における持続的な資源・環境管理技術の開発

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：2020年度（2017～2021年度）

研究担当者：サール PS・中村智史・福田モンラウィー（現農研機構 中央農業研究センター）、Tibiri EB・Zongo AN・Compaore E (INERA)

発表論文等：Sarr PS et al. (2020) Frontiers in Environmental Science, doi:10.3389/fenvs.2020.559195

〔成果情報名〕 量的遺伝子座 *MP3* の導入は養分欠乏によるイネの穂数不足を緩和する

〔要約〕 サブサハラアフリカにみられる養分欠乏土壌では、イネの分げつ発生の抑制に伴う穂数不足が収量制限要因の一つとなっている。日本型品種コシヒカリからインド型多収品種タカナリに導入した量的遺伝子座 *MP3* は、マダガスカルで $2.0 \sim 4.1 \text{ t ha}^{-1}$ の低収量環境において、分げつ発生を促進し、穂数および籾数を増加させることができる。

〔キーワード〕 イネ、マダガスカル、養分欠乏、分げつ発生、*MP3*

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域、生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

窒素やリンなどの養分欠乏土壌が広く分布するサブサハラアフリカでは、分げつ発生の抑制に伴う穂数不足がイネの低収量要因の一つとなっている。遺伝的改良により養分欠乏土壌においても分げつ発生を促進させることができれば、こうした環境でのイネの生産性向上に繋がるのが期待できる。日本型品種コシヒカリから見出され、インド型多収品種タカナリに導入された量的遺伝子座 *MP3* (*MORE PANICLES 3*) は、 7 t ha^{-1} 以上の多収環境において、タカナリの一穂籾数を維持しつつ穂数を増加させる効果を持つことが分かっている(Takai et al. 2014)。そのため、*MP3* はサブサハラアフリカの収量性の低い養分欠乏土壌で生産性を改善できる可能性がある。本研究では、マダガスカルで養分欠乏圃場を対象に、*MP3* がイネの分げつ数、穂数、籾数、および収量に及ぼす効果を明らかにする。

〔成果の内容・特徴〕

1. マダガスカルでリン欠乏土壌を用いたポット試験において、タカナリにコシヒカリ由来の量的遺伝子座 *MP3* を導入した準同質遺伝子系統(NIL-*MP3*)ではタカナリに比べて、リン施肥量に関わらず分げつ数が有意に多くなる（図 1）。
2. 地点、年次、および施肥水準の違いにより収量水準が $2.0 \sim 4.1 \text{ t ha}^{-1}$ となるマダガスカルで 12 の栽培環境において、NIL-*MP3* ではタカナリに比べて、穂数は平均 19%、籾数は平均 12% 有意に多くなる（図 2）。ただし、収量水準が 1.3 t ha^{-1} となる極低収量環境ではその効果はみられない。

〔成果の活用面・留意点〕

1. *MP3* はマダガスカルでリン欠乏土壌で分げつ数を増加させる効果を有しており、同様の生産環境および収量水準にあるサブサハラアフリカ地域でのイネの穂数不足を緩和することが期待される。
2. 収量水準が 1.3 t ha^{-1} の極低収量環境では、*MP3* は穂数を増加させる効果を発揮できないため、施肥等の栽培管理と *MP3* の組合せが必要となる。
3. *MP3* の増収効果については、サブサハラアフリカの環境に適応した現地主力品種に *MP3* を導入して、今後検証する。

[具体的データ]

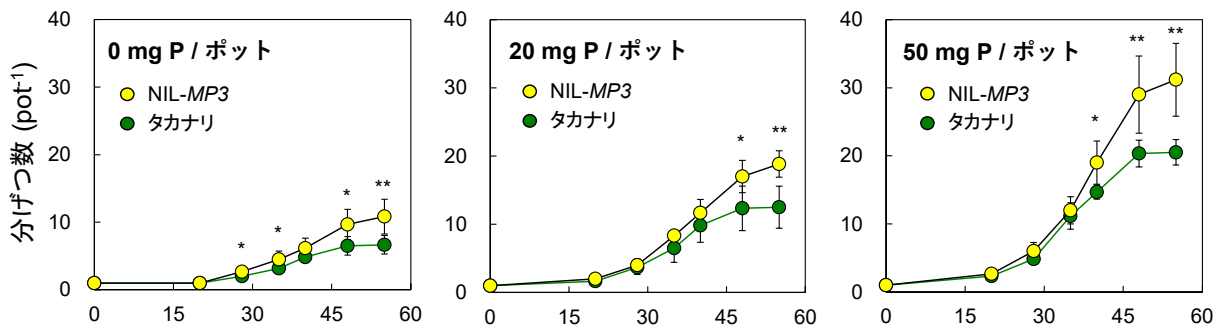


図1 養分欠乏土壌を用いたリン施用ポット試験でのタカナリとNIL-MP3の分げつ数の推移

マダガスカルのリン欠乏土壌をポットに充填し、異なるリン施肥量で栽培。**、* は1%、5%水準で有意。

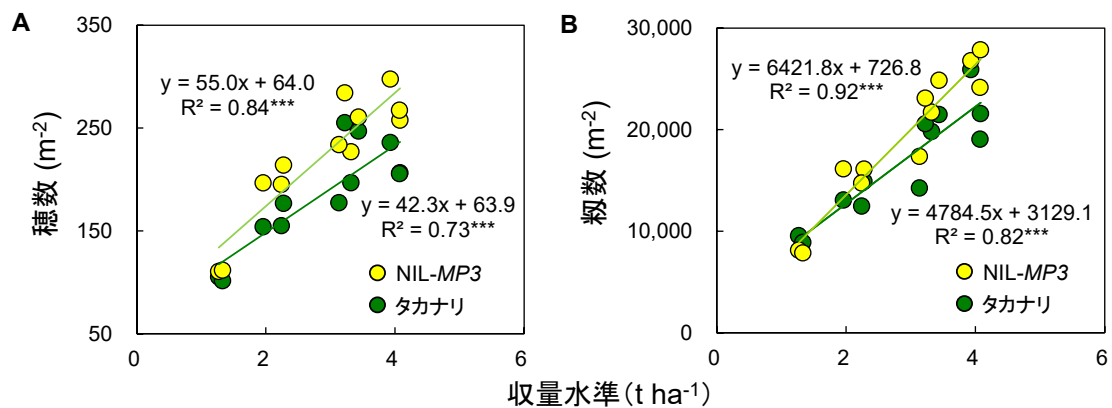


図2 地点、年次、施肥条件の異なるマダガスカルの12の栽培環境におけるタカナリとNIL-MP3の穂数(A)と粒数(B)の比較

収量水準は各栽培環境におけるタカナリとNIL-MP3間の粒収量の平均値。***は0.1%水準で有意。

[その他]

研究課題：肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性系統の開発を統合したアフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

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：2020年度(2017～2021年度)

研究担当者：高井俊之・辻本泰弘・浅井英利・西垣智弘・石崎琢磨・阪田光和(高知大学)、Rakotoarisoa N 他(マダガスカル国立農村開発応用研究センター)

発表論文等：Takai T et al. (2021) Crop Science, 61(1):519-528

〔成果情報名〕 移植苗のリン浸漬処理はイネの施肥効率を改善し低温ストレスを回避する

〔要約〕 少量のリン肥料を加えた泥を苗の根に付着させてからイネを移植するリン浸漬処理は、熱帯に広く分布するリン吸着能の高い土壌でも施肥効果が大い。加えて、従来の施肥法に比べて生育日数を短縮するため、生育後半に気温が低下する栽培環境では、登熟不良の改善にも効果をもつ。

〔キーワード〕 リン浸漬処理、土壌リン吸着能、生育日数、低温ストレス、マダガスカル

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

サブサハラアフリカでは、肥料や土壌からの養分供給量が少なく、イネの生産性は著しく低い。特に、作物の三大栄養素の一つであるリンは、土壌中の存在量が少ないだけでなく、土壌中に多く含まれる鉄やアルミニウムの酸化物がリンを強く吸着するため、施肥をしてもイネに吸収されにくい問題がある。本研究では、こうしたリン吸着能が高い土壌でも、少ない肥料で効率的にイネ収量を改善できる施肥技術の開発を目指し、リン肥料を加えた泥を苗の根に付着させてからイネを移植するリン浸漬処理の効果を検証する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 移植時に、重過リン酸石灰を加えた粘着性の高い泥を苗の根に付着させることで、高塩濃度で生じる肥料焼けを回避しながら、溶液に浸すよりも多くのリンを株元に局所施用することができる（図1）。
2. リン浸漬処理により、イネの初期生育が無施肥条件に比べて大幅に改善される。浸漬リン濃度は1.8%～2.6%、浸漬時間は、2時間以内が望ましい（図2）。
3. リン浸漬処理は、株下の水溶性リン濃度を局所的に高めることができ、全層施肥で効果がみられないリン吸着能の高い土壌でも、イネのリン吸収と初期生育を促進する（図3）。
4. マダガスカルのリン欠乏圃場において、リン浸漬処理は、無施肥に比べて59～171%、表層施肥に比べて、同量もしくは半分のリン施肥量で9～35%、収量を増加させる（図4）。
5. リン浸漬処理は、無施肥に比べて2週間程度、表層施肥に比べて1週間程度、イネの到穂日数を短縮するため、生育後半の気温低下を回避し、低温ストレスにともなう登熟不良を改善する（図4）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 農家の肥料投入力が乏しく、土壌のリン欠乏および生育後半の水不足や気温低下などが問題となる栽培環境において、イネの生産性を改善する実用的な技術として期待できる。
2. リン浸漬処理技術の汎用性を高め、普及を促進するためには、労働コストを含めた農家の受容性に関わる調査と技術の改良が必要である。

[具体的データ]

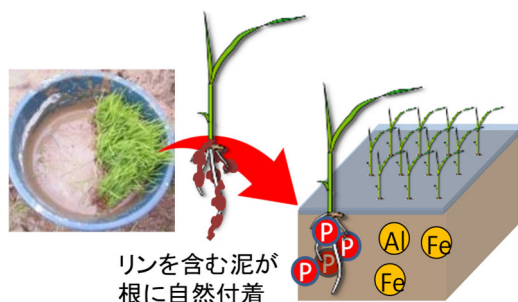


図1 リン浸漬処理の手法

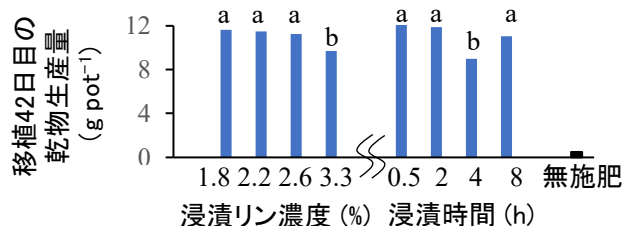


図2 リン浸漬処理の浸漬時間と浸漬リン濃度がイネの初期生育に及ぼす効果

棒グラフ上の異なるアルファベットは 5%水準(Tukey HSD)で有意。

図3 リン吸着能が異なる土壌でのリン浸漬処理の効果と土壌中の水溶性リン濃度の空間分布

浸漬処理と全層施肥ともに 40 mg pot⁻¹ のリンを施用。生育期間中の土壌溶液を採取し、土壌中の水溶性リン濃度の空間分布を推定。空間分布図内の数値は、ポット内の平均リン濃度。

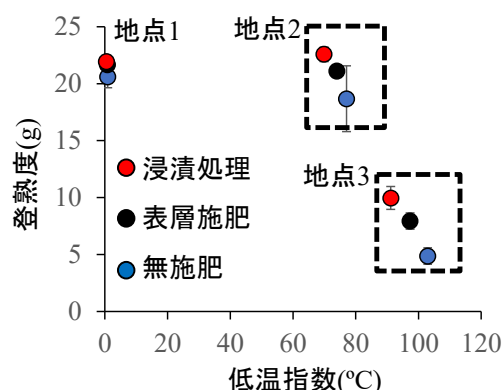
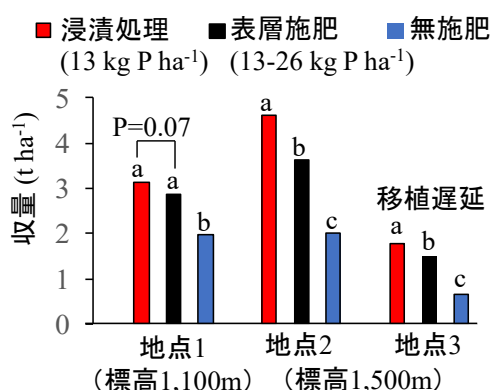
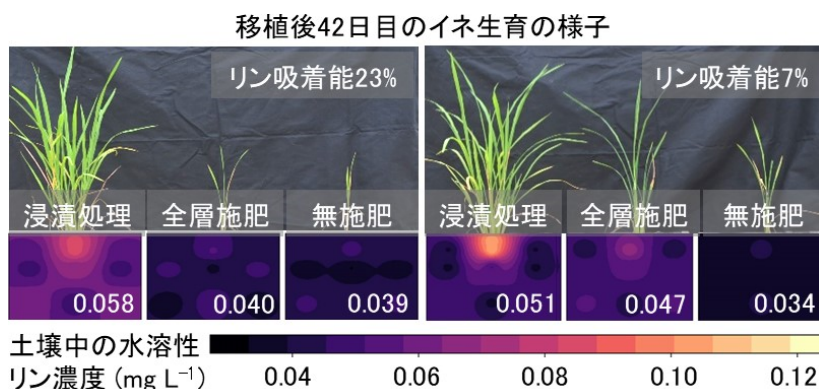


図4 リン浸漬処理の増収効果（左）と生育日数短縮による低温ストレスの回避効果（右）

表層施肥の収量は、13kg P ha⁻¹ と 26kg P ha⁻¹ の2水準の平均を示す。低温指数は、出穂15日前から7日後の期間に、日平均気温が 22℃を下回った数値の積算値。登熟度は、登熟歩合と千粒重の積で計算される。棒グラフ上の異なるアルファベットは 5%水準で有意。

[その他]

研究課題：肥沃度センシング技術と養分欠乏耐性系統の開発を統合したアフリカ稲作における養分利用効率の飛躍的向上

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

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：2020年度（2017～2021年度）

研究担当者：辻本泰弘・アウンゾーウー・川村健介・西垣智弘・Rakotoarisoa N (FOFIFA)

発表論文等：1) Oo AZ et al. (2020a) Agronomy 10(2):240、2) Oo AZ et al. (2020b) Scientific Reports 10:11919、3) Rakotoarisoa N et al. (2020) Field Crops Research 254:107806

〔成果情報名〕 効率的な遺伝解析及び特性評価を可能にするギニアヤム多様性研究材料の選定

〔要約〕 西アフリカで最も重要な作物の一つであるギニアヤムについて、遺伝解析及び特性評価を容易にし、効率的な育種及び栽培研究を可能とする、遺伝的多様性を保持した多様性研究材料セット 102 系統を選定した。

〔キーワード〕 ヤム、遺伝資源、SSR マーカー、多様性

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

アフリカではヤムが主食として広く栽培され（図 1）、「ヤムベルト」と呼ばれる西アフリカのギニア湾岸一帯で、世界の生産量の約 95%（5,400 万トン）が生産されている。特にギニアヤム (*Dioscorea rotundata*) は、この地域の食生活に欠かすことのできない重要な主食作物かつ農家の主要な換金作物である。ギニアヤムは、1) 長い生育期間、2) 長大な植物体サイズ、3) 地下部が利用対象、等の理由から多数の遺伝資源を用いた栽培試験や調査が難しく、生産性や品質向上に向けた育種及び栽培研究が進んでいない。本研究では、ギニアヤム遺伝資源の遺伝的多様性を十分に包含し、かつ効率的な遺伝解析及び特性評価に適した集団サイズの多様性研究材料を選定する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 国際熱帯農業研究所(IITA)のギニアヤム遺伝資源のコアコレクション 447 系統から、16 個の単純反復配列(Simple Sequence Repeat: SSR)マーカー（平成 27 年度国際農林水産業研究成果情報 B05「ヤム遺伝資源多様性解析のための SSR マーカーの開発」）による多型解析により、元の集団（447 系統）に含まれる変異（対立遺伝子）の 9 割以上を保持するように 102 系統を選抜し、ギニアヤム多様性研究材料セット(*D. rotundata* Diversity Research Set: DrDRS)を作成した。
2. DrDRS は元集団の SSR 多型の変異を広くカバーし（図 2）、ギニアヤム遺伝資源の持つ遺伝的多様性を十分に包含している（表 1）。
3. 21 個の形態形質に関する、変異の多様性を示す指標（Shannon 指数）において、DrDRS は元集団と同等の変異を有する（DrDRS : 1.138、元集団 : 1.114）。
4. 基礎的な農業特性について、DrDRS では、IITA 育種プログラムが有用素材として使用している育種系統および在来品種 10 系統を超越する多様性が確認でき、新たな育種素材としての利用が可能である（図 3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. ギニアヤム遺伝資源の遺伝解析や特性評価への利用を通じて、ギニアヤムの遺伝及び栽培研究の効率化が期待できる。
2. ヤムゲノム情報（平成 29 年度国際農林水産業研究成果情報 B02「ギニアヤムのゲノム情報の解読および性判別マーカーの開発」）と組み合わせることで、形質関連遺伝子の特定やマーカー開発への寄与が期待できる。
3. 447 系統の多様性解析で得られた多型データは、ヤム品種識別技術（令和元年度国際農林水産業研究成果情報 B03「SSR マーカーを利用したホワイトギニアヤム品種識別技術パッケージ」）の遺伝子型のデータベースに収録され、各ギニアヤム生産国の品種識別情報や地域の遺伝資源の多様性評価の基準系統として貢献できる。
4. 選定した 102 系統は IITA 遺伝資源センターから遺伝資源として配布が可能である。これらの系統のクローンは現在ウイルスフリー化して提供する体制を進めている。

[具体的データ]



図1 西アフリカにおけるヤムの栽培（左）と収穫したイモ（右）

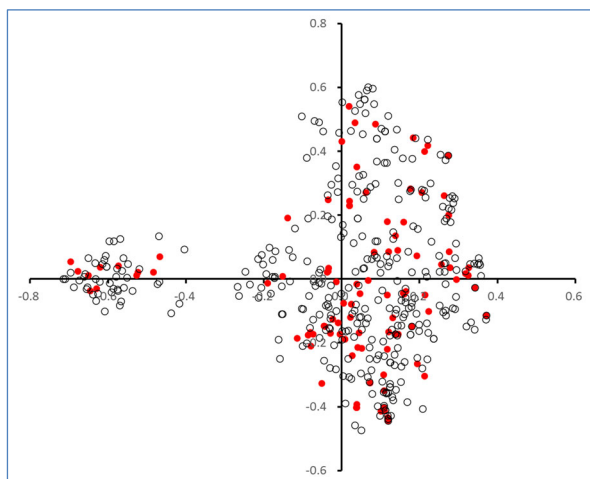


図2 SSR多型に基づく主座標分析における元集団とDrDRSシステムの分布

DrDRSシステム（●）は元集団（○）内に広く分布する。

表1 元集団とDrDRSシステムの多様性指標の比較（16マーカー分のまとめ）

N_a ：対立遺伝子数、 H_o ：ヘテロ接合度、 H_e ：ヘテロ接合度（期待値）、PIC：多型情報含有値

	N_a	H_o	H_e	PIC
元集団 (n=447)	96	0.373	0.583	0.549
DrDRS (n=102)	94	0.383	0.563	0.529

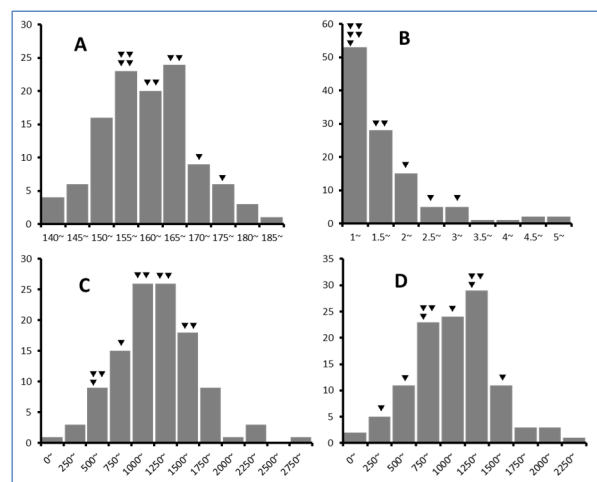


図3 DrDRSシステムの基礎農業形質における変異

A：生育日数（植付から収穫）、B：個体あたりイモ数、C：個体あたりイモ収量(g)、D：一イモ重(g)

▼は IITA 育種プログラムが有用素材として使用している育種系統及び在来品種10系統の分布

[その他]

研究課題：アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金〔熱帯作物開発〕、交付金〔アフリカ食料〕

研究期間：2020年度（2011～2020年度）

研究担当者：山中慎介・村中聡・高木洋子、Pachakkil B（東京農大）、Gezahegn G・松本亮・Asiedu R（国際熱帯農業研究所）、Tamiru M・寺内良平（岩手生工研）

発表論文等：Pachakkil B & Yamanaka S et al. (2021) Crop Sci., <https://doi.org/10.1002/csc2.20431>

〔成果情報名〕 スーダンサバンナにおけるササゲ生産を広範囲で改善するための品種選抜法

〔要約〕 ササゲの収量は狭い地域内でも場所や年によって大きく変動するが、土壌型と降水量によって栽培環境を分類し、環境間の収量安定性にもとづいて品種を選抜することで、広範囲における平均収量の改善に向けた効率的な育種および品種利用が可能となる。

〔キーワード〕 スーダンサバンナ、ササゲ、乾燥、湿害

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

マメ科作物のササゲ(*Vigna unguiculata*)は西アフリカのスーダンサバンナ（年平均降水量が 600～900 mm の半乾燥地）において重要なタンパク質供給源および現金収入源である。しかし、その平均収量はアジアや北米の半分以下と極めて低い。現地の育種機関ではササゲの収量改善に向けた品種選抜が続けられているが、栽培環境によって収量が大きく変動することが適正品種の選抜を困難にしている。よって、品種選抜を効率的に行うためには、この収量変動を説明する環境要因を明らかにする必要があるが、これまでのところ十分な情報は得られていない。地理的要因に関しては、現地の土壌は川からの距離に応じて数百 m 程度でも物理及び化学的性質が大きく変化する。さらに、主流である無施肥栽培において収量形成に重要な役割を果たす窒素固定は土壌水分量の影響を受けやすいため、保水性などの土壌物理性および降水量の違いが生育や収量に強く関係すると予想される。そこで、収量変動要因として土壌型と降水量の年次変動に着目し、両者に対するササゲの応答を明らかにするとともに、生産改善に向けた効率的な品種選抜法を検討する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 試験対象地では互いに 400～600 m 離れた場所において、スーダンサバンナで優占する 3 つの土壌型（①、②、③）の圃場が存在する（図 1）。これらの圃場を栽培試験に用いることで、ササゲの生育、収量に対する土壌の影響を同一の気象条件下で評価することができる。
2. 高い収量を得る品種は土壌型によって異なり、同じ土壌型でも栽培年により異なる（図 2）。多雨年の 2016 年は土壌型に関わらず品種 J の収量が高いが、平年並みの降水量であった 2017 年は土壌型①では品種 P、土壌型②では品種 N、土壌型③では品種 L の収量が最も高い。
3. 土壌型と栽培年の降水量を要因として環境を分類し、環境間の安定性と品種の基本収量（環境以外の要因による収量で、計算によって求めた値）を基準にすることで土壌型や降水量の影響を受けにくく、収量が比較的高い品種を選抜することができる（図 3 の品種 G と品種 P）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 環境の定義に使用した土壌型はスーダンサバンナで広範囲に分布するため、今後、同地域内における降水量の異なる地点に対して同解析法を適用することで、地域を包括したササゲ品種の最適な割り当てを行うことができる。
2. 農村レベルの狭い地域内における土壌型の分布や降雨パターンを考慮した品種の使い分け指針の提供にも利用可能である。
3. 安定性の解析にもとづく品種選抜に加え、施肥や畝立てなど、土壌型に応じた栽培管理を組み合わせることで、収量のさらなる向上と安定化が期待できる。
4. 本手法を品種選抜に適用する際には、複数年の栽培試験を行うことにより対象地域における降水量の年次変動幅を包含するデータセットを得る必要がある。

[具体的データ]

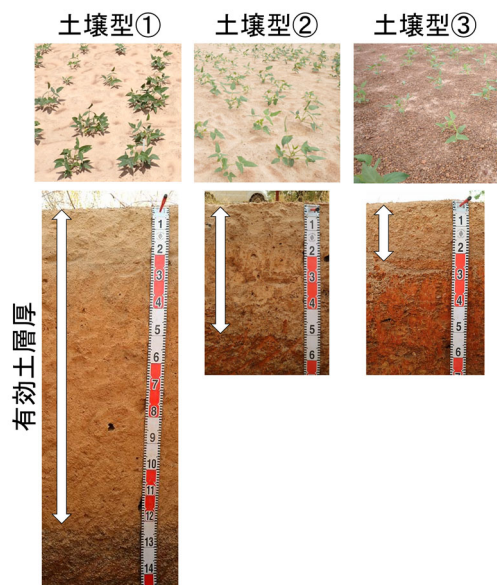


図1 スーダンサバンナで優占する3つの土壌型

それぞれに有効土層厚（植物が根を伸ばすことができる深さ；図の両矢印）、養分量、保水性が異なる。有効土層厚、養分量、保水性はいずれも土壌型①>土壌型②>土壌型③である。

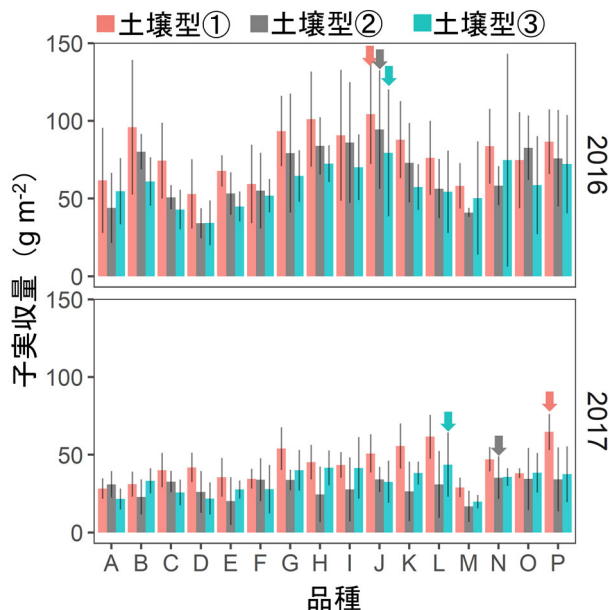


図2 供試した16品種の子実収量

5反復の平均値±標準偏差を示す。横軸のA-Pはそれぞれに異なる品種で図中の矢印は各環境で収量が最大の品種を示す。年間降水量は2016年が999mm、2017年が795mmであった。

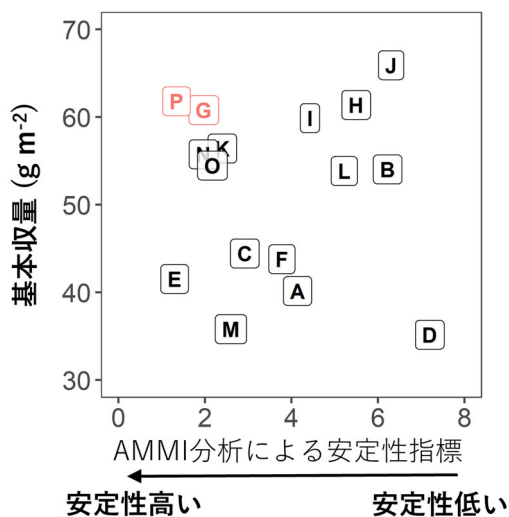


図3 各品種の栽培環境（土壌型+降水量）間での収量安定性

横軸は遺伝子型－環境交互作用の解析法である相加主効果相乗交互作用(AMMI)分析から求めた指標であり、値が小さいほど安定性が高い。縦軸は各品種の基本収量を示す。品種Gと品種P（図中赤色）は安定性と同時に基本収量が高い。

[その他]

研究課題：アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ食料]

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：井関洸太郎・伊ヶ崎健大、Batieno JB（ブルキナファソ環境農業研究所）

発表論文等：Iseki K et al. (2021) Field Crops Research, 261:108012

〔成果情報名〕モザンビーク飼料資源を用いた発酵 TMR 給与は牛乳生産量と収益性を向上させる

〔要約〕モザンビーク南部で入手できる飼料資源を活用して良質な発酵 TMR（混合飼料）を調製できる。発酵 TMR を給与することで、慣行的な飼養法に比べてジャージー種乳牛の採食量と消化率を改善し、乳生産量と収益性を向上できる。

〔キーワード〕ジャージー種、ネピアグラス、作物副産物、フスマ、プラスチックバッグ

〔所属〕国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕研究

〔背景・ねらい〕

サブサハラアフリカにおいては、乾季中の飼料不足が、家畜生産を制限する大きな要因となっている。その南部に位置するモザンビークでは、反芻家畜は自然草地での放牧を主体に、作物残渣の補助的な給与を組み合わせる慣行的に飼養されている。しかし、この飼養法では乳牛の栄養要求を満たさない上に、低質な粗飼料の給与は乳生産に悪影響を与える。そこで、この国で入手できる飼料資源を活用する発酵 TMR を調製し、飼養法の改善により家畜生産性を向上させ、地域の畜産振興や人々の豊かな生活の実現に寄与する。

〔成果の内容・特徴〕

1. モザンビーク産牧草、作物副産物及び配合飼料等、現地で入手できる飼料資源を活用する発酵 TMR は、プラスチックバッグ簡易貯蔵法により調製できる（図 1）。
2. 発酵 TMR には、ネピアグラス(*Pennisetum purpureum* Schmach)、トウモロコシフスマ、小麦フスマ及び配合飼料が使用され、粗蛋白質と粗脂肪等の豊富な栄養成分を含み、ジャージー種乳牛の栄養要求を満たすことができる（図 2）。
3. 調製後 14 日を経た発酵 TMR の pH が 3.9、アンモニア態窒素含量が原物重量比で 0.01%未満、酪酸とプロピオン酸は検出されない一方、乳酸が 1.0%生成され、その発酵品質は評価基準に基き良質である（表 1）。
4. 家畜試験（3～4 才齢のジャージー種乳牛 10 頭、体重 336.6 ± 19.8 kg）の結果、慣行飼料に比べ、発酵 TMR は嗜好性に優れ、その給与により乳牛の採食量及び乾物消化率は改善され、乳量及び収益性も増加する（図 3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 雨季と乾季を有する熱帯・亜熱帯に属する他の地域でも、入手可能な密封資材と飼料資源を用いて配合割合等を工夫することで発酵 TMR による乳牛飼養法を改善し、現地での安定的な乳生産に活用できる。
2. 簡易調製法で作成した TMR を 1 ヶ月以上貯蔵する場合、プラスチックバッグの劣化と破損による好気的変敗の発生に留意する必要がある。
3. 本試験では高水分のネピアグラスを主体とした発酵 TMR のみを調製したため、発酵させない TMR の給与効果については、別に確かめる必要がある。
4. 本成果は飼養法の改善に限定するものであり、疾病対策をはじめとする衛生管理や繁殖管理等、酪農振興を妨げる他の要因については、改善に向けた別の取り組みが必要である。

[具体的データ]



図1 発酵 TMR の調製（左）、貯蔵（中）及び乳牛への給与（右）

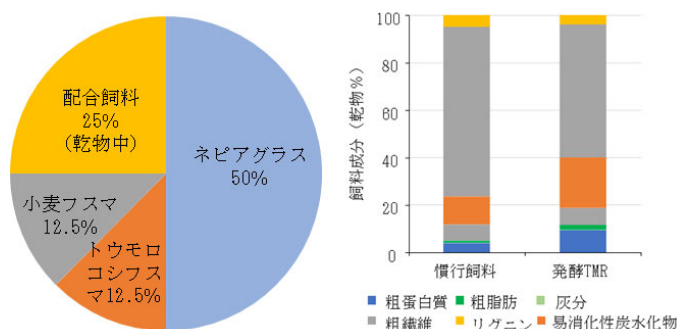


図2 発酵 TMR の配合割合（左）と飼料成分（右）

易消化性炭水化物＝炭水化物－粗繊維－リグニン

表1 調製14日後の発酵 TMR の発酵品質

	評価基準	TMR原料	発酵TMR
pH	<4.2	6.2	3.9
乳酸、原物中%	≥1.0	ND	1.0
酢酸、原物中%	-	ND	0.3
プロピオン酸、原物中%	ND	ND	ND
酪酸、原物中%	ND	ND	ND
アンモニア態窒素、原物中%	<0.05	ND	<0.01

ND: 検出されない、原物：新鮮物。

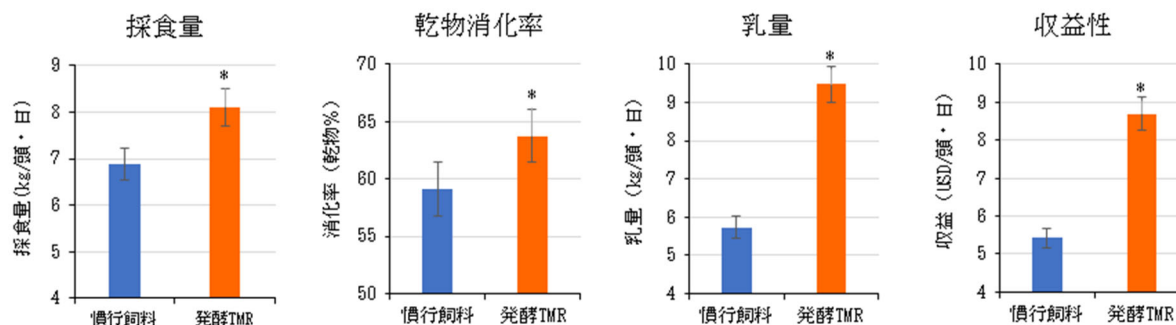


図3 慣行飼料に対する発酵 TMR 給与の効果

乳量：泌乳牛の搾乳量。n=5。*: t検定で有意差 ($p < 0.05$) あり。

[その他]

研究課題：アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ食料]

研究期間：2020 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：蔡義民・Du Z・山崎正史・大矢徹治、Ngulube D・Tinga B・Macome F（モザンビーク農業研究所）

発表論文等：Du Z et al. (2020) Animal Science Journal, <https://doi.org/10.1111/asj.13370>.

〔成果情報名〕モザンビークにおける乳牛飼養の存立条件を反映した耕畜複合経営計画モデル

〔要約〕モザンビークの小規模農家による乳牛飼養の存立条件を解明し、耕畜連携を通じて効率的に食料と飼料の確保、リスク分散、所得向上等を達成するための複合経営計画モデルを作成する。同モデルは、乳牛飼養の定着と耕畜連携の促進に向けた意思決定支援に有効である。

〔キーワード〕 ジャージー種、耕畜連携、牛群構成、農家所得

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 社会科学領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

モザンビークでは、増加する牛乳需要への対応、農村住民の生計向上、栄養改善などを目的として、耕種経営に大きく依存した国内の小規模農家に対する乳牛の供与、飼育指導が進められているが、乳牛飼養の定着は未だ限定的である。そこで、南アフリカからジャージー種が近年導入されたマプト州マニサ郡を対象に、乳牛飼養の存立条件を明らかにし、その上で小規模農家の限られた経営資源、技術水準で実現可能であり、かつ耕畜連携を通じた食料と飼料の確保、リスク分散、所得向上等に有効な複合経営計画を策定するためのモデルを作成することで、乳牛飼養の定着と耕畜連携の促進に向けた意思決定支援に貢献する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 作成されたモデルは、平成30年度国際農林水産業研究成果情報B02「アフリカ小農支援のための農業経営計画モデル」を応用し、アフリカ小農特有の各種条件に加え、乳量に応じた乳牛の養分要求量を充足する飼料供給、乳牛の再生産が可能な牛群構成と牛舎スペースの確保を条件として、混合整数計画法による計算を行い、農家所得全体の向上に最適な作付体系、並びに乳牛飼養規模を特定する（図1）。
2. マニサ郡では、乳牛飼養農家の全数調査（70戸）の結果、感染症等の疾病や人工授精の欠如により、現状では乳牛の死亡率、分娩間隔が大きく、生産可能な牛群の維持が困難な状況にあるため（図2：赤字）、乳牛の衛生・繁殖管理の改善が酪農の存続、並びに複合経営計画モデルの適用にとって重要である。
3. 繁殖対策などにより分娩間隔が短縮し、牛群維持が可能になった場合（図2：青字）、マニサ郡の典型的な乳牛飼養農家では、同モデルを用いた分析の結果から、リスク分散型混作体系のもとで食料自給を達成しつつ、作物残渣の有効利用等を通じ経産牛3頭、育成牛1頭を飼養することで（表1）、農家所得が現状の44%、モザンビーク国立農業研究所が近年農家に指導している生乳のヨーグルト加工を行った場合は62%、増加する（図3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 同モデルは、乳牛飼養や耕畜連携の促進に向けた農家の意思決定支援に加え、乳牛の感染症等の疾病対策や人工授精の普及による農家経営への影響等、モザンビーク政府が衛生・繁殖管理の改善に関する政策検討を行うための参考情報の提供に利用できる。
2. 現状の技術設定だけでなく、耕畜連携に関する新規栽培技術、飼料調製技術などを導入した場合の最適な作付体系、乳牛飼養規模の特定や所得増大効果の解析などにも活用できる。
3. 同モデルの計算、結果の出力は、アフリカ小農支援のための農業経営計画モデルの計算・出力支援プログラムでも可能であるが、酪農特有の設定に際してやや複雑な操作を要することから、これらの設定・操作を簡素化したプログラムの作成が望まれる。

[具体的データ]

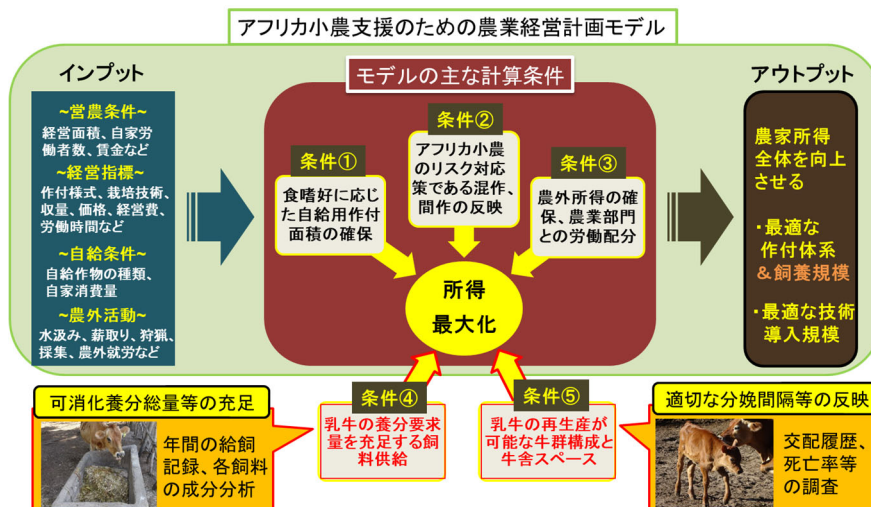


図1 アフリカ小農支援のための農業経営計画モデルを応用した複合経営計画モデルの概略図

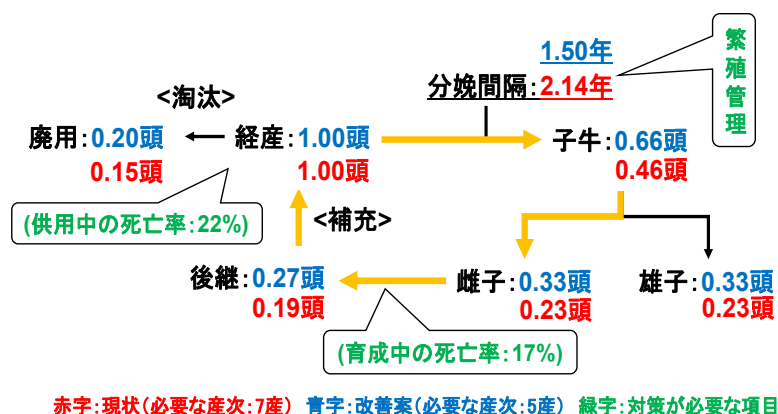


図2 マニサ郡の乳牛飼養農家による牛群維持の条件

現状では（赤字）、経産牛1頭に対し、年間0.19頭が後継用に補充される一方、その後の供用（乳牛を生産に利用すること）中の死亡率(22%)を考慮すると、0.15頭が廃用として淘汰されるため、牛群維持に7産必要となり、分娩間隔2.14年では供用年数が約15年に及ぶ。繁殖管理の改善により分娩間隔が1.5年になると（青字）、必要な産次は5産、供用年数は7.5年まで短縮される。

表1 マニサ郡の乳牛飼養農家の最適作付体系・飼養規模

		現状	最適解
耕種 (ha)	キャッサバ+トウモロコシ+ササゲ+ラッカセイ+カボチャ混作	0.22	0.24
	トウモロコシ+ササゲ+ラッカセイ混作	0.33	0.32
	トウモロコシ+サツマイモ+サトウキビ+カボチャ混作	0.48	0.70
	トウモロコシ+サトウキビ+バナナ+カボチャ混作	0.28	0.89
	その他	0.84	0
酪農 (頭)	ジャージー-経産牛	1	3
	ジャージー-育成牛	3	1

マニサ郡のジャージー種導入村で実施した世帯全数調査に基づく典型的な小規模家族経営を対象としたモデル分析の結果。

[その他]

研究課題：アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [アフリカ食料]

研究期間：2020年度（2018～2020年度）

研究担当者：小出淳司・大矢徹治・松本武司、Tinga B（モザンビーク国立農業研究所）

発表論文等：Koide J and Tinga B (2020) Tropical Animal Health and Production, 53:130

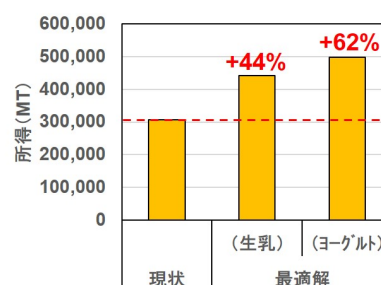


図3 最適作付体系・乳牛飼養による農家所得の増加

MT：メティカル（現地通貨）

棒グラフ上部の数値：増加割合(%)

〔成果情報名〕 リン利用効率の高いイネを推定するための代謝物マーカー

〔要約〕 代謝物の網羅的解析により、活性酸素除去に関わる代謝物やアミノ酸等がイネのリン利用効率と密接に関わることが示された。これらはリン利用効率の高いイネを推定するための代謝物マーカーとして利用できる。

〔キーワード〕 イネ、リン利用効率、品種間差、メタボローム、ロジスティック回帰分析

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

植物の三大栄養素のひとつであるリンは作物の収量と密接に関わり、世界の農地で幅広く施用されているが、その資源量は将来的に枯渇が懸念されており、使用量の増加に歯止めをかける必要がある。そのため、少ないリンをより有効に利用できるリン利用効率の高い作物の開発が求められているが、その複雑な形質に影響を与える中心的な因子の特定は進められておらず、作物の遺伝的改良もほとんど進められていない。本研究では、これまでに幅広いイネ品種の中から同定された、低リン条件におけるリン利用効率の高いイネ品種に特徴的な代謝物のプロファイルおよびその変動パターンを解明することで、効率的にリンを利用する植物を選抜するための新たな指標となる代謝物を特定する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 低リン条件（ $\leq 1 \text{ mg P/個体}$ ）において、高リン利用効率品種（Mudgo と Yodanya）には低リン利用効率品種（Taichung と IR64）と比較して特徴的な代謝物プロファイルが見られる（図 1）。リン脂質や糖リン酸等の、既知のリンに関わる代謝物含量の変動パターンはリン利用効率の高低と関連がない。
2. 高リン利用効率品種は低リン利用効率品種に比べて、活性酸素除去に関わる代謝物（安息香酸等）や複数のアミノ酸（スレオニン等）といった、これまでにリンとの関連が未知であった代謝物を多く含む（図 2）。
3. グルクロン酸、安息香酸、スレオニン等の代謝物マーカー14 個の含量データから、質的な確率を予測できる多変量解析の一種であるロジスティック回帰分析を用いて、リン利用効率が未知の 7 品種におけるリン利用効率の高低を推定できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. リン利用効率が代謝物により予測され得ることから、現在広く利用されている DNA マーカーに加えて、複雑な要因に関わる形質の選抜指標として代謝物が有用であり、複雑な形質の改良を目指したイネの開発が迅速化される可能性がある。
2. 同定された高リン利用効率品種に特徴的な代謝物はこれまでにリンとの関係が知られておらず、リン利用効率を支える分子メカニズムの基礎的理解にもつながる。
3. 本研究は温室および人工気象器内の水耕栽培環境で実施されたものである。今回同定されたリン利用効率の基礎的知見および代謝物マーカーの、実際の圃場における育種への有効性をさらに検証する必要がある。

[具体的データ]

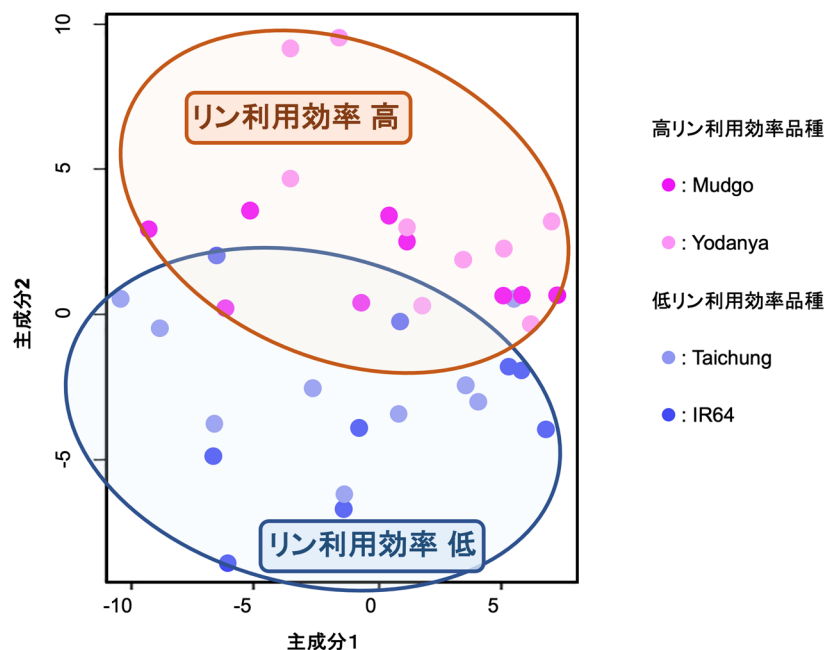


図1 リン利用効率の対照的な品種における代謝物プロファイル
リン欠乏条件における葉の代謝物含量をもとにした主成分分析の結果を示す。

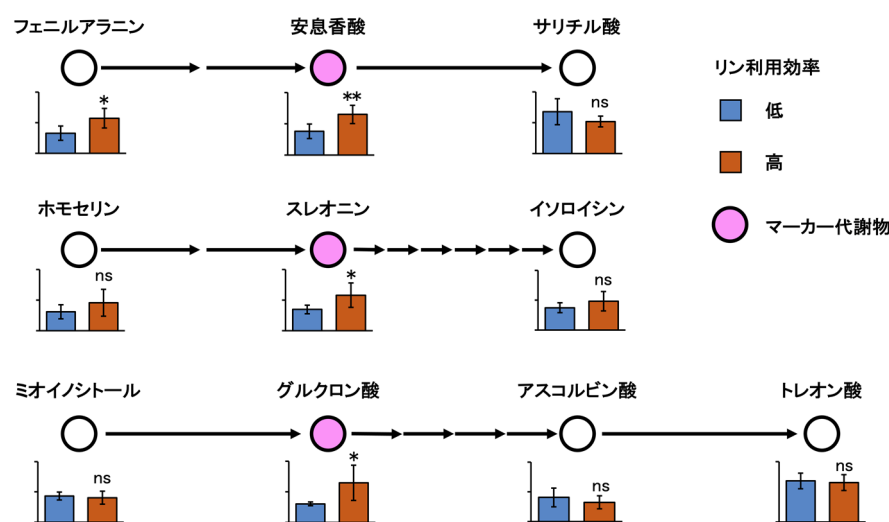


図2 マーカー代謝物の例とそれらが関わる代謝経路
リン利用効率の判別のマーカーとなる代謝物が含まれる代謝経路と代謝経路の例、および各代謝物の相対含量を示す。丸印は各代謝物、矢印は代謝経路上の反応を、桃色はリン利用効率のマーカー代謝物を示す。エラーバーは標準偏差を示す。**、*は1%、5%水準で有意（t検定）

[その他]

研究課題：不良環境に適応可能な作物開発技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金〔不良環境耐性作物開発〕

研究期間：2020年度（2015～2020年度）

研究担当者：Wissuwa M・植田佳明・近藤勝彦（現水稻生産技術研究所）、渡邊むつみ・峠隆之（奈良先端大）、石川覚（農研機構 農業環境変動研究センター）、Burgos A・Brotman Y・Fernie AR・Hoefgen R（マックス・プランク分子植物生理学研究所）

発表論文等：Watanabe M et al. (2020) Plant, Cell and Environment, 43(9):2066-2079

〔成果情報名〕 キヌア自殖系統コレクションの多様性

〔要約〕 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多様性を明らかにすることにより、自殖系統を基盤とした分子レベルでの育種の効率化、およびキヌアの高い環境適応性や優れた栄養特性の解明に活用できる。

〔キーワード〕 キヌア、自殖系統、Genotyping-by-Sequencing、耐塩性

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

キヌアは干ばつや塩害など高い環境適応性と必須アミノ酸やミネラルなどバランス良く豊富に含む優れた栄養特性を示す作物である。気候変動への対応や強固な食料安全保障の構築に、作物の多様性を保全することが求められており、キヌア遺伝資源から農業上有用な形質をもつ系統や遺伝子を活用した品種開発が期待されている。しかしながら、キヌアは一つの株に両性花と雌花をもち、他の個体との交雑しやすい特性と祖先種に由来する2種の類似したサブゲノムをもつため、ゲノム構造が複雑であり、高精度な遺伝子型解析の妨げとなっている。これまでに、分子レベルでの解析に適した遺伝的に均質なキヌアの標準自殖系統を開発し、キヌアのゲノム配列を世界に先駆けて解読した（平成28年度国際農林水産業研究成果情報「キヌアの標準自殖系統とゲノム配列」）。本研究では、キヌア136系統の網羅的自殖系統コレクションを作出し、それら系統の遺伝子型および表現型の関連性の全体像を把握することで、遺伝子レベルでの育種および研究を効率化することが期待できる。

〔成果の内容・特徴〕

1. 作出した世界の主要なキヌア系統を網羅する136の自殖系統コレクションは、キヌアの分子育種や、キヌアの高い環境適応性や優れた栄養特性の解明に向けた研究の基盤素材となる。
2. 136の自殖系統について、次世代シーケンサーを利用したシーケンシングによるジェノタイピング (Genotyping-by-Sequencing; GBS) 解析で得られた一塩基多型 (single nucleotide polymorphism; SNP) の遺伝子型データを用いた系統間の類縁度から、キヌア系統は南米アンデス地域での地理的な分布とほぼ対応する北部高地型、南部高地型、低地型の3種類の遺伝背景をもつ系統に分類できる（図1）。
3. 136の自殖系統の遺伝子型データおよび耐塩性および作物生育に関する表現型データを可視化することにより、遺伝子型－表現型の関連性を俯瞰できる。収量、草丈、茎径、開花日数などから、低地型系統は日本を含めた温帯での栽培に適している。南部高地型および低地型系統は、海水相当の塩濃度条件での発芽率が高く、北部高地型系統よりも耐塩性である（図2）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 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の開発が加速する。
2. GBS解析でのSNPsに基づいた同一の遺伝子型でも、異なる環境では異なる表現型を示すため、さまざまな環境要因に対するキヌア系統の表現型データを集積する必要がある。

[具体的データ]

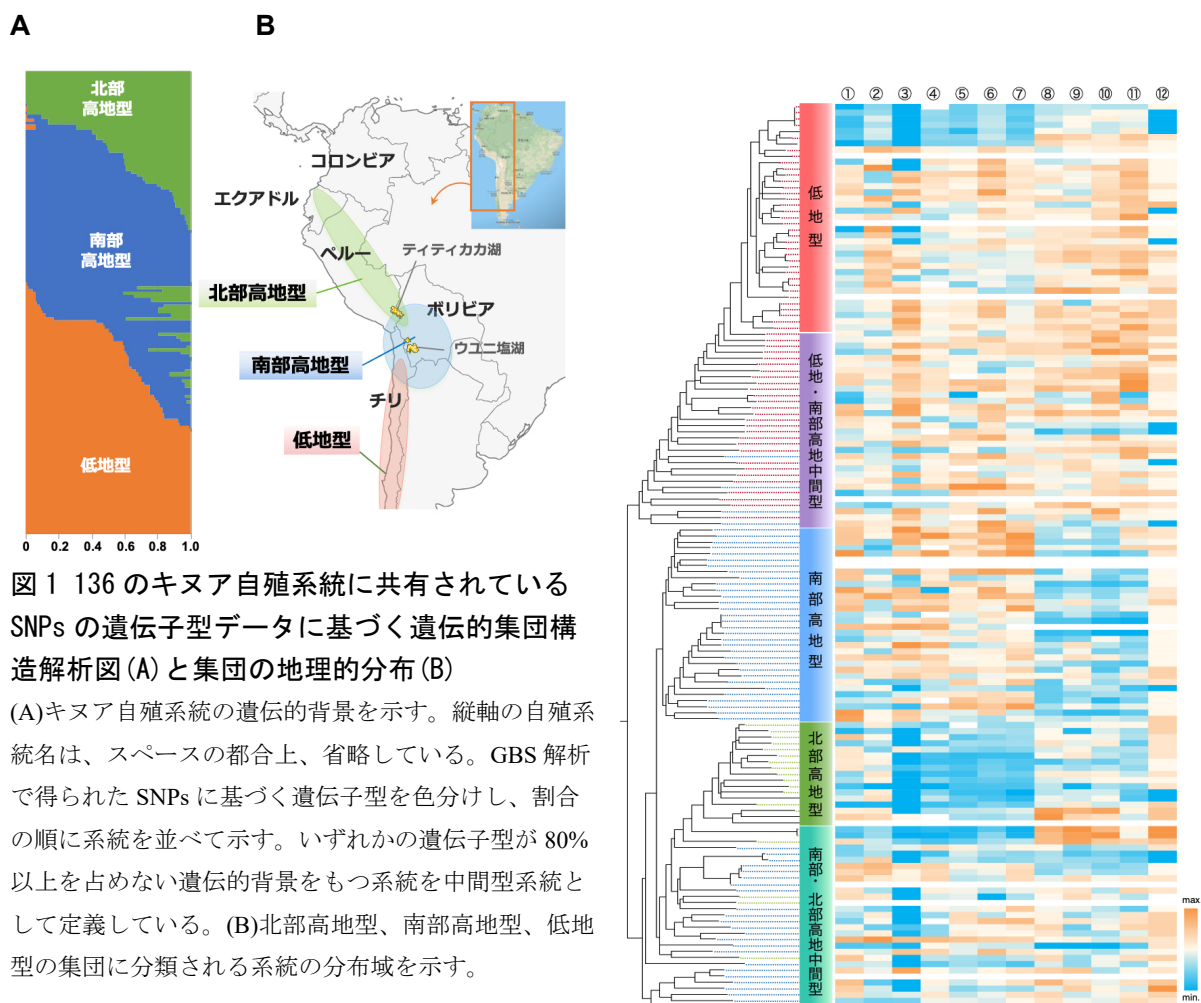


図1 136のキヌア自殖系統に共有されているSNPsの遺伝子型データに基づく遺伝的集団構造解析図(A)と集団の地理的分布(B)

(A)キヌア自殖系統の遺伝的背景を示す。縦軸の自殖系統名は、スペースの都合上、省略している。GBS解析で得られたSNPsに基づく遺伝子型を色分けし、割合の順に系統を並べて示す。いずれかの遺伝子型が80%以上を占めない遺伝的背景をもつ系統を中間型系統として定義している。(B)北部高地型、南部高地型、低地型の集団に分類される系統の分布域を示す。

図2 136のキヌア自殖系統の遺伝子型の分類に対応した表現型のヒートマップ

ヒートマップ上部の番号は、0 mM NaCl で24時間処理、300 mM NaCl で4日間処理、600 mM NaCl で14日間処理後の胚軸根長 (①、②、③)、2014-15年 (つくば)、2015-16年 (つくば)、2016年 (つくば)、2016-17年 (鳥取) の種子1000粒の重さ (④、⑤、⑥、⑦)、草丈 (⑧)、茎の直径 (⑨)、葉の乾燥重量 (⑩)、1個体あたりの種子重量 (⑪)、開花までの日数 (⑫) を示す。表現型の数値は、高い値ほど橙色、低い値ほど青色となるように示す。図は Mizuno N et al. (2020) を改変(Copyright: Oxford University Press)。

[その他]

研究課題：不良環境に適応可能な作物開発技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：受託（共同研究）[株式会社アクトリー]、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 [不良環境耐性作物開発]

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：小林安文・藤田泰成、水野信之（京都大学、現農研機構 次世代作物研究開発センター）、藤田美紀（理化学研究所）、福田将太（鳥取大学、現石原産業株式会社）、田中孝二郎・田中努・水越裕治（株式会社アクトリー）、西原英治（鳥取大学）、安井康夫（京都大学）

発表論文等：Mizuno N et al. (2020) DNA Research, 27(4), <https://doi.org/10.1093/dnares/dsaa022>

〔成果情報名〕 アフリカにおけるサバクトビバッタの体温調節行動に基づく行動予測モデル

〔要約〕 アフリカで大発生するサバクトビバッタの群生相の幼虫は、日中、サハラ砂漠において集団移動する。幼虫は周囲の温度に応じた行動を取り、体温調節している。この体温と行動との関係を組み込んで開発したバッタ専用のモデルを用いると、気象情報から体温を推定し、行動が予測可能になる。

〔キーワード〕 体温調節、発生予察、モデル、気温、サハラ砂漠

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

サバクトビバッタ（以下バッタ）を効率よく防除するためには、その時空間的分布パターンの解明が必要である。しかし、野外調査はほとんど行われておらず、変動する温度環境下におけるバッタの行動には不明な点が多い。これまでにバッタ成虫は温度依存的に逃避行動を変化させ、低温時には不活発になり逃避能力が低下することなどを明らかにした（平成30年度国際農林水産業研究成果情報 B07「アフリカにおけるサバクトビバッタの時空間分布パターン」）。発生地であるモーリタニアのサハラ砂漠において、群生相の幼虫の行動と体温との関係を解明することにより、バッタ専用のモデルを開発し、バッタの体温を推定し、行動を予測することを目指す。

〔成果の内容・特徴〕

1. 幼虫の群れは活発に集団移動する（図 1a）。バッタの周辺温度が高い時は、太陽光に当たる体表面積を小さくし、熱い地表から体を離す等の背伸び行動を取り（図 1b）、日陰や植物上に移動したりする行動をとる。周辺温度が低い時は、密集して日光浴行動等をとる（図 1c & d）。
2. 様々な行動を夜間の休息行動、集団日光浴、移動、採餌等 12 の項目に区別し、個別にサーモグラフィカメラを用いて体温を測定し、体温と行動との関係を明らかにする。夜間、バッタは植物上で休息している。日が昇った後、バッタの周辺温度が低い時（20～40℃）は周辺よりも高い体温を維持し、高い時（40℃以上）は約 40℃を維持するよう体温調節する（図 2）。
3. サーモグラフィカメラで明らかにしたバッタの体温と行動との関係（表 1）を既存の生物物理学モデル(NicheMapR: http://bioforecasts.science.unimelb.edu.au/app_direct/ectotherm_ncep/)に組み込むことで、バッタ専用の行動予測モデルを開発できる。
4. 既存のソフトウェア RNCEP package を介してアメリカ国立環境予測センターが提供する気温、湿度、風速等の気象情報を取得し、NicheMapR を用いてバッタ周辺地点の気象と体温を推定できる。NicheMapR で予測されるバッタの行動のうち、クールダウン行動と採餌が予測される場合は集団日光浴をしている場合があるが、夜間の休息行動や集団日光浴が予測される場合は的中率が高い（図 3）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 現状では、殺虫剤の散布は、バッタが広範囲に分布し、活発に動く日中に行われているが、バッタが不活発な時間帯を特定し、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. 開発したモデルに特定の地域の気象情報を取り込むことによりバッタの行動予測が可能になる。それによりバッタの発生予察の精度が向上し、効率的な防除が可能になると期待される。
3. 幼虫集団の一日の移動距離、方向を予測するために、行動についてさらに調査する必要がある。

[具体的データ]

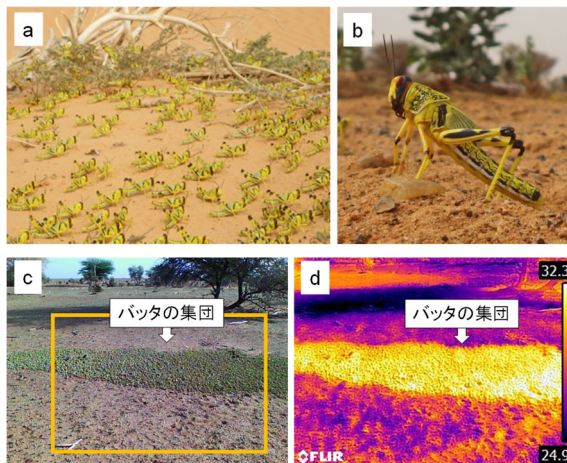


図1 サバクトビバッタの群生相幼虫の行動

- a) 集団移動中のサバクトビバッタ群生相幼虫。
 b) 高温時、太陽に顔を向け、太陽光に当たる体表面積を小さくし、背伸びをして熱い地表から体を離す「背伸び行動」。
 c) 低温時の「集団日光浴」の可視画像。
 d) c)のオレンジ色の枠のサーモグラフィ画像。右端のバーは温度を示す。

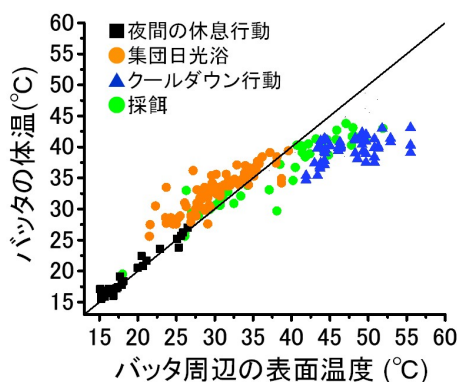


図2 バッタ周辺の表面温度と体温との関係

図中の直線は、バッタ周辺の表面（植物表面あるいは地面）の温度と体温が同じ場合を示す。クールダウン行動とは、日向の「背伸び行動」、および、日中、日陰や植物の上に移動した状態をいう。

[その他]

研究課題：国境を越えて発生する病害虫に対する防除技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金〔病害虫防除〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：前野浩太郎、Cyril Piou (CIRAD)、Michael R. Kearney (メルボルン大学)、Sid'Ahmed Ould Mohamed (モーリタニア国立バッタ防除センター)

発表論文等：Maeno KO et al. (2021) Ecological Applications（印刷中）

表1 サバクトビバッタの群生相幼虫の行動と体温との関係

指標	値
最高致死体温	50℃
最低致死体温	1℃
好適体温	40℃
最高採餌体温	43℃
最低採餌体温	25℃
日光浴最低温度	15℃
日光浴地点への移動時の最低体温	15℃

野外調査により収集したモデルに活用するためのパラメータ。

		予測値			
		夜間の 休息行動	集団 日光浴	クール ダウン行 動、採餌	合計
観測値	夜間の 休息行動	37	0	2	39
	集団 日光浴	0	5	90	95
	クール ダウン行 動、採餌	8	0	163	171
	合計	45	5	255	305
的中率(%)		82.2	100.0	63.9	

図3 開発したモデルから予測した行動の的中率

全体として 67.2%の的中率（305 件のうち、夜間の休息行動 37 件、集団日光浴 5 件、クールダウン行動及び採餌 163 件の合計 205 件が的中）。

〔成果情報名〕サトウキビ白葉病対策としての健全種茎増殖・配布マニュアル

〔要約〕 サトウキビ白葉病対策として健全種茎を増殖するための圃場管理技術と生産物の配布法に関する説明、LAMP 法による病原体の検出手順、生長点培養法による無病苗生産手順から構成される、健全種茎生産を行う者向けのマニュアルである。

〔キーワード〕 サトウキビ、白葉病、虫媒伝染性病害、健全種茎増殖技術、LAMP 法

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

サトウキビ白葉病は、世界第2位の砂糖輸出国であるタイを中心とするアジア地域で大きな被害を出す、サトウキビの重要な虫媒伝染病である。感染後の有効な治療法は確立されておらず、罹病したサトウキビは葉が白化するなどの症状を経て枯死する。病原体はファイトプラズマであり、媒介虫として2種のヨコバイが知られている。白葉病の被害が大きい圃場では、種茎が既に白葉病に汚染されている可能性が高く、健全種茎の活用が本病の抑制に高い効果を発揮する可能性が高い。サトウキビは栄養繁殖性植物であり、その世代間増殖率は7～10倍である。従って、十分量の健全種茎を生産するためには、複数世代の増殖が必要となる。しかし、サトウキビ白葉病がまん延している地域では、健全種茎増殖圃場においてサトウキビ白葉病の虫媒感染が高頻度で発生し、健全種茎の増殖が困難である。そこで、健全種茎の増殖技術を開発し、製糖工場や公的機関などの、健全種茎を生産し農家に配布しようとする機関向けのマニュアルを作成する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 本マニュアルは、緒言および開発した健全種茎増殖技術に関する3章から構成される（表1）。
2. 第1章では、サトウキビ白葉病の病原体および媒介虫の生態に基づき設計した健全種茎増殖圃場の管理技術（図1）、生産した健全種茎の効率的な配布法について記載している。サトウキビの増殖段階に適した圃場衛生レベルに応じて、隔離、大規模面積化、発病株除去、殺虫剤施用、潜伏感染率評価等の管理技術を組み合わせることで、罹病株率が実用レベルで十分に低率な種茎を生産できる（図2,3）。
3. 第2章では、サトウキビ白葉病の病原体を簡易に検出する方法として、サトウキビからの検体のサンプリング法と、LAMP法による感染の有無の検定のプロトコルを記載している。この手法は増殖の元になる健全な種苗の入手と潜伏感染率の評価に利用する。
4. 第3章では、生長点培養法による健全種苗の生産プロトコルを記載している。この方法で生産された種苗は、生育させたのち、1次増殖圃場の健全種茎として利用できる。
5. 本マニュアルにはタイ語版と英語版があり、同じ内容で構成されている。

〔成果の活用面・留意点〕

1. タイ語版についてはタイ国内での利用、英語版についてはサトウキビ白葉病が分布するアジア諸国での利用が期待される。
2. 製糖工場等から、本技術で生産された種茎は、第3世代で最大10倍の増加が見られるとしても、健全種茎として十分に低率であると判断されている。同一地域内の一般的な新植圃場におけるサトウキビ白葉病の発病株率は、0～20%（32圃場、平均値5.8%、中央値5%）である。
3. 媒介虫の防除に使用できる殺虫剤は、タイ国内のマニュアル公表時の情報に基づく。タイでの利用に際しては最新の情報を収集する。他国での利用時には、当該国での法律を確認する。

[具体的データ]

表1 マニュアルの構成と主な内容

題 名	内 容
緒言	サトウキビ白葉病の概説と本マニュアルの目的
第1章 健全種茎の増殖技術と配布法	サトウキビ白葉病の被害および病原体と媒介虫の特徴 健全種茎増殖圃場の管理技術と生産物の効率的配布法
第2章 LAMP法による病原体検出プロトコル	潜伏感染株からのサトウキビ白葉病の病原体検出手順
第3章 生長点培養による健全種苗生産プロトコル	生長点培養による健全種苗生産手順

増殖段階	増殖過程	圃場衛生レベル	圃場の管理体系*				
種茎	組織培養 低リスク地域から導入		隔離	大面積化	発病株除去	殺虫剤施用	潜伏感染率評価
第1世代	1次増殖圃場	AAA	○	○	2回/月	○	○
第2世代	2次増殖圃場	AA	○	○	1回/月	○	○
第3世代	3次増殖圃場	A	×	×	1回/月	○	○

一般農家へ種茎として配布

*○:実施 ×:実施する必要はない

図1 圃場における健全種茎増殖システムの全体像

罹病株が発生した時の影響が大きい上位世代に、より多くのコストを投入する。



図2 健全種茎増殖実証試験 1次圃場の様子

第1世代	約13ha(2017/18年) 発病株率:0.0011%	約5.3ha(2018/19年) 発病株率:0.0029%
第2世代	約5.3ha(2018/19年) 発病株率:0.0057%	約40.5ha(2019/20年) 発病株率:0.027%

図3 健全種茎増殖実証試験の結果

図1に示す管理法に従い栽培した。

[その他]

研究課題：国境を越えて発生する病害虫に対する防除技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金〔病害虫防除〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：小堀陽一・安藤象太郎、Hanboonsong Y（コンケン大学 農学部）、Sakuanrungsirikul S・Saengsai W・Pituk S（タイ農業局）、Kumhong S（タイ農業改良普及局）、Hamarn T（タイサトウキビ・砂糖委員会事務局）

発表論文等：1) Roddee J et al. (2019) Entomol Exp Appl, 167:108-117、2) Roddee J et al. (2018) Sugar Tech, 20:445-453、3) Hanboonsong Y and Kobori Y (2017) Sugar tech, 19:573-578、4) Roddee J et al. (2017) J Econ Entomol 110:893-902、5) Kobori Y and Hanboonsong Y (2017) J Asia-Pacific Entomol 20:281-284、6) Thein M M et al. (2012) Appl Entomol Zool, 47: 255-262、7) Healthy Seedcane Propagation and Distribution Manual Against Sugarcane White Leaf Disease. https://www.jircas.go.jp/ja/program/program_b/SCWL_control（準備中）

〔成果情報名〕 イネいもち病防除のための国際判別システム

〔要約〕 アジアおよびアフリカで得られたイネいもち病菌菌系の病原性およびイネ遺伝資源の抵抗性に関する遺伝的変異の情報をもとに開発した国際判別システムは、いもち病抵抗性品種の開発や防除に活用できる。

〔キーワード〕 イネ、いもち病菌レース、抵抗性、判別システム、遺伝変異

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

いもち病はイネが栽培されるすべての地域で発生する重要な越境性病害であり、抵抗性品種の利用は有効な防除技術の一つである。イネいもち病菌菌系の病原性やイネ遺伝資源の抵抗性遺伝子の効果を評価できる判別システムは、抵抗性品種の育成や発生防除にとって不可欠な道具であるが保有する国は少ない。このためアジア、アフリカのいもち病害を引き起こす菌レース（病原性の異なる菌系）やイネ品種の抵抗性変異を明らかにしつつ、判別システムの開発途上地域での開発・普及を図ることにより、地域ごとあるいは国際的な防除技術開発のための基盤を確保する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 国際農研がアジア、アフリカから収集し選定した国際標準判別いもち病菌菌系群、判別品種群は、ともに国際判別システムを構成し、イネ品種の抵抗性遺伝子や抵抗性、いもち病菌菌系の病原性の評価を一元的に行うことを可能とし、国際基準とすることができる（表1）。
2. 判別システムでは、菌系の病原性や品種の抵抗性遺伝子をこの反応パターンから推定し、いもち病抵抗性品種や防除技術開発に活用できる。
3. インドネシア、フィリピン、ベトナム、ラオス、バングラデシュでも、標準判別いもち病菌菌系群が選定されており、独自の判別システムを保有しそれぞれで利用できる。
4. 中国産日本型の感受性品種「Lijiangxintuanheigu (LTH)」の遺伝的背景に一つの抵抗性遺伝子だけを導入した25種の判別品種群を共通材料として用いることにより、各国のいもち病菌レースの変異や世界的規模での多様性の解明が可能である（図1）。
5. 例えば、いもち病菌レースの多様性は日本で小さく、中国南部（雲南省）からバングラデシュの地域で最も大きく、それはイネ遺伝資源の抵抗性変異に対応している（図1）。
6. この様ないもち病菌レースの分布は、品種の抵抗性や特定の抵抗性遺伝子が利用されている栽培生態型と対応関係があり、遺伝子対遺伝子説で説明できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 国際判別システムの利用により真性および圃場抵抗性遺伝子などの正確な効果の評価が可能になり、それらの効果的な利用法が明らかとなる。いもち病防除技術開発のための基盤が確保でき、抵抗性品種の利用を含む適切な防除を通じて、アジア、アフリカに限らず他の地域においても、農薬使用を低減した環境調和型農業に貢献できる。
2. 各国・地域で育種・植物病理学研究の利用のためには、植物防疫上の制約により、国際判別システムとは別に、独自の標準判別いもち病菌菌系群の選定とシステムの開発が必要である。
3. 国際標準判別いもち病菌菌系は、広く多様な病原性をもつものを日本、フィリピン、バングラデシュ、ベニン、ナイジェリア、ラオス、インドネシア、中国産から選定されたが、各国のものも含めて菌系の病原性の確認を定期的に行う必要がある。

[具体的データ]

表1 イネいもち病国際判別システム

菌株名	判別品種と導入した抵抗性遺伝子																								原産国		
	LTH	IRLsh-B	IRLb-B	IRLk-K59	IRLa-A	IRLl-F5	IRL3-CP4	IRL5-M	IRLks-F5	IRLkm-Ts	IRL1-CL	IRLkh-K3	IRLk-Ka[LT]	IRLkp-K60	IRL7-M	IRL9-W	IRLz-Fu	IRLz5-CA	IRLz1-T	IRLla2-Pi	IRLla2-Re	IRL12-M	IRLla-K1	IRLla-CP1		IRL19-A	IRL20-IR24
	-	Pish	Pib	Pit	Pia	Pij	Pi3	Pi5(t)	Pik-s	Pik-m	Pi1	Pik-h	Pik	Pik-p	Pi7(t)	Pi9	Piz	Piz-5	Piz-t	Pila-2	Pila-2	Pi12(t)	Pila	Pila		Pi19(t)	Pi20(t)
U62-i6-k000-z03-ta001	R	M	S	S	S	R	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	M	M	R	R	R	R	R	R	R	Philippines	
U63-i7-k157-z04-ta431	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	S	R	R	S	S	S	S	Bangladesh	
U63-i0-k100-z05-ta731	S	R	S	M	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	M	R	S	R	R	S	S	S	S	Philippines	
U03-i7-k177-z01-ta733	S	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	M	R	S	S	M	M	S	S	S	Benin	
U23-i7-k177-z02-ta733	S	R	S	R	S	M	S	S	S	S	S	S	M	S	R	R	R	M	R	R	S	S	S	S	S	Benin	
U61-i7-k100-z04-ta003	S	R	S	S	R	S	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R	S	Philippines	
U73-i6-k111-z02-ta500	S	S	S	S	S	R	S	S	S	S	R	R	M	R	R	R	R	M	R	S	S	S	R	R	R	Laos	
U53-i5-k157-z04-ta001	S	S	R	S	S	S	R	S	S	S	S	R	M	S	S	S	R	R	S	R	R	R	R	M	R	Japan	
U41-i2-k100-z05-ta401	S	R	R	S	R	R	S	R	S	R	R	R	R	R	R	R	M	R	R	R	R	S	R	R	S	Philippines	
U01-i0-k073-z01-ta010	S	M	R	R	R	R	R	R	R	R	S	M	S	S	S	R	S	R	R	R	R	R	S	R	R	Japan	
U01-i4-k143-z00-ta021	S	M	R	R	R	R	R	S	S	R	R	S	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	Philippines	
U23-i6-k157-z05-ta403	S	R	S	S	S	S	M	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	M	R	R	S	R	R	S	Bangladesh	
U03-i7-k137-z04-ta503	S	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	S	S	S	R	R	R	R	Indonesia	
U73-i4-k102-z01-ta333	S	S	M	S	S	R	R	S	S	R	R	R	M	R	R	R	M	R	R	S	M	R	S	S	S	Japan	
U23-i7-k155-z04-ta403	S	R	S	R	S	S	S	S	S	S	R	R	S	S	R	R	R	R	R	R	R	S	R	R	S	Bangladesh	
U43-i7-k173-z04-ta003	S	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	R	S	R	R	R	R	S	Bangladesh	
U01-i7-k177-z06-ta021	S	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	Bangladesh	
U73-i0-k000-z16-ta403	S	S	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	Philippines	
U73-i0-k100-z05-ta403	S	S	S	M	R	R	R	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	S	R	R	S	Philippines	
U53-i7-k100-z01-ta031	S	S	R	M	S	S	M	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	M	S	S	R	Japan	
U63-i7-k100-z04-ta403	S	M	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	R	S	R	R	S	S	Philippines	
U71-i0-k101-z01-ta333	S	S	S	S	R	R	S	S	S	R	R	R	M	R	R	R	R	S	R	S	S	S	S	S	M	Japan	
U63-i0-k153-z05-ta403	S	M	S	S	S	R	R	R	S	S	S	S	S	S	S	R	R	R	R	S	R	S	R	R	R	Philippines	
U23-i0-k104-z06-ta412	S	R	S	R	S	R	R	S	S	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S	S	R	R	Laos	
U23-i0-k177-z06-ta031	S	M	M	R	S	R	R	S	S	M	S	S	S	S	R	R	M	S	R	R	R	R	R	R	R	Laos	
U63-i3-k102-z02-ta021	S	M	S	S	S	M	M	R	S	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	China	

国際判別システムは25の判別品種（横）と53の標準判別いもち病菌菌系（縦、一部省略）で構成される。選ばれた国際標準選抜いもち病菌菌系は、Hayashi and Fukuta (2009)による病原性に基づいたレース名として表示した。

S：病原性（感受性）、M：中間型、R：非病原性（抵抗性）

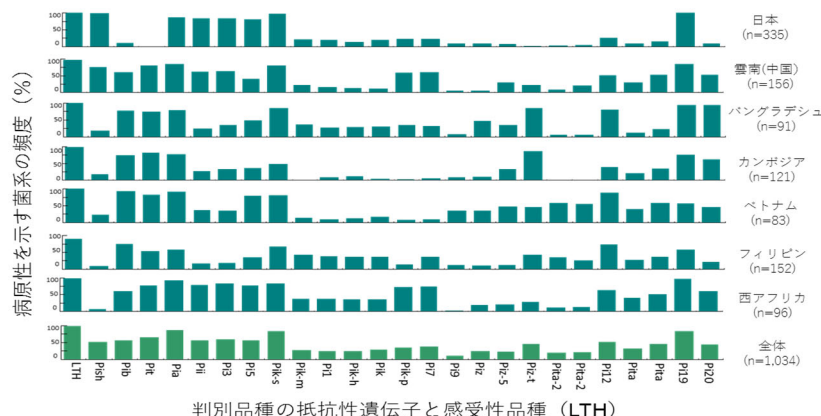


図1 判別品種群に対する各地域のいもち病菌菌系の病原性の頻度

地域により頻度が異なり、多様な変異が認められる。バングラデシュや西アフリカでは病原性を示す菌系の頻度は高い。

[その他]

研究課題：国境を越えて発生する病害虫に対する防除技術の開発、アフリカの食料問題解決のためのイネ、畑作物等の安定生産技術の開発

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：交付金 [病害虫防除、アフリカ食料]

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：福田善通・齊藤大樹・小原実広・柳原誠司・林長生（農研機構）

発表論文等：1) Kawasaki-Tanaka et al. (2016) Plant Dis., 100:816-823、2) Khan et al. (2016) Plant Dis., 100:2025-2033、3) Khan et al. (2017) Breed. Sci., 67:493-499、4) Odjo et al. (2017) Breed. Sci., 67:500-508、5) Fukuta et al. (2019) Plant Dis., 103:3181-3188、6) Fukuta et al. (2019) Breed. Sci., 69:672-679、7) Nguyen et al. (2020) Plant Dis. 104:381-387、8) Xangsayasane et al. (2020) Plant Health Prog., 21:248-255、9) Orn et al. (2020) Breed. Sci., doi: 10.1270/jsbbs.20052、10) Santoso et al. Plant Dis.（印刷中）

〔成果情報名〕 非湛水管理による水稻栽培が群落内気温の日変化と収量に及ぼす影響

〔要約〕 熱帯の灌漑水田において、非湛水管理による水稻栽培が開花時刻（午前）の群落内気温と高温不稔に及ぼす影響は小さい。しかし、乾季の出穂期間中に非湛水管理を行うと、午後から夜間の群落内気温が上昇し、収量が低下する。

〔キーワード〕 イネ、非湛水栽培、群落内気温、高温ストレス、MINCER

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

生育期間の一部、もしくは全体を通して、土壌水分の高い畑状態でイネを栽培する非湛水管理は、水資源の持続的利用や温室効果ガスの削減に貢献することが期待できる。一方で、制御環境でのポット実験の結果から、イネを非湛水条件で栽培した場合、土壌水分を高く維持しても、穂温が上昇し、高温不稔*が助長される可能性が指摘されている（Jagadish et al., 2015, Plant Cell Environ. 38: 1686–1698）。しかし、熱帯の野外環境において、水管理の違いが、イネの高温不稔を引き起こす開花時（午前中）の群落内気温や収量に及ぼす影響は知られていない。そこで、本研究では、ガーナ北部の灌漑水田を対象に、自立型気象観測装置 MINCER**を用いることで、高温ストレスに最も脆弱な出穂期間中の非湛水管理が、イネの群落内気温、不稔率、および収量に及ぼす影響を明らかにする。

* 高温不稔：イネの開花時刻（通常、午前中）に高温になると、葯の裂開が妨げられ、不稔が発生する。開花時刻を過ぎれば、高温にさらされても不稔への影響は小さいことが知られている。

** MINCER (Micrometeorological Instrument for Near Canopy Environment of Rice)：イネ群落内の気温と湿度を精密かつ簡便に観測できる装置（平成22年度農業環境技術研究所研究成果情報「イネ群落内の微気象を捉える自立型気象観測パッケージ MINCER」）

〔成果の内容・特徴〕

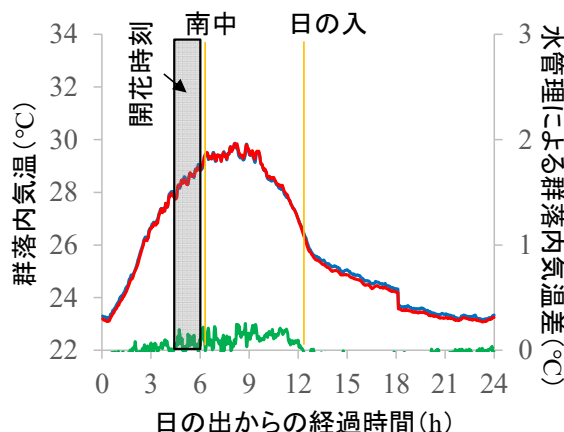
1. 栽培時期（2016、2017年の雨季作と2017、2018年の乾季作）や品種（IR64, Jasmine85）に関わらず、開花時刻（開花始めから開花ピークまでの時間）における群落内気温差（非湛水管理-常時湛水）は、雨季作が0～0.1℃、乾季作が0.2～0.3℃であり、非湛水管理が開花時刻の群落内気温に及ぼす影響は小さい（図1）。
2. 栽培時期、品種、水管理に関わらず、イネの不稔率は2.3%～11.8%と低く、開花時刻の群落内気温と同様に、非湛水管理がイネの高温不稔に及ぼす影響は小さい（表1）。
3. 乾季に非湛水管理を行うと、常時湛水に比べて、日没前後3時間の群落内気温差の平均値が0.7～0.9℃高くなり（図1）、試験地点および熱帯地域の代表的な水稻品種であるJasmine85およびIR64の収量が、有意に低下する（表1）。雨季作では、水管理の違いによる日没前後3時間の群落内気温差の平均値は0～0.2℃と小さく、収量への影響はみられない。

〔成果の活用面・留意点〕

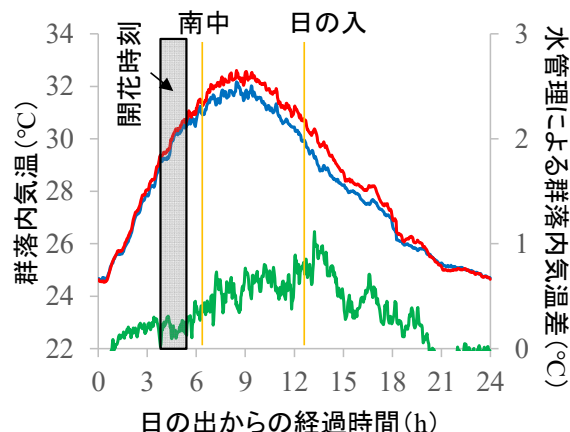
1. 本成果は、水不足と高温の両方のリスクをもつ熱帯の水稻生産において、栽培時期に応じた適正な水管理技術の導入に活用できる。
2. 乾季の非湛水管理が収量低下を引き起こす要因について、今後の研究で明らかにする必要がある。

[具体的データ]

(A) 2017年雨季作IR64



(B) 2017年乾季作IR64



群落内気温(—常時湛水 —非湛水) —群落内気温差(非湛水-常時湛水)

図1 水管理および栽培時期の違いが出穂期間中の群落内気温に及ぼす影響 (IR64、2017)

水田の端から5m以上内側にMINCERを設置し、穂の位置で群落内気温を連続測定した。出穂日の3日前を起点にした晴天日7日間の平均値を2分毎にプロット。乾季作と雨季作ともに品種と年次で同じ傾向を示したため、2017年のIR64のデータを代表して図示した。開花時刻は、群落上に設置したデジタルカメラのインターバル撮影(10分毎)により推定した。

表1 水管理の違いが乾季作と雨季作におけるイネの収量および不稔率に及ぼす影響

水管理の異なる圃場内に、各品種5.7m×4.5mのプロット(群落)を4反復で設けて試験を実施した。

品種	水管理*	不稔率(%)				収量(t ha ⁻¹)			
		雨季作		乾季作		雨季作		乾季作	
		2016年	2017年	2017年	2018年	2016年	2017年	2017年	2018年
IR64	常時湛水	2.4 ^b	8.9 ^a	4.1 ^b	4.0 ^a	6.1 ^{ab}	5.2 ^a	6.1 ^b	6.3 ^b
	非湛水	2.3 ^b	5.9 ^a	7.5 ^{ab}	8.9 ^a	5.4 ^b	5.0 ^a	5.2 ^c	4.7 ^c
Jasmine85	常時湛水	5.7 ^a	10.8 ^a	6.7 ^b	4.2 ^a	6.6 ^{ab}	5.6 ^a	7.4 ^a	7.7 ^a
	非湛水	2.6 ^b	8.2 ^a	11.8 ^a	7.2 ^a	7.0 ^a	5.5 ^a	6.4 ^b	6.4 ^b

異なるアルファベットを付した数値は、5%水準(Tukey HSD)で有意。

*常時湛水：移植から成熟期まで、湛水管理とした。

*非湛水：両品種の出穂日(約50%の株が出穂した日)前後に、約20日間の連続する非湛水期間を設け、それ以外は湛水管理とした。乾季作と雨季作ともに非湛水期間中の土壌体積含水率(20cm深)は、30%以上を維持した。ただし、2018年の乾季作のみ、灌漑水の不足で出穂後の非湛水期間が延びて、土壌含水率が26%まで低下した。

[その他]

研究課題：世界のコメ生産地における気候変動適応策の有効性評価のための耕地環境ストレスモニタリング

プログラム名：熱帯等の不良環境における農産物の安定生産技術の開発

予算区分：環境省地球環境保全等試験研究費

研究期間：2020年度(2015～2021年度)

研究担当者：辻本泰弘、吉本真由美・福岡峰彦(農研機構 農業環境変動研究センター)、Fuseini A・Inusah Y・Dogbe W(ガーナ国サバンナ農業研究所)

発表論文等：Tsujimoto Y et al. (2020) Field Crops Res., <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107978>

〔成果情報名〕数値モデルの活用による長粒米向け籾摺りロールの開発

〔要約〕 ロール式籾摺り機における籾摺りの数値解析では、長粒米は短粒米に比べ高い摩擦損失をロールに蓄積し、ロール寿命が短くなる。表面摩擦係数と素材の粘弾性の指標である $\tan \delta$ を適切に選定することで、高脱ぶ率と長寿命を両立したポリウレタンエラストマーによる長粒米向け籾摺りロールを開発できる。

〔キーワード〕 籾摺りロール、長粒米、ポリウレタンエラストマー、数値解析

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

籾摺りは、籾から籾殻を外す操作であり、2つのゴムロールによりせん断応力^{※1}を籾にかけるロール式籾摺り機（図1）が広く用いられている。長粒米は世界のコメ生産量の80%を占めており、長粒米のロール式籾摺り機による籾摺りでは、脱ぶ率^{※2}と籾摺りロール寿命が低下する。ロールの素材は1920年代に日本でロール式籾摺り機が発明されて以来、ゴムが使用され続けており、長粒米に向けた新たなロール素材を開発する必要がある。このため、短粒米と長粒米のロール式籾摺り機での挙動を、新たに構築した弾性数値モデルにより解析し、長粒米に適した表面摩擦係数と粘弾性を持つポリウレタンエラストマーを使用した、長粒米向けの籾摺りロールを開発する。

※1 せん断応力：物体内部のある面と平行方向に、その面にすべらせるように作用する力

※2 脱ぶ率：籾摺りをした籾から得られる玄米の比率

〔成果の内容・特徴〕

1. 高速度カメラによる籾摺りの観察に基づき構築した、ロール式籾摺り機の弾性数値モデルと有限要素法による解析によって、長粒米、短粒米の籾摺り時の挙動を把握できる。
2. 短粒米は籾摺り機のロール間隙で粒が回ることができ、主軸と副軸ロールの速度差による剪断応力^{*}が摩擦となりにくい。一方、長粒米では粒形のため、間隙で回ることが出来ずにロール表面で滑りが発生し、せん断応力が摩擦として損失する（図2）。
3. ロール表面で摩擦損失として失われるエネルギーは、長粒米が短粒米の3倍程度大きく、籾から籾殻を外すために使われるせん断応力が、摩擦に伴う摩耗及び熱として失われる（図3）。このため、長粒米の脱ぶ率と籾摺りロール寿命が低下する。
4. ロール素材にポリウレタンエラストマーを用い、数値解析を元に高い摩擦係数と適切な粘弾性($\tan \delta$)を持つよう調製した籾摺りロールは、長粒米に対して従来のゴム製籾摺りロールの10倍程度の寿命を持ち、高脱ぶ率を示す。（表1）

〔成果の活用面・留意点〕

1. 世界の商業精米工場では、連続運転や籾摺り後の玄米品質の面から、ロール籾摺り機が主流であり、交換用ロールは消耗品として市販されていることから、全てのロール式籾摺り機に対して適用可能である。
2. ポリウレタンエラストマーの特徴を活かした長寿命、高脱ぶ率の長粒米向け籾摺りロールにより、ロール交換に伴うコストを削減し、コメのフードバリューチェーンを改善できる。
3. ポリウレタンエラストマーはゴムに比べて耐摩耗性に優れるが一般的には120℃以上の熱には弱いので、累積摩擦損失の少ない素材を使用する必要がある。また、ロール間隙等は、籾摺り機の機種に合わせて調整する必要がある。

[具体的データ]

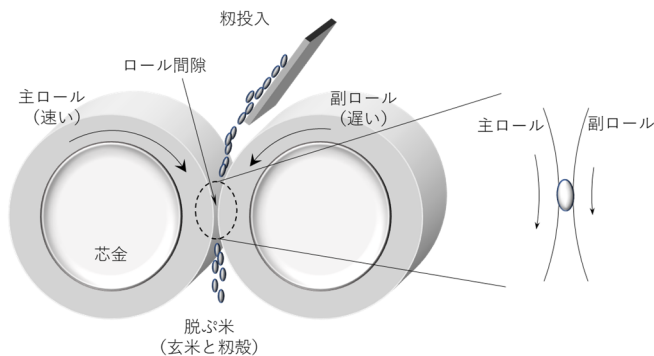


図1 ロール粳攪り機の模式図

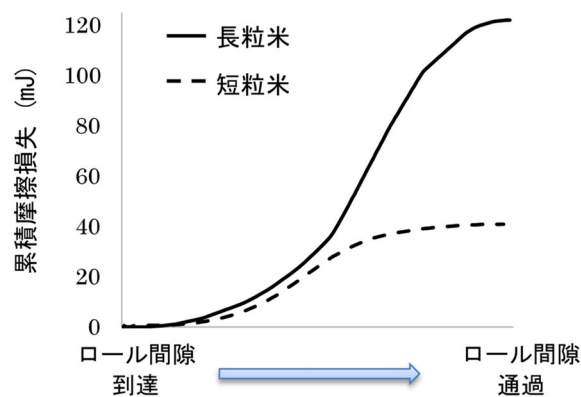


図3 粳1粒当たりの累積摩擦損失

長粒米では滑りの発生に伴い、粳攪りに伴いロールに蓄積されるエネルギーは短粒米の3倍に及ぶ。

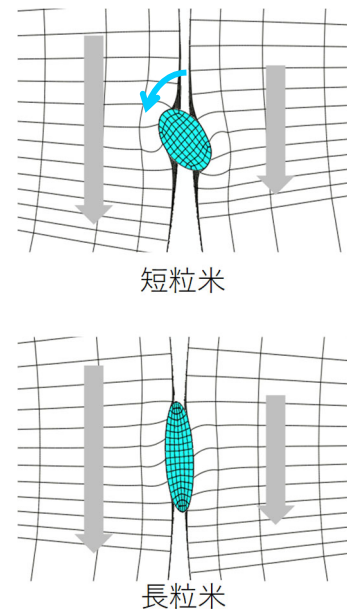


図2 ロール間隙での粳の挙動

短粒米では粒が青矢印のように回転し、ロール速度差を吸収するが、長粒米ではほぼ回転せず、速度差に応じて滑り、摩擦が生じる。

表1 タイ精米工場での粳攪り試験結果

ロール種類	粘弾性 (tanδ, 90°C)	表面摩擦 係数	脱ぶ率	砕米率	実際の損耗	予測寿命
ゴム製 (従来品)	0.089	0.514	77-85%	7-8%	10-10.5 mm (10 時間後)	24-30 時間
短粒種向け ポリウレタン製 (市販品)	0.021	0.544	55-61%	5-7%	5-7 mm (1 時間後)	3.6-5 時間
長粒種向け ポリウレタン製 (改良品)	0.035	0.699	82-88%	5-7%	7.3-7.4 mm (72 時間後)	242-243 時間

[その他]

研究課題：持続的農村発展のための食料資源の高付加価値化を通じたフードバリューチェーン形成

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [フードバリューチェーン]

研究期間：2020 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：吉橋忠・阿部勇喜・岩崎成彰・坂中宏行（バンドー化学（株） 産業資材事業部）、藤中正俊・城戸隆一（バンドー化学（株） 基盤研）

発表論文等：1) 阿部ら、特許第 6664026 号 (2020) 粳攪りロール及び粳攪り方法

2) Yoshihashi T et al. (2021) Japan Agricultural Research Quarterly, 55 (3): ページ未定

〔成果情報名〕 タイ発酵型米麺の液状化及び予防のための pH 管理の経営的評価

〔要約〕 タイ発酵型米麺の液状化は、小規模な発酵型米麺企業に大幅な減収と経営の不安定化をもたらし得る。麺の液状化予防のための製造工程における pH 計測及び、酸性の洗浄水による麺の洗浄にかかる費用は一般的な保存料を使用するよりも安価であり、経営安定化の効果が大きい。

〔キーワード〕 タイ、発酵型米麺、液状化、pH 管理、経営的評価

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 社会科学領域

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

タイをはじめ大メコン圏で広く生産、消費される発酵型米麺は、製造後に急激に麺の形が崩れ液状化する場合があります、生産・流通上の問題となっている。国際農研では液状化の原因を特定するとともに、麺の液状化予防には、製造工程における pH の適切な計測・管理と、酸性の洗浄水による麺の洗浄が有効であることを明らかにした（令和元年度国際農林水産業研究成果情報 C01「タイ発酵型米麺の液状化は、麺を pH4 程度の酸性に保つことで抑制できる」）。そこで、生産現場における pH 管理を促すため、タイにおいて代表的な小規模発酵型米麺工場の経営的評価を行い、麺の液状化被害及び pH 管理がもたらす便益を明らかにする。

〔成果の内容・特徴〕

1. タイにおいて代表的な小規模発酵型米麺企業の経営評価モデル（図 1）を構築して行った経営シミュレーションによると、麺の液状化は大幅な減収と経営の不安定化をもたらし得る（図 2）。麺の液状化予防は、これらのリスクを低下させ発酵型米粉・米麺両方の製造業者の経営安定化に寄与する。
2. 製造工程における適切な pH 管理に必要な pH 計測費用が総費用に占める割合は、pH 試験紙を用いた場合、極めて小さい（表 1A：試算対象とした小規模工場の場合は約 370 バーツ/月）。ただし、計測箇所が多い場合は、計測のコストと簡便さの観点から pH 計の使用が推奨される。
3. 麺の液状化を防ぐために有効な酸性の洗浄水による麺の洗浄にかかる費用は、一般的な保存料を使用した場合よりも安価であり、総費用に占める割合は pH 計測費用と同様極めて小さい（表 1B：試算対象工場の場合約 220 バーツ/月）。
4. これらの結果は、伝統的製法を用いる小規模な発酵型米麺企業にとって、pH に着目した基本的な工程管理は導入が比較的容易で経営安定化の効果が大きいことを示唆している。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 液状化防止技術導入の経営への影響が明らかになり、技術導入が促進されることで、発酵型米麺企業の経営安定化と食品ロスの削減が期待できる。
2. 発酵型米粉・米麺生産者は、表 1 を参考に自工場での pH 計測の頻度や方法、酢酸等の使用を検討できる。
3. 本成果は、タイにおいて一般的な、伝統的な製法を用いる小規模な製粉・製麺企業から得られたデータに基づくものである。活用の際には事業者の規模や技術、水質等の生産条件の違いを十分に考慮する必要がある。

[具体的データ]

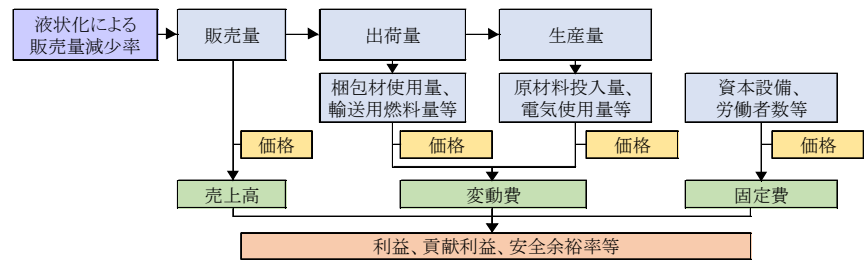


図1 経営的評価のためのモデル概念図（概略）

聞き取り調査によって得られた経営データを基に、発酵型米粉・米麺両方の製造業者についてモデルを構築した。図で示されているのは、米粉と米麺に共通するフローチャート。

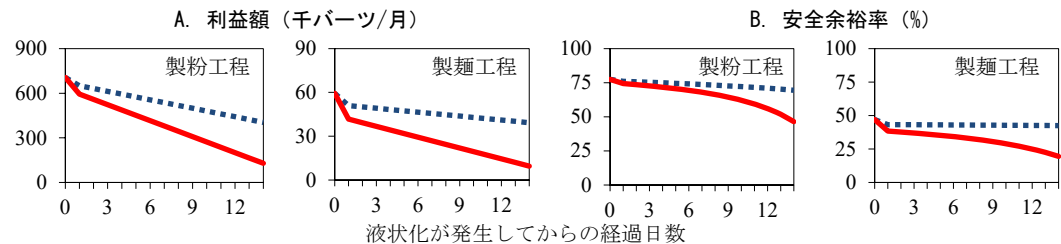


図2 発酵型米麺の販売不能量を外生変数としたモデル（図1）の試算結果

タイ政府工業省に登録されている発酵型米麺関連企業の平均値と同等の規模を想定（製粉作業員13人、原料米5.5トン/日、製麺作業員6人、原料発酵米粉0.6トン/日）。1日目に液状化発生により販売量のみ減少、2日目以降は出荷・生産量も減少させ変動費を抑制するシナリオを用いた。実線は日販売量が全量、点線は50%販売不能となる場合の推計値。製麺工程は原料発酵米粉を全量購入する場合の値。販売できない日数が伸びると、図に示される月単位の利益や安全余裕率が低下する。安全余裕率は、液状化の影響を受けた月単位の売上高がさらに何%減少すると利益が0になるかを表す指標であり、経営の安定性を示す。

表1 pHに着目した発酵型米麺液状化予防にかかる費用

		事例調査を行った 企業の場合	さらなる予防措置を 講じる場合
A. 発酵型米粉・米麺製造工程におけるpHの試験紙による計測にかかる費用	計測回数（回/日）	10	20
	費用（パーツ/月）	373	746
	総費用に占める割合（%）	0.01	0.03
B. 酸性の洗浄水による麺の洗浄にかかる費用	酢酸使用量（L/日）	0.2	1.0
	費用（パーツ/月）	216	1,083
	総費用に占める割合（%）	0.01	0.04

事例調査を行った企業は、図2に示される標準的な規模。麺の洗浄量は、約830kg/日（1台の製麺機を8時間/日稼働させた場合の生産量）を想定。事例調査を行った企業の総費用は282万パーツ/月（うち製粉工程268万パーツ/月、製麺工程14万パーツ/月）。（参考）pH計による費用は、耐用年数6年を仮定した場合、電池の消耗を加味しても431パーツ/月。法定量上限まで麺に一般的な保存料を添加した場合の費用は2,647パーツ/月。

[その他]

研究課題：持続的農村発展のための食料資源の高付加価値化を通じたフードバリューチェーン形成

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金〔フードバリューチェーン〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：草野栄一・丸井淳一郎・吉橋忠

発表論文等：Kusano E et al. (2021) Japan Agricultural Research Quarterly, 55(3): ページ未定

〔成果情報名〕 キチン分解好熱嫌気性細菌 *Capillibacterium thermochitinicola* の発見

〔要約〕 石垣島の堆肥から分離した新属新種の *Capillibacterium thermochitinicola* は、結晶性キチンを分解できることが確認された、はじめてのキチン分解好熱嫌気性細菌である。キチンを含むエビ殻やカニ殻等の食品加工廃棄物を用いた効率的な微生物糖化への利用が期待できる。

〔キーワード〕 キチン、キチン分解、バイオマス、好熱嫌気性細菌

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

キチンはエビ、カニをはじめ、昆虫や貝、キノコ等、多くの生物に含まれている多糖類の一種で、地球上でセルロースに次ぐ賦存量を持つ豊富な天然生物資源である。繊維素材や土壌改良材等、バイオマテリアルとして多くの用途が期待されるが、難溶性であるため、産業利用は限られており、水産加工工場からはエビ殻やカニ殻等、キチンを含むバイオマスが大量に廃棄されている。キチン分解酵素を持つ微生物は多数、存在するが、好熱嫌気性環境下でキチンを分解・資化できる細菌は見つかっていない。そこで、微生物糖化によるキチン系バイオマスの有効利用を図るため、高温環境下で効率的にキチン分解する好熱嫌気性細菌を探索し、その新規性や有用性を明らかにする。

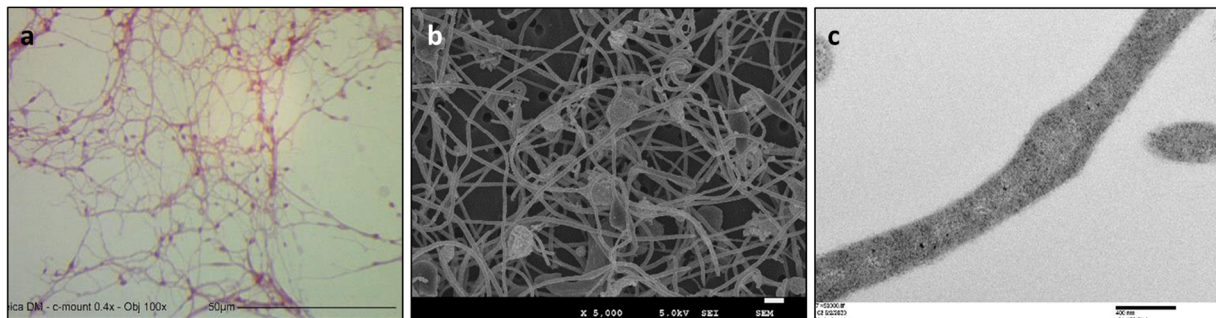
〔成果の内容・特徴〕

1. 結晶性キチンを炭素源とする培地を用いて、石垣島の堆肥から嫌気環境下 60℃にてキチン分解する微生物をスクリーニングし、新属新種のキチン分解好熱嫌気性細菌 *Capillibacterium thermochitinicola* UUS1-1 の分離に成功した。本菌は分類学上、グラム陽性菌フィルミクテス門の難培養細菌 OPB54 クラスターに位置づけられる。OPB54 クラスターにおいて培養可能な細菌類としては、これまで知られている *Hydrogenispora ethanolica* に継ぐ発見である（図 1）。
2. *C. thermochitinicola* UUS1-1 は、2 種類のキチン分解酵素を菌体外に生産し（図 2）、結晶性キチンを分解及び資化できることが確認されたはじめての好熱嫌気性細菌である（図 3）。
3. *C. thermochitinicola* UUS1-1 は少なくとも 6 種類のキチン分解酵素とキチン利用に必要な代謝経路を有しており、キチンから直接、水素を生産できるほか、デンプン、ガラクトサン、β-グルカン分解できる。
4. *C. thermochitinicola* UUS1-1 は、基準株として理研バイオリソースセンター(JCM 33882^T)とドイツ微生物細胞培養コレクションセンター(DSM 111537^T)に寄託されており、分譲が可能である。

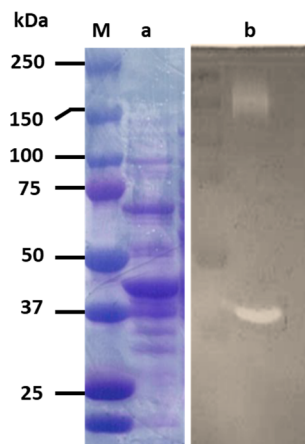
〔成果の活用面・留意点〕

1. 微生物糖化技術で用いている好熱嫌気性セルロース分解細菌と同じく、60℃にて生育及び結晶性キチンを効率的に分解できるため、キチン質を含む食品加工廃棄物を用いた微生物糖化技術に組み入れることが可能である。
2. *C. thermochitinicola* UUS1-1 はキトサンを分解することが出来ない。キチンの化学処理から得られるキトサンは生分解性フィルムや抗菌性をもつ機能性素材であるが、本菌を作用させることで、残存するキチン除去などキトサンの生物的精製処理に利用できる。

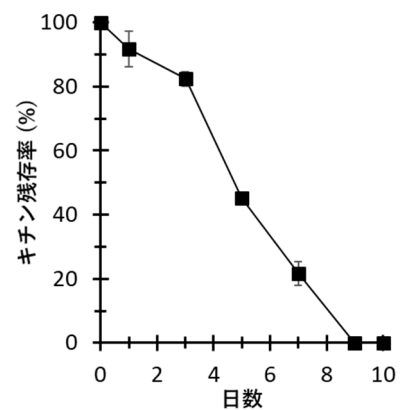
[具体的データ]

図1 *C. thermochitinicola* UUS1-1 の形態観察

a; UUS1-1 の光学顕微鏡写真（写真下部の黒横棒スケールは 50 μm ） b; UUS1-1 の走査電子顕微鏡写真（写真下部の白横棒スケールは 1.0 μm ） c; 透過電子顕微鏡写真（写真下部の黒横棒スケールは 0.4 μm ）

図2 *C. thermochitinicola* UUS1-1 の菌体外酵素によるキチン分解能

a; 分離菌 UUS1-1 の菌体外酵素のタンパク質 SDS-PAGE 画像. b; 分離菌 UUS1-1 の菌体外酵素のキチン分解活性染色画像. ▲分子量にキチン分解活性が認められる. M ; 分子量マーカー

図3 *C. thermochitinicola* UUS1-1 のキチン分解能

1%(w/v)結晶性キチンを含む嫌気性培地における UUS1-1 によるキチンの残存率を示す

[その他]

研究課題：東南アジア未利用バイオマス資源からの糖質生産技術とその高度利用技術の開発

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [アジアバイオマス]

研究期間：2020 年度（2017～2020 年度）

研究担当者：小杉昭彦・鶴家綾香・Baramée S、Ungkulpasvich U（筑波大）

発表論文等：1) Ungkulpasvich U et al. (2020) Data in Brief, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106528>

2) Ungkulpasvich U et al. (2020) Enzyme and Microbial Technology, <https://doi.org/10.1016/j.enzymictec.2020.109740>

〔成果情報名〕 ラオス淡水魚発酵調味料のヒスタミン生成は仕込み時の塩分調整で抑制できる

〔要約〕 ラオス農村世帯で生産・消費される淡水魚発酵調味料には製品ごとに塩分のばらつきがあり、低塩分の製品では高濃度のヒスタミンが生成される傾向がある。魚、塩、米糠の重量比を3:1:1となるよう混ぜ合わせる伝統的な製法に従い、仕込み時の塩分を18%程度に調整することにより、発酵に伴うヒスタミンの生成を抑制できる。

〔キーワード〕 ラオス、淡水魚発酵調味料、塩分、ヒスタミン

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 生物資源・利用領域

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

淡水魚発酵調味料（ラオス名：パデーク）は内陸国ラオスの重要な食料資源である淡水魚を、塩、米糠とともに常温で半年から1年程度発酵させた伝統食品であり、グルタミン酸、リジン等の遊離アミノ酸を含む保存性の高い万能調味料として広く食されている。市場で流通する商業生産品とともに、農村世帯で生産・消費されるパデークは、身近な魚類資源を活かす栄養供給源としても重要である。一方、その発酵過程では、魚のタンパク質が分解して生じるアミノ酸の一種ヒスチジンが一部の細菌によりヒスタミンに変換されることがある。感受性には個人差があるが、500～1,000 ppm以上のヒスタミンを含む食品では、アレルギー様食中毒の懸念が生じる。パデークにおけるヒスタミン生成要因を解明し、抑制方法を普及することで、安全性の確保や食料廃棄の削減が期待できる。

〔成果の内容・特徴〕

1. ラオス農村世帯で生産、消費されるパデークの塩分には製品ごとのばらつきがあり、低塩分の製品で高濃度のヒスタミンが生成される傾向がある（図1）。
2. ラオスのパデーク生産者から聞き取った伝統的な製法に従い、魚、塩、米糠を3:1:1の重量比で配合して、塩分を18%としたパデークの発酵試験では、仕込みから26週間後までヒスタミンを検出しないが、10%または6.5%とした場合には、2～26週間後にかけて約400～1,100 ppmのヒスタミンが検出される（図2）。
3. パデークの仕込み日、使用開始日、材料魚種の記入欄と、上記配合での魚、塩、米糠の重量を記載した発酵管理・配合比早見表と（図3）、発酵容器ならびに塩を農村世帯へ配布し、パデークの製法についての説明会を実施した。説明会実施後に参加者が製造したパデークの塩分、ヒスタミン濃度の平均値はそれぞれ17.6%、181 ppmとなり、同村で説明会実施前に収集した試料の値（13.3%、460 ppm）に比べ、統計的に有意な差が確認される（図4A, B）。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 伝統的な製法に従い、仕込み時の塩分を18%程度に調整することで、パデークのヒスタミン生成を抑制しアレルギー様食中毒のリスクを低減できる。
2. 魚、塩、米糠の配合比を3:1:1とする発酵管理・配合比早見表の使用は、ラオス農村世帯で製造されるパデークのヒスタミン抑制に重要な、仕込み時の塩分調整に有効である。
3. 仕込み時の塩分を18%程度に調整することは、パデークの発酵過程で耐塩性の低いヒスタミン産生菌の抑制に効果を示すが、仕込み前の魚のヒスタミン生成を抑える鮮度管理や、耐塩性の高いヒスタミン産生菌等の混入を抑制する製造時の衛生管理にも留意する必要がある。

[具体的データ]

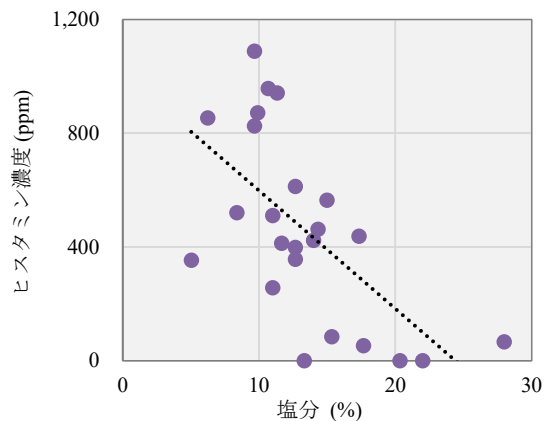


図1 農村世帯における自家製パデークの塩分とヒスタミン濃度に見られる負の相関 ($r = 0.633$, $P < 0.01$, $n = 24$)

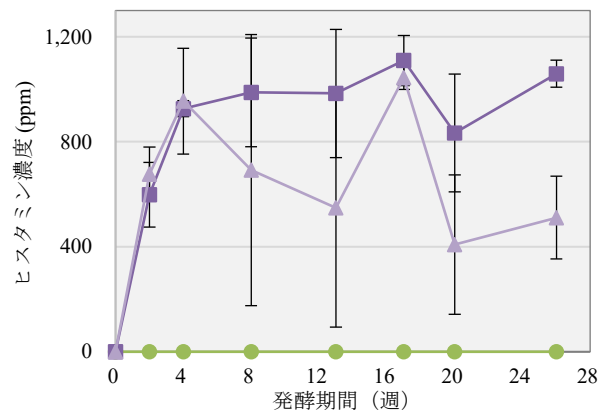


図2 仕込み時の塩分を18% (●)、10% (■)、6.5% (▲)に調整したパデーク発酵試験におけるヒスタミン濃度の経時変化

パデーク発酵管理表

ການຈັກການ ການຜັກປາແຕກ

1. ວັນເດືອນປີ ຜະລິດ:_____

発酵を始めた日

2. ຊະນິດປາ:_____

使用した魚の種類

3. ວັນເດືອນປີ ເລີ່ມປາໄຊ:_____

使い始めた日

ໝາຍເຫດ:_____

メモ欄

パデーク配合比早見表

ອັດຕາສ່ວນໃນການເຮັດປາແຕກຄຸນນະພາບດີ

魚	ປາ	1 ກິໂລ	1.5 ກິໂລ	3 ກິໂລ	4.5 ກິໂລ	6 ກິໂລ	7.5 ກິໂລ
塩	ເກືອ	2 ຂີດເຄິງ	ເຄິງກິໂລ	1 ກິໂລ	1.5 ກິໂລ	2 ກິໂລ	2.5 ກິໂລ
米糠	ຂົ່	2 ຂີດເຄິງ	ເຄິງກິໂລ	1 ກິໂລ	1.5 ກິໂລ	2 ກິໂລ	2.5 ກິໂລ
	ປາ	9 ກິໂລ	10.5 ກິໂລ	12 ກິໂລ	13.5 ກິໂລ	15 ກິໂລ	
	ເກືອ	3 ກິໂລ	3.5 ກິໂລ	4 ກິໂລ	4.5 ກິໂລ	5 ກິໂລ	
	ຂົ່	3 ກິໂລ	3.5 ກິໂລ	4 ກິໂລ	4.5 ກິໂລ	5 ກິໂລ	

図3 農村説明会の参加者へ配布したパデーク発酵管理・配合比早見表

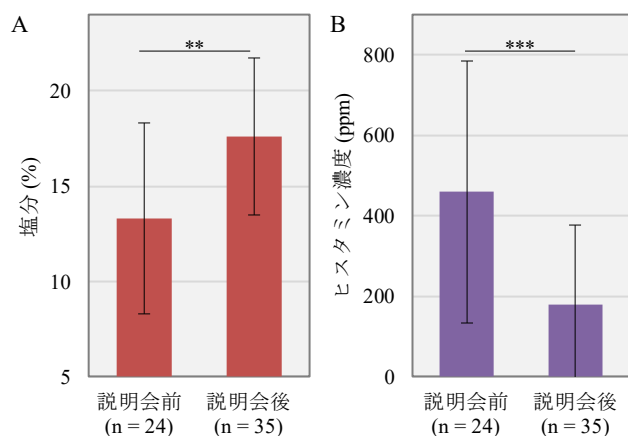


図4 農村説明会を実施する以前に調査地で収集したパデーク試料（説明会前）および実施後に参加者から収集した試料（説明会后）における塩分 (A) およびヒスタミン濃度 (B) の比較

[その他]

研究課題：インドシナ中山間農村における資源の多目的活用・高付加価値化と持続的生産性の向上

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金〔農山村資源活用〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：丸井淳一郎、Phouphasouk S・Boulom S（ラオス国立大学農学部）

発表論文等：Marui J et al. (2020) Journal of Food Protection, <https://doi.org/10.4315/JFP-20-272>

〔成果情報名〕 汎用小型ドローンから陸稲圃場のイネと雑草を高精度で判別できる

〔要約〕 オブジェクトベース画像解析は、画素値の類似したピクセルの集合を1つのセグメントとし、セグメント単位で分類する高解像度画像に適した手法である。同手法を用いて、陸稲圃場のドローン空撮画像を解析することで、イネ・雑草・土壌を高精度で分類でき、圃場内の雑草の空間分布を迅速に把握することで、除草作業の効率化が期待できる。

〔キーワード〕 オブジェクトベース画像解析、雑草管理、ドローン、ラオス

〔所属〕 社会科学領域、生産環境・畜産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

雑草の防除は、ラオスの主要作物である陸稲の生産性向上において重要な課題であり、雑草の早期発見と迅速な除草処理が必要である。その解決策として、ドローンによる圃場の空撮画像を用いた雑草検出が有効であるが、陸稲を対象とした知見は乏しく、農家圃場で活用できる実用的な雑草の検出方法は無い。このため、汎用性の高い小型ドローンでラオスの陸稲試験圃場を撮影した一般的な RGB (Red-Green-Blue)カラー画像から、オブジェクトベース画像解析によって迅速かつ高精度にイネと雑草を判別する手法を開発する。

〔成果の内容・特徴〕

1. ラオスの陸稲試験圃場（畝間 25cm×25cm）において、播種後 29 日目に汎用小型ドローン(DJI Phantom 4)により飛行高度 20m（地上解像度 1cm）で撮影し、RGB カラー画像から色変換した HSV(Hue-Saturation-Brightness)画像と空間変異を示すテクスチャ(Texture)を計算する。教師データとして、目視判別で RGB カラー画像上からイネ、雑草、土壌の位置情報を収集する。オブジェクト画像解析では、まず画像を SLIC(Simple Linear Iterative Clustering)法で類似する画素値ごとに領域分割（セグメンテーション）を行い、教師データを用いて分類クラス（イネ、雑草、土壌）のセグメント内から統計値を抽出し、それらを説明変数としたランダムフォレスト法で分類する（図 1）。
2. オブジェクトベース画像解析により、ラオスの陸稲栽培地で優占するキク科やマメ科を主とした雑草とイネを 90%以上の正答率で分類でき（表 1）、それらの空間分布を迅速に把握できる（図 2）。
3. 土壌は HSV 画像の色情報のみを使用した場合でも 99.0%の再現率で分類できるが、さらにテクスチャ情報を追加することでイネと雑草の分類精度が向上する（表 1）。
4. ドローンから分類したイネ・雑草・土壌の被覆率は除草処理後 1、17、34 日で異なることから（図 3）、除草後の時間経過に従って雑草が繁茂する状況を定量的に把握できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 雑草の分布情報の迅速推定を通じ、生産農家は圃場内の雑草繁茂状況を早期に把握し、適切な雑草管理（除草処理）を行うための基礎情報として活用できる。
2. 同手法を応用すれば、実際の除草作業を行わずに画像上から雑草の影響を除去することができ、空撮画像によるイネ生育診断の精度向上と効率化が期待できる。
3. ドローンの飛行高度を上げると、広域を短時間で撮影できるが、画像の地上解像度は低下し、それにともない分類精度も低下するため、利用目的に合った飛行計画を立案する必要がある。
4. 形態の類似する雑草種（イネ科雑草など）では分類精度が低下する可能性がある。

[具体的データ]

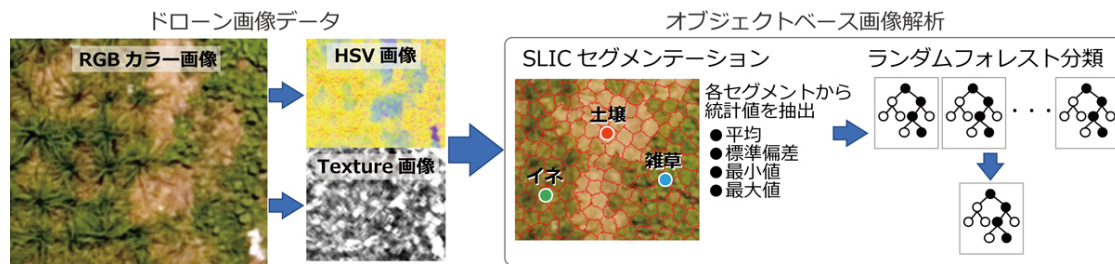


図1 ドローン画像を用いたオブジェクトベース画像解析の処理フロー

ドローンのRGBカラー画像から計算したHSV画像とTexture画像（空間変量）を使用したオブジェクトベース画像解析の処理方法の流れ。SLIC(Simple Linear Iterative Clustering)法で作成したセグメント内から抽出した統計値をランダムフォレスト分類の入力値として使用する。

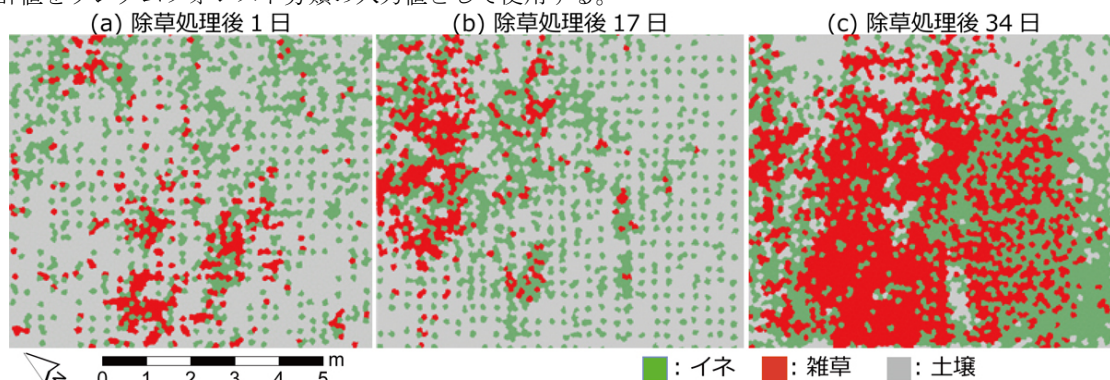


図2 ドローン画像をオブジェクトベース画像解析で分類したイネ・雑草・土壌の分布図

除草処理後の経過日数が異なる処理区（除草処理後1、17、34日）におけるイネと雑草の分布を比較。

表1 ランダムフォレスト分類結果の混同行列

		予測			再現率
		イネ	雑草	土壌	
(a) HSV (正答率 = 0.901, F値 = 0.900)					
正解	イネ	82	18	0	0.820
	雑草	11	89	0	0.890
	土壌	1	0	99	0.990
適合率		0.872	0.832	1.000	
(b) HSV + Texture (正答率 = 0.910, F値 = 0.906)					
正解	イネ	83	17	0	0.830
	雑草	9	91	0	0.910
	土壌	1	0	99	0.990
適合率		0.892	0.843	1.000	

再現率は、正解（同じ行）の中で正解した割合。適合率は、予測（同じ列）の中で正解した割合。F値は再現率と適合率の調和平均から計算される分類結果の評価尺度。

[その他]

研究課題：インドシナ中山間農村における資源の多目的活用・高付加価値化と持続的生産性の向上
プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金〔農山村資源活用〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：川村健介・浅井英利、Phongchanmaixay S 他（ラオス国立農林業研究所）

発表論文等：Kawamura K et al. (2020) Plant Production Science. doi: 10.1080/1343943X.2020.1829490

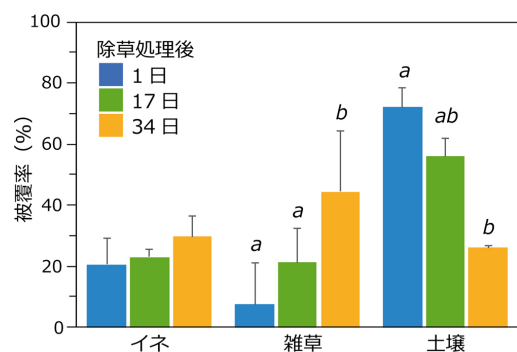


図3 イネ・雑草・土壌の被覆率の比較

除草処理後の経過日数（1、17、34日）が異なる処理区間で、イネ・雑草・土壌の被覆率を比較。棒グラフ上の異なるアルファベットは5%水準(Tukey HSD)で有意。

〔成果情報名〕 東南アジア熱帯雨林で重要な林業樹種におけるゲノム選抜育種導入の可能性

〔要約〕 東南アジア熱帯雨林の重要な林業樹種（フタバガキ科樹種）を対象に遺伝子連関解析を行い、ゲノム推定モデルを構築することで、形質の評価に長期間を要していた林木の遺伝的な改良期間を短縮できる。とくに、成長に関して、連関する DNA 多型と高いゲノム遺伝率が検出されたことから、成長に関するゲノム選抜が有効であることが示唆される。

〔キーワード〕 熱帯雨林、林業樹種、ゲノム選抜育種、ゲノムワイド連関解析、ゲノム遺伝率

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 林業領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

東南アジアの熱帯雨林では、一定の基準に達した樹木だけを選んで択伐したあと、森林が自然回復した数十年後に次の収穫を期待する生産システムが一般的であったが、多くの地域では十分に回復が進まず、生産水準の低下が問題となっている。東南アジアで最も広大な熱帯雨林を有するインドネシアでは、伐採後の人工的な植栽による生産力の回復が求められているが、熱帯雨林産の林業樹種で種苗の遺伝的改良が行われた例はなく、遺伝的な改良を行った種苗を用いた植栽が可能になれば、熱帯雨林の回復、生産性の向上に大きく寄与する可能性がある。

近年、次世代シーケンサーの進歩によって、多数の個体からゲノムを広く網羅する DNA 多型の検出が可能となり、ゲノム上の DNA 多型情報から表現型を推定し、優良個体を選抜するゲノム選抜育種が可能となった。従来、その長寿命性のために表現型の評価に長期間を要していた林木において、実生の段階で将来の表現型を DNA 多型情報から予測し、選抜を行うことは、育種サイクルの大幅な短縮につながる。そこで、優良な種苗による東南アジア熱帯雨林の森林再生、生産力の増強を効果的に行うために、東南アジア熱帯雨林の優占樹種であり、林業を含む多くの生態系サービスを提供するフタバガキ科樹種を対象に、ゲノム選抜育種の可能性を明らかにする。

〔成果の内容・特徴〕

1. 中央カリマンタンの天然林コンセッション企業内に設置されたフタバガキ科林業樹種の一つである *Shorea platyclados* の次代検定林において、77 母樹の自然交配によって得られた 356 個体から、5,900 遺伝子座とゲノム上の長い物理距離にわたる連鎖不平衡を検出したことから、本次代検定林は遺伝子連関解析やゲノム推定に適した集団であることがわかる（図 1）。
2. ゲノム連関解析を行ったところ、間伐前の樹高（8 年生）では、1 遺伝子座が有意であったが、間伐後の樹高（11 年生）、幹の直径成長や樹形、材密度では有意な遺伝子座は検出されず、これらの形質は多数の効果の弱い遺伝子によって制御されていることが示唆される（図 2）。
3. ゲノム連関解析結果による遺伝子座の選抜は遺伝子型によって説明できる表現型の分散（ゲノム遺伝率）を向上させ（表 1）、成長に関わる形質のゲノム遺伝率は樹形や材質よりも高いことから（表 1）、成長の早い個体選抜・種苗生産を行う際に、とくに効果を発揮する。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 開発されたゲノム推定モデルを用いて、特に成長に関わる形質について実生の選抜を行うことで、育種サイクルの大幅な短縮につながる（図 1）。
2. 今回測定した形質は多数の効果の弱い遺伝子によって制御されていることが示唆されており、マーカー選抜育種には適さない。
3. 深層学習の活用、解析個体数や遺伝子座の増加がゲノム推定モデルの精度向上に有効である。

[具体的データ]

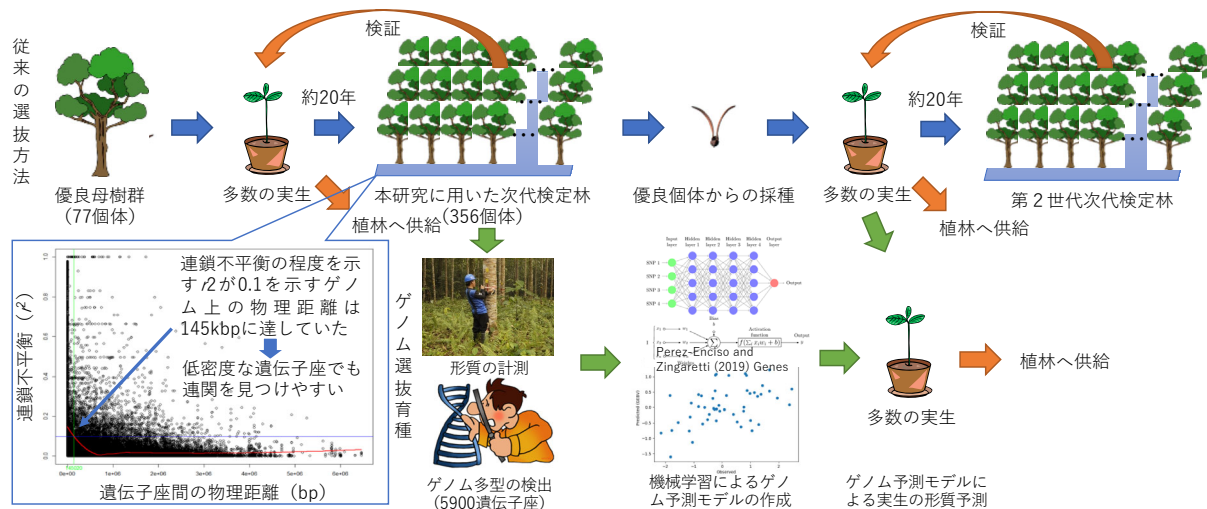


図1 本研究に用いた次代検定林の遺伝的性質とゲノム選抜育種を用いた場合の工程

従来の方法では次代検定林での検証に約20年要するが、ゲノム選抜育種ではこの工程をゲノム予測モデルによって短縮することができるため、育種サイクルの大幅な短縮が見込める。

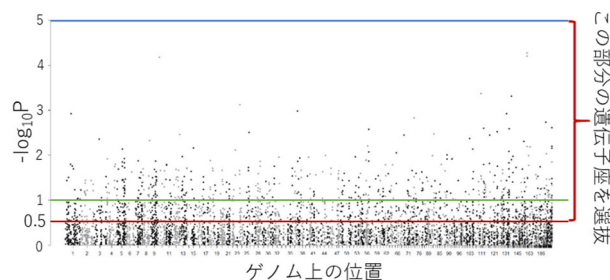


図2 間伐後の樹高に対する各遺伝子座との関連を表すマンハッタンプロット

計測した全ての表現型についてゲノム関連解析を行ったが、ほとんどの遺伝マーカーでは有意な関連は認められず、間伐前の樹高のみで有意な関連が認められた。

表1 遺伝子座から算出したゲノム遺伝率

	ゲノム遺伝率 全遺伝子座	ゲノム遺伝率 選抜遺伝子座
間伐後（11年生）の樹高	0.313	0.573
間伐後の幹直径	0.292	0.615
枝角度	0.190	0.342
材密度	0.263	0.516
材剛性	0.252	0.473

-log₁₀P 値が 0.5（図2の赤線）以上を示した選抜遺伝子座では、成長に関わる形質（樹高や幹直径）のゲノム遺伝率が向上することから、これらに対応する効果の弱い遺伝子が多数存在することが示唆された。

[その他]

研究課題：東南アジアの有用樹種を高付加価値化する熱帯林育成・保全技術開発

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金〔価値化林業〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：谷尚樹・諏訪鍊平・Sawitri・Na'iem M・Widiyatno・Indrioko S（ガジャマダ大学）、内山憲太郎（森林機構 森林総合研究所）、津村義彦（筑波大学）

発表論文等：Sawitri et al. (2020) Forests, 11 (2): 239

〔成果情報名〕 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

〔要約〕 東南アジア熱帯地域のフタバガキ科林業樹種の苗木では、わずかな温度変化に樹木が敏感に応答し、葉の生産量を増減させる。気温の異なる複数の地域に苗畑を設置し、成長の異なる苗木を利用できるようにすることで、適正サイズの植栽用苗木の安定生産が期待できる。

〔キーワード〕 熱帯雨林、林業用苗木、成長、展葉、気候変動

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 林業領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

フタバガキ科樹木は、東南アジア熱帯雨林の主要な構成樹木であり、重要な林業樹種である。持続的な林業経営には、適正サイズの植栽用苗木の安定供給が必要であるが、数年に一度だけ開花・結実し、種子の保存ができないフタバガキでは計画的な育苗が難しく、苗木の成長制御機構を理解し、適正サイズの苗木を安定生産する技術開発が求められている。そこで、成長の指標として葉の生産に着目し、苗畑での観測により得られた葉の生産量と環境条件の変化の因果関係を解析するとともに、人工気象器による操作実験を行うことで、フタバガキ科林業樹種の成長を制御する環境要因を特定する。

〔成果の内容・特徴〕

1. インターバル撮影が可能なカメラと気象測器を利用した観測システム（図1）によって、苗畑でのフタバガキ科林業樹種の苗木の葉の生産のタイミングを把握できる。
2. これまで雨量の変化が葉の生産量の制御に重要であることが報告されてきたが、観測システムを透明なプラスチックシートで覆うことで雨量の変化を排除し、毎朝夕二回、一定量の水を与えて苗木を育てた場合にも葉の生産量は明瞭な増減を示した（図2）ことから、葉の生産量の増減は必ずしも水分量の変化に起因するものではない。
3. 一方、葉の生産量と気温の変化は似ており（図2）、因果推定法である Convergent Cross Mapping による解析では、6日間の時間差を考慮した葉数から気温に対する予測精度(cross map skill: 0.20)は、データ順を入替えたサロゲートデータに対する予測精度の95%分位点(0.18)よりも高く、気温が葉の生産を制御する可能性を示す。
4. フタバガキ科の一種である *Neobalanocarpus heimii* の50個体の苗木を用いた人工気象器による温度操作実験（湿度、光の強さ、灌水量は一定）では、低い生育温度（昼 27℃、夜 24℃）で栽培後、昼または夜の温度を 5℃ 高くすると、温度を高くした直後の葉の生産量が顕著に増加する（図3）。このことは、温度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要因のひとつであることを示しており、異なる気温条件で苗木を育てると成長量が変化することが予想される。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 長期間にわたる観察や環境を制御した条件下での成長量の測定が難しい熱帯樹木の成長制御機構の解明に資する実験手法として有用であり、温度による成長制御機構の理解は、温暖化が熱帯樹木の成長に与える影響評価に活用できる。
2. 気温の異なる複数の場所に苗畑を設置し、苗畑ごとの苗木の成長量を変化させ出荷時期を分散させることによって、適正サイズの苗木を安定供給するための方法として応用できる。
3. 本成果は、水分が十分に与えられた条件での苗木に対する温度の効果を明らかにしたものであり、乾燥条件下などその他の環境要因との相互作用についてはさらなる検討が必要である。

[具体的データ]



図1 苗畑観測システム

インターバル撮影が可能なデジタルカメラと気象測器を用いて、葉の生産のタイミングと気象データを取得する観測システムを開発。雨量の変化を排除するため、観測システムは透明なプラスチックシートで覆われている。

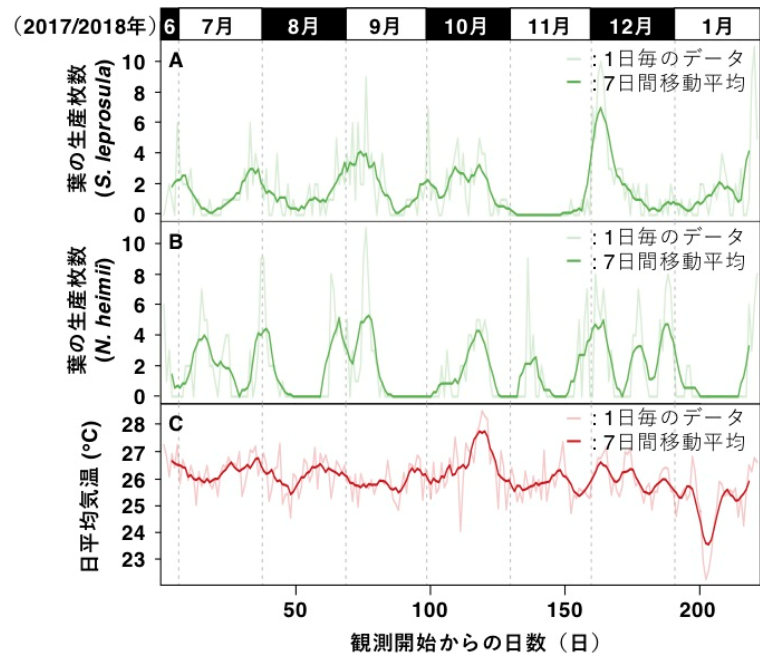


図2 苗畑観測システムにより得られた葉の生産量と温度の関係

フタバガキ科林業樹種である(A)*Shorea leprosula* と(B)*Neobalanocarpus heimii* のそれぞれの葉の生産枚数と(C)日平均気温。濃い線と薄い線はそれぞれ7日間の移動平均と1日毎のデータを示す。

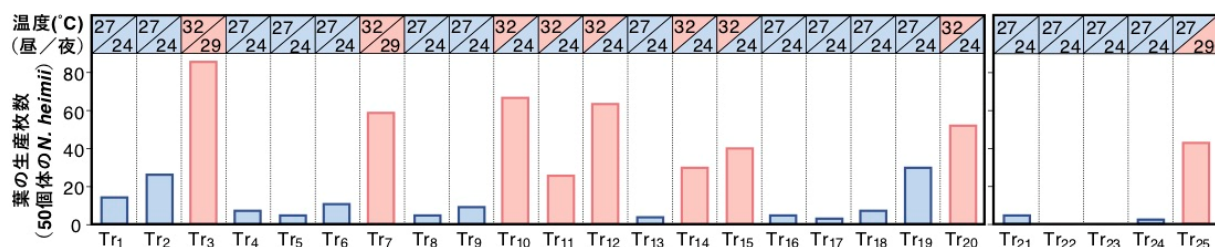


図3 温度と葉の生産量の関係を調べるために行なった人工気象器による温度操作実験の結果

各 Tr_x は、約3週間の期間を表す。Tr₂₁以降は同一個体を用い、別の期間に実験を行った。上と下に記された温度は昼（7時から19時）と夜（19時から7時）の温度を示し、水色は基準とする低い生育温度、ピンクは基準の温度よりも5°C高いことを表す。葉の生産量も、生育温度の高低に応じてピンクと水色で示す。

[その他]

研究課題：東南アジアの有用樹種を高付加価値化する熱帯林育成・保全技術開発

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金〔価値化林業〕

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：小林正樹・谷尚樹、Ng KKS・Lee SL・Muhammad N（マレーシア森林研究所）

発表論文等：Kobayashi M J et al. (2020) American Journal of Botany 107(11): 1491–1503

〔成果情報名〕 地上部バイオマスを広域推定するためのマングローブモデルの開発

〔要約〕 アジア地域に分布するマングローブのバイオマス(Y)は、衛星画像などから測定される森林高(X)と換算式 $Y = 2.25X^{1.81}$ から推定できる。マングローブが同程度の森林高の陸域熱帯林よりも著しく高いバイオマス量を有する要因は、胸高幹断面積の大きさによる。

〔キーワード〕 マングローブ、ブルーカーボン、炭素蓄積広域推定、アジア地域

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 林業領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

マングローブ（図1）は熱帯・亜熱帯の汽水域に発達する生態系であり、植物の成長にストレスを与える高塩分かつ嫌気的な環境でも育つ特殊な樹木群によって構成される。近年、その炭素蓄積能の高さに注目が集まり、マングローブはブルーカーボンと呼ばれる海洋生態系に蓄積される炭素プールの主要な構成要素となっている。マングローブの炭素蓄積能を評価するには広域マッピングによるバイオマスの把握が必要となる。森林生態系では、衛星や航空機に搭載したレーザー測距システム LiDAR によって森林高（森林の平均林冠高）をマッピングした後に、地上調査によって作成された換算式を適用してバイオマスを推定する手法が開発されているが、東・東南アジアのマングローブに特化したバイオマス換算モデルはない。そこでフィリピン、インドネシアおよび石垣島における調査結果に基づき、モデルの空白地帯であった東・東南アジアのマングローブに適用できるバイオマス換算モデルを開発する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 同程度の森林高を有する場合、マングローブは陸域熱帯林に比べて約 4 倍大きいバイオマス量を示す（図2）ことから、森林高からバイオマスを推定するためには、陸域熱帯林とは異なるマングローブモデルを適用する必要がある。
2. アジアのマングローブのバイオマス[Y (Mg/ha)] は、衛星や航空機による測定が可能な森林高[X (m)]から、 $Y = 2.25X^{1.81}$ ($R^2 = 0.66$)の換算式で推定できる（図2）。
3. 同程度のバイオマスを有する場合、マングローブの胸高断面積合計（調査区内に含まれる樹木個体の 1.3 m の高さにおける幹断面積の合計）は陸域熱帯林の約 2 倍（図3）、森林高は約 1/2 である（図2）。これは、同程度の森林高を有する場合、マングローブは陸域熱帯林よりも太い幹を持つ個体が密生している傾向によるものである。
4. 衛星や航空機に搭載したレーザー測距システム LiDAR による森林高の測定値を2の換算式にあてはめることで、アジアのマングローブバイオマスを広域的かつ面的に推定できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 開発したマングローブモデルによって、アジアにおけるマングローブのバイオマスを地図化することで、炭素蓄積機能の地域レベルや国レベルでの広域評価に活用できる。
2. 得られたマングローブモデルは、林冠が閉じている条件で成立するため、林冠が閉じていないマングローブ、矮性型のマングローブやニッパヤシなどに関しては異なる換算式の検討が必要である。
3. 地上部バイオマスが約 400 Mg/ha を超えるような、巨木によって構成されるマングローブでは、本モデルではバイオマスが過小評価される傾向がみられる。

[具体的データ]



図1 満潮時に冠水しているマングローブ
調査地の一つであるフィリピンのパナイ島にて撮影。

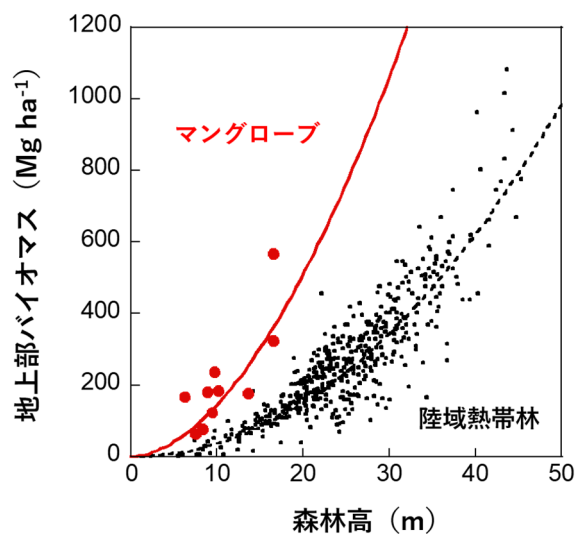


図2 森林高とバイオマスとの関係

赤丸と実線は本研究で測定したマングローブ、黒丸と破線は陸域熱帯林のデータとモデル式(Saatchi et al. 2011 in PNAS)。

マングローブモデル： $Y = 2.25X^{1.81}$ ($R^2 = 0.66$)、熱帯陸域森林モデル： $Y = 0.31X^{2.06}$ ($R^2 = 0.78$)。

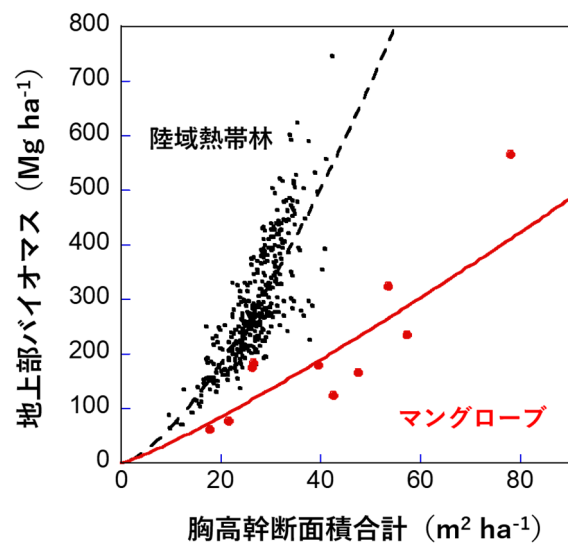


図3 胸高幹断面積合計とバイオマスの関係

赤丸と実線は本研究で測定したマングローブ、黒丸と破線は陸域熱帯林のデータとモデル式(Mitchard et al. 2014 in Global Ecol. Biogeogr.)。マングローブモデル： $Y = 2.63X^{1.16}$ ($R^2 = 0.75$)、熱帯陸域森林モデル： $Y = 2.31X^{1.46}$ ($R^2 = 0.66$)。

[その他]

研究課題：マングローブの資源量と動態観測および利活用

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：受託 [JST/JICA コーラル・トライアングルにおけるブルーカーボン生態系とその多面的サービスの包括的評価と保全戦略 SATREPS]

研究期間：2020年度（2018～2020年度）

研究担当者：諏訪鍊平、Rollon R・Albano MGG・Blanco CA（フィリピン大学）、Sharma S（マラヤ大学）、吉開仁哉・灘岡和夫（東京工業大学）、小野賢二（森林機構 森林総合研究所）、Adi SN・Ati NAR・Kusumaningtyas AM・Kepel LT（インドネシア海洋水産省）、Maliao JR・Primavera-Tirol HY（ア克兰州立大学）

発表論文等：Suwa et al. (2020). Estuarine, Coastal and Shelf Science.

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106937>

〔成果情報名〕 ウシエビ養殖初期に糸状緑藻と微小巻貝を摂餌させることで収益性が向上する

〔要約〕 ウシエビ養殖初期における補助的生餌料として、糸状緑藻（ジュズモ属の一種）を総消費餌料量の8%、微小巻貝（ミズゴマツボ属の一種）を同2%、人工飼料とともに摂餌させることにより、ウシエビ養殖の収益性が約1.5倍向上する。

〔キーワード〕 ウシエビ養殖、収益性向上、ジュズモ、ミズゴマツボ、混合養殖

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 水産領域

〔分類〕 研究

〔背景・ねらい〕

熱帯産クルマエビ類の集約的養殖は、開発途上にある熱帯諸国の重要な外貨獲得手段であるが、人工飼料の多給餌に伴う環境負荷や低品質飼料・飼料原料の高騰等による生産性・収益性の低下が問題となっている。一方、海藻類等を補助的生餌料として活用する混合養殖技術は、熱帯産クルマエビ類の成長並びに飼料効率を向上させる（平成27年度国際農林水産業研究成果情報「タイ産の高い塩分耐性を持つ新規ジュズモ属緑藻によるウシエビの生産性向上」）。本研究では、混合養殖技術の有用性を明らかにするため、タイ国キングモンクット工科大学ラカバンの大型コンクリート実験池（9m×9m×1.2m）を用いて、糸状緑藻ジュズモ属の一種と微小巻貝ミズゴマツボ属の一種を補助的生餌料としてウシエビを生産し、仲買業者に販売して収益性を検証する。

〔成果の内容・特徴〕

1. 稚エビ（体重2mg：全長9mm）に、市販の人工飼料に加えてコンクリート実験池内で増殖させたジュズモ(*Chaetomorpha* sp.)及びミズゴマツボ(*Stenothyra* sp.)を摂餌させると（図1）、15週間で市場サイズ（15g超）に成長する（図2、表1）。
2. ウシエビ養殖初期の1～2ヶ月間に、補助的生餌料として、ジュズモを総消費餌料量の8%、ミズゴマツボを同2%、それぞれ摂餌させた場合、対照区に比べてウシエビの生産性は33%、飼料効率は12%、収益性は46%向上する（表1）。
3. 飼育期間中の成長モニタリングにおいて、実験区では開始4週間後よりウシエビの成長に有意な差異が生じる（図3）。
4. 上記の結果より、ウシエビ養殖初期にジュズモとミズゴマツボを養殖池内で増殖させて補助的生餌料として摂餌させることにより、比較的容易にウシエビの初期成長を促進させ、生産性及び飼料効率、収益性を改善できる。

〔成果の活用面・留意点〕

1. ウシエビ以外のクルマエビ科の集約養殖にも活用できる可能性があり、熱帯産クルマエビ養殖業者の経営改善が期待できる。
2. ジュズモ、ミズゴマツボは飼育開始後1～2ヶ月で全て消費され、それ以降は人工飼料のみによるウシエビ集約養殖となる。これら両種をより長期に渡ってコンクリート実験池内で増殖させることにより、ウシエビのさらなる生産性・収益性向上が期待できる。

[具体的データ]

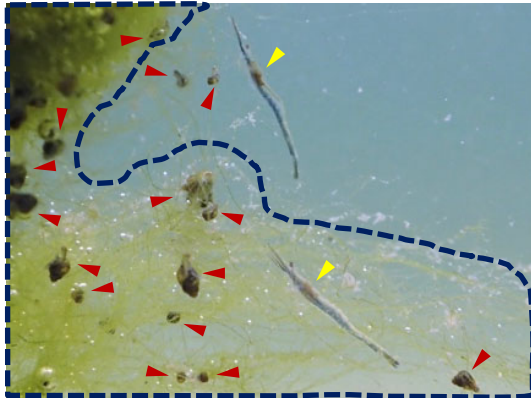


図1 放流直後のウシエビ（全長約9mm）（黄矢印）とジュズモ（紺枠）・ミズゴマツボ（赤矢印）



図2 実験により収穫されたウシエビと仲間買所での仕分け作業

表1 コンクリート実験池でのウシエビ養殖試験結果

	対照区	実験区
成長・生産性		
収穫時個体重量 (g WW)	16.0 ± 0.61	18.2 ± 1.07 *
収穫量 (kg WW)	33.0 ± 1.8	43.9 ± 0.5 *
摂餌量・飼料効率		
ジュズモ量 (kg WW)	—	6.81 ± 1.45
ミズゴマツボ量 (kg WW)	—	1.96 ± 0.05
人工飼料量 (kg WW)	61.0 ± 3.2	72.0 ± 3.8 *
飼料効率 (%)	54.1 ± 1.8	61.1 ± 4.0 *
コスト・収益性		
人工飼料費 (USD) (a)	83.55 ± 4.45	98.59 ± 5.24 *
諸雑費 (USD) (b)	—	12.11 ± 0.00
エビ販売価格 (USD) (c)	155.73 ± 10.27	215.97 ± 4.37 *
収益 (USD) (c-a-b)	72.18 ± 7.55	105.27 ± 3.02 *

平均値±標準偏差。同じ項目における*印は実験区間に有意な差異があることを示す(n=3) (t検定、 $p < 0.05$)。飼料効率は人工飼料あたりの増重量。諸雑費は増殖させる生餌料の収集に要した経費。WW：湿重量。

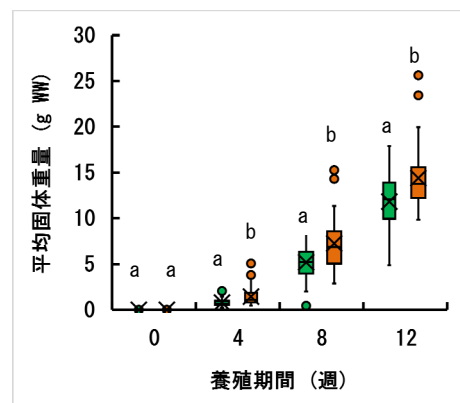


図3 対照区（緑）と実験区（橙）におけるウシエビの体重変化

同じサンプリング週における異なるアルファベットは実験区間に有意な差異があることを示す (Mann-Whitney U 検定、 $p < 0.05$ として繰り返し検定の多重性を Bonferroni 法で補正)。

[その他]

研究課題：熱帯域の生態系と調和した水産資源の持続的利用技術の開発

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [熱帯水産資源]

研究期間：2020 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：筒井功、Aue-umneoy D (KMITL)

発表論文等：Tsutsui et al. (2020) PLOS ONE, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244607>

〔成果情報名〕 ハイガイ養殖漁場管理のための簡便な生物指標の開発

〔要約〕 東南アジアで生産量が激減しているハイガイの養殖漁場を適切に管理するため、二枚貝の成育状態の指標である丸型指数及び肥満度をハイガイに活用できるよう改善し、ハイガイの成育状態及び漁場環境を簡便に評価するとともに、養殖漁場を管理するための科学的根拠を提案する。

〔キーワード〕 ハイガイ、養殖漁場管理、丸型指数、肥満度

〔所属〕 国際農林水産業研究センター 水産領域

〔分類〕 技術

〔背景・ねらい〕

アカガイの近縁種であるハイガイ *Tegillarca granosa* (図1) はミネラル・ビタミン等を多く含み、東南アジア住民の栄養バランスの観点からも非常に重要な水産資源である。しかしながら近年は沿岸環境の悪化に伴って生産量が激減しており、資源回復への対策及び適正な養殖漁場の管理が求められている。そこで、二枚貝の成育環境の指標となる丸型指数及び肥満度をハイガイに適用できるよう改善するとともに、現地で簡便に測定する手法を確立することにより、ハイガイ養殖漁場及び成育環境の適正評価を行う。また、評価結果に基づき、養殖漁場区域の変更や早期収穫などの適切な漁場管理を提言するための科学的根拠とする。

〔成果の内容・特徴〕

1. 同サイズの個体間での比較しかできなかったアサリ用の丸型指数（殻幅／殻長）に対して、アロメトリー式を利用してサイズ依存項を除去した修正丸型指数（図2A、式1）は、サイズに依存せずに二枚貝の成長の良否を比較できる。
2. 二枚貝の生理的状态の指標である肥満度（軟体部重量／全重量）の軟体部重量を（全重量－殻重量）に置き換え、殻重量は殻幅とのアロメトリー式から推定することにより、貝殻を開けず簡便に肥満度を推定できる（図2B、式2）。
3. ハイガイの修正丸型指数は漁場ごとに異なり（図3）、修正丸型指数と簡便な肥満度測定法は、マレー半島西海岸におけるハイガイ養殖漁場の環境評価に活用できる（図4）。同一漁場内において、修正丸型指数が増加するとハイガイの成長不良が進行中と解釈できるため、養殖漁場の場所替えが推奨される。一方、肥満度が減少すると、肉質部が痩せ始めていることが示唆されるため、早期の収穫が推奨される。

〔成果の活用面・留意点〕

1. 修正丸型指数及び肥満度は、ノギスと重量計で殻長・殻幅・全重量の3変数を計測するだけで簡単に計算できるため、養殖業者や水産局職員等が容易に活用でき、養殖漁場のモニタリングを実施できる。
2. 漁場環境の変化を早期に把握するためには、定期的にモニタリングを実施し、データを集約するシステム構築が重要である。
3. 修正丸型指数は死殻にも適用できるため、貝殻標本があれば過去の漁場環境についても推測することが可能である。

[具体的データ]

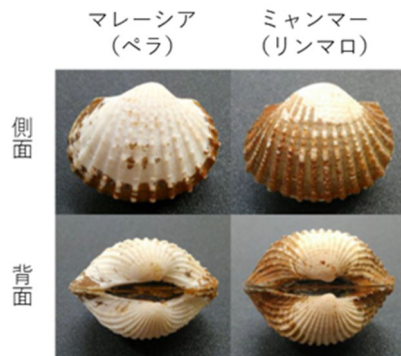


図1 ハイガイ (*Tegillarca granosa*) の産地による形態の違い

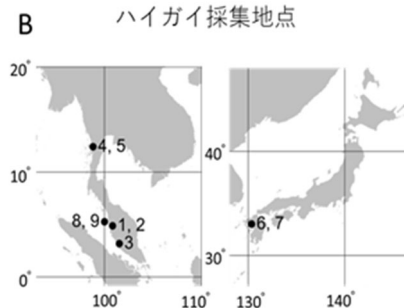
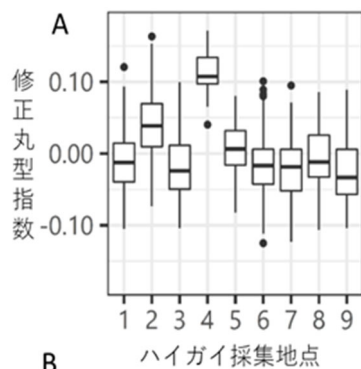
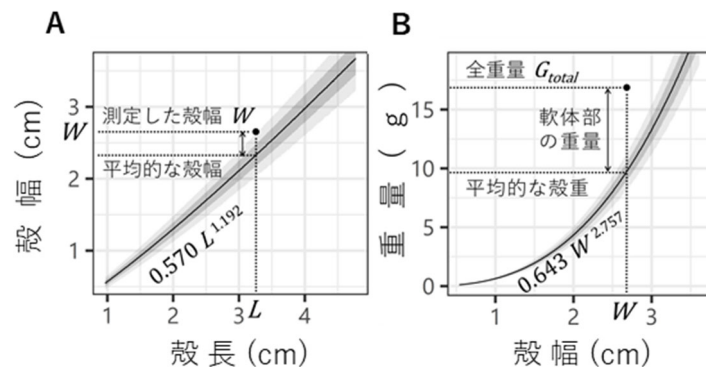


図3 ハイガイの海域別修正丸型指数 (A) とハイガイ採集地点 (B)



$$SI_{adj} = \frac{W - 0.570L^{1.192}}{L} \quad \dots (式1)$$

$$CF = \frac{G_{total} - 0.643W^{2.757}}{G_{total}} \quad \dots (式2)$$

SI_{adj} : 修正丸型指数、 W : 殻幅 (cm)、
 L : 殻長 (cm)、 CF : 肥満度、 G_{total} : 全重量 (g)

図2 ハイガイの成長の良否に関する改良指標と推定式
 (A) 修正丸型指数、(B) 推定肥満度

灰色は予測区間（濃灰：95%、淡灰：68%）

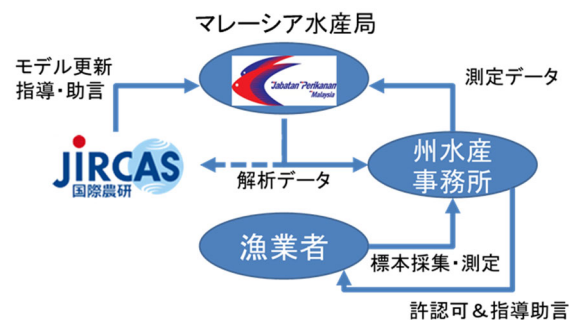


図4 マレーシアにおけるハイガイ漁場モニタリング及び漁場管理の想定図

[その他]

研究課題：熱帯域の生態系と調和した水産資源の持続的利用技術の開発

プログラム名：開発途上地域の地域資源等の活用と高付加価値化技術の開発

予算区分：交付金 [熱帯水産資源]

研究期間：2020年度（2016～2020年度）

研究担当者：齊藤肇（現水産研究・教育機構 水産技術研）、Teoh Hong Wooi（厦門大学マレーシア校）

発表論文等：Saito H and Teoh HW (2021) Malaysian Fisheries Journal, (印刷中)

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/>

