［成果情報名］**水稲の葉色に基づく施肥設計はメタン発酵消化液の肥料利用でも有効である**

［要約］ベトナムのメコンデルタにおける水稲栽培において、バイオガスダイジェスターのメタン発酵消化液を肥料利用する際に、安価な葉色板で測定・数値化できる葉色の変化から施用時期を決定することで、慣行レベルの子実収量を達成できる。

［キーワード］循環型農業、耕畜連携、窒素カスケード、バイオガス、水質汚染

［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］

ベトナムでは、家畜糞を原料とする小規模バイオガス生産とその家庭内利用が普及している。しかし、窒素等の植物栄養成分を多く含む廃液（メタン発酵消化液）が未処理のまま水系へ排出され、水質汚染等の環境問題を引き起こしている。そこで、消化液を現地の主要作物である水稲の肥料として利用することを提案する。その際の問題点として、農家が消化液中の窒素濃度を正確に把握できないために、適切な施用量や施用時期の決定が難しいことが挙げられる。施用量は試験紙を用いた窒素濃度の簡易測定等によって大まかに推定できるが、施用時期にはこの施用量の過不足を調整することが求められる。そこで、水稲の窒素要求の観点から、国際稲研究所(IRRI)が提供する安価な葉色板（LCC、図 1）を用いて、簡易に数値化できる葉色の変化から消化液の施用時期を決定する手法の有効性を、2 つの異なる作期のコンテナ水稲栽培試験（品種：OM5451）から検証する。

［成果の内容・特徴］

1. LCC 値がある閾値以下に低下する度に一定窒素量の牛糞由来の消化液を施用すると、設定する閾値が高いほど、葉色を濃く保つために、施用回数および総施用量が増加する（表 1、図 2）。
2. LCC 値と葉緑素量の指標である SPAD 値は、作期に関わらず同様の値や変動幅となり、両者の関係は 1 本の直線で表せる（図 3）。このことは、消化液の肥料利用においても、化学肥料の場合と同様に、葉色指標を求める際に高価な SPAD 計を使わずとも安価な LCC で代用可能であることを示唆する。
3. 籾収量と稲わら重量は、設定する LCC 閾値が高いほど増加するため、LCC 値に基づき消化液の施用時期を決定する手法は有効である。播種後 21～81 日目の平均 LCC 値と籾収量（水分 14%補正）との間には、異なる作期それぞれで正の直線関係がみられる（図 4）。現地カントー市での半透明屋根の網室でのコンテナ水稲栽培における、籾収量の観点から見た LCC 最適閾値は 3.75 である。

［成果の活用面・留意点］

1. LCC を用いた葉色測定に基づき消化液の施用時期を決定する手法を用いることで、化学肥料による慣行レベルと同等の子実収量を達成可能である。
2. 窒素を基準として消化液の施用量を決定する場合、消化液由来のリン酸やカリの施肥量は慣行の化学肥料の場合に比べて過不足になる可能性がある。
3. 籾収量の観点から見た LCC 最適閾値は、品種や栽培環境によって異なることが予想されるため、それぞれ決定する必要がある。
4. 化学肥料の場合に比べて消化液利用には労力やコストがかかるため、環境問題の解決という利用目的に鑑みて、政策的な支援等が必要である。

［具体的データ］

表 1 8 つの処理区における窒素施肥の方法と 2 回の実験での施用回数および総施用量(kg N ha^{-1})

処理区	施用方法	実験 1（主に乾季）	実験 2（主に雨季）
無窒素	窒素のみ無施用	0	0
消化液固定	慣行の施用時期に消化液を 3 回分施	150（30-50-70）	150（30-50-70）
消化液 2.75	LCC 値が 2.75 以下になる度に消化液で 60 kg N ha^{-1}	90（30-60）	90（30-60）
消化液 3.00	LCC 値が 3.00 以下になる度に消化液で 60 kg N ha^{-1}	90（30-60）	90（30-60）
消化液 3.25	LCC 値が 3.25 以下になる度に消化液で 60 kg N ha^{-1}	90（30-60）	90（30-60）
消化液 3.50	LCC 値が 3.50 以下になる度に消化液で 60 kg N ha^{-1}	150（30-60-60）	150（30-60-60）
消化液 3.75	LCC 値が 3.75 以下になる度に消化液で 60 kg N ha^{-1}	150（30-60-60）	210（30-60-60-60）
尿素 3.25	LCC 値が 3.25 以下になる度に尿素で 60 kg N ha^{-1}	150（30-60-60）	90（30-60）

無窒素区以外の 1 回目の窒素施肥は、播種後 10～11 日目に 30 kg N ha^{-1} で実施。

リン酸（すべての処理区）およびカリ（無窒素区と尿素 3.25 区のみ）は、慣行の施用時期に化成肥料で施用。

図 1 LCC 値の測定の様子

（写真提供：Ariel Javellana 氏、IRRI）

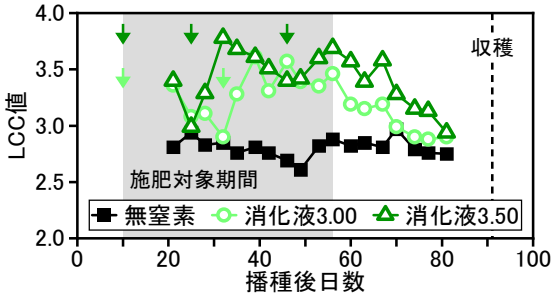


図 2 実験 2 における LCC 値の推移の例

矢印は施用時期を示す。

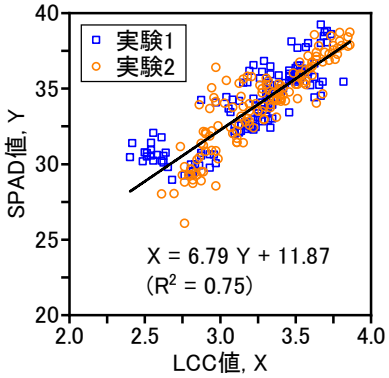


図 3 LCC 値と SPAD 値の関係

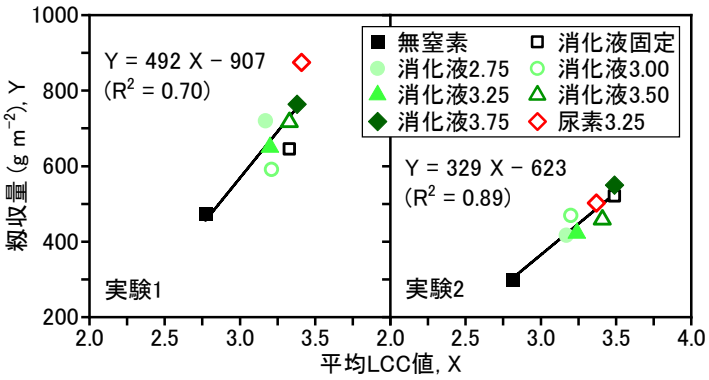


図 4 各実験における平均 LCC 値と籾収量の関係

［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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：南川和則、宝川靖和（農研機構 農環研）、Huynh CK・Tran SN・Nguyen HC（カント一大学）

発表論文等：Minamikawa K et al. (2020) Soil Science and Plant Nutrition, 66(1):225-234

［成果情報名］**酸素ナノバブル水による湛水水田土壌の高酸素化とメタン生成抑制**

［要約］ナノバブルとは直径 1 μm 以下の微小気泡で、水中に長期間存在できる。純酸素を材料ガスとするナノバブルを高密度に含む水を作成し、湛水状態の土壌カラムに上部から通水すると、土壌表面付近の浅層中の酸素濃度が上昇するとともに、メタン生成が抑えられる。

［キーワード］ウルトラファインバブル、気候変動緩和策、メタン、溶存酸素

［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］

水田は、強力な温室効果ガスであるメタンの主要な人為的排出源の一つである。このメタンは還元的な土壌中で微生物によって生成されるため、その排出削減には、土壌を酸化的にできる中干しや Alternate Wetting and Drying (AWD)等の水管理が有効である。しかし、水管理の実施には雨季の降雨や排水が困難な低地等の様々な制約があるため、湛水したままでも土壌を酸化的にできる候補技術として酸素ナノバブル水の潅水を提案した(Minamikawa et al. 2015)。そしてポットスケールでのイネ栽培実験において、メタンの直接排出量を 21%削減することに成功したが、酸素ナノバブル水の効果機序は未解明のままであった。そこで本研究は、メタン排出削減の原因が酸素ナノバブル水の潅水による湛水土壌の高酸素化であると仮説を立て、イネを栽培しない水田土壌カラム（図 1）を用いて週 2～3 回の手動潅水における通水実験を 3 回行い、仮説を検証する。

［成果の内容・特徴］

1. 市販の二層流旋回式の発生装置で作成する酸素ナノバブル水の物性は、平均粒子直径が 185 ± 57 nm（誤差は標準偏差）で、粒子密度は 7.0×10^7 mL^{-1} である。
2. 曝気した水道水（対照水）の場合、カラム表面水中の溶存酸素の初期濃度は、ほぼその温度における大気平衡濃度である。一方酸素ナノバブル水では、作成後数時間経過しているが、初期濃度が対照水の 1.5 倍程度となり、24 時間以内は対照水に比べ高く保たれる（図 2）。
3. 易分解性有機物量が異なる条件（実験 1：多、2：中、3：少）の同一水田土壌（灰色低地土）において、酸素ナノバブル水を 56 日間一定速度（1.73 cm day^{-1}）で通水すると、対照水に比べて排水中への積算溶存メタン排出量を 20～28%削減できる（図 3）。
4. 微小電極とマイクロマニピュレーターを用いて土壌表面付近の浅層中の溶存酸素プロファイルを 1 mm 間隔で測定すると、酸素ナノバブル水の通水の継続によって、実験 35 日目には深さ 4～15 mm において溶存酸素濃度が上昇する（図 4）。この観測結果は、メタン排出削減の原因が酸素ナノバブル水の通水による浅層土壌の高酸素化であることを示唆する。

［成果の活用面・留意点］

1. 本成果は、酸素ナノバブル水の圃場等の広域スケールでの利用に向けた基礎資料となる。
2. 酸素ナノバブル水の潅水頻度等を上げることで、さらなる土壌の高酸素化が期待できる。
3. 酸素ナノバブル水による土壌高酸素化の機序として、①溶存態として酸素が土壌中へ届くのか、②気泡のまま酸素が土壌中へ届くのか、③それとも両方なのか、が未解明であるため、今後の研究で明らかにする必要がある。

［具体的データ］

図 1 土壌カラム実験装置
ポンプによって一定速度で排水される。

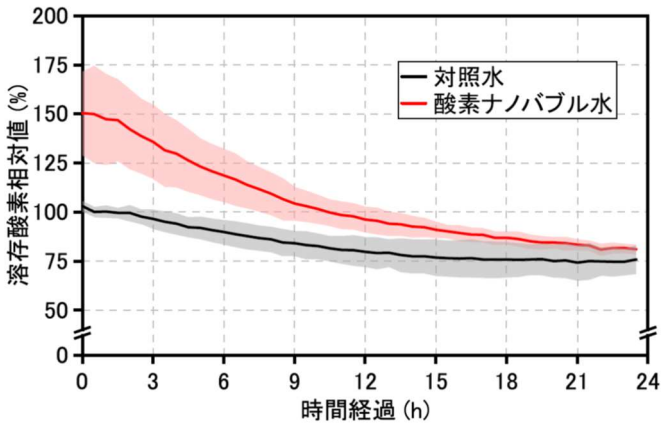


図 2 実験 2 の表面水中の溶存酸素の推移
任意の水温における溶存酸素の大気平衡濃度を 100 とする相対値。実線は 4 回計測の平均値、帯は標準偏差を示す。

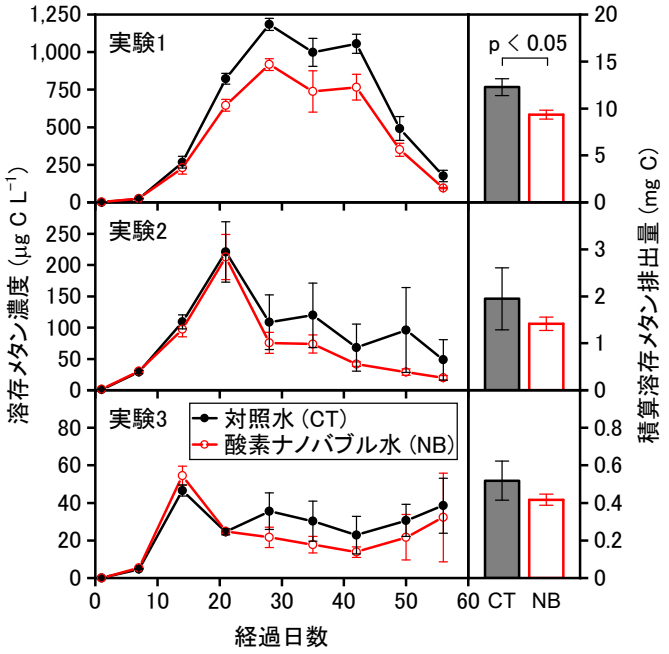


図 3 各実験における溶存メタン濃度の推移（左）と積算排出量（右）
エラーバーは標準誤差(n = 3)を示す。

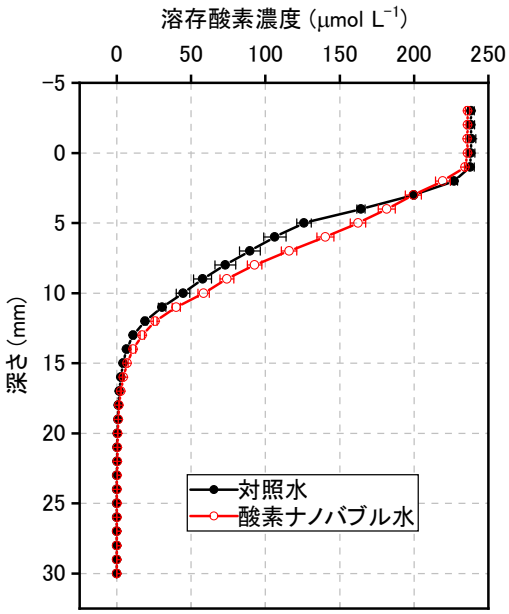


図 4 実験 2 の 35 日目の土壌浅層における溶存酸素プロファイル
エラーバーは標準誤差(n = 3)を示す。

［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：科研費［若手研究(B)］
研究期間：2019 年度（2016～2018 年度）
研究担当者：南川和則、牧野知之（東北大学）
発表論文等：Minamikawa K and Makino T (2020) Science of the Total Environment, 709:136323

［成果情報名］**エチオピア高原の小流域流末のため池堆砂を利用した農地造成**

［要約］エチオピア高原の小流域の流末に位置するため池では、堆砂による取水機能の低下が進行している。ため池堆砂を除去・運搬し、農地造成用土として用いる。ため池の堆砂量と利用可能水量を推定し、農地造成計画を樹立できる。

［キーワード］エチオピア高原、ため池堆砂、水収支、農地造成、小流域

［所属］国際農林水産業研究センター　農村開発領域

［分類］技術

［背景・ねらい］

サブサハラ地域東部のエチオピア高原は半乾燥地で、地形の起伏や傾斜が激しいため、雨期の降雨が深刻な土壌侵食をもたらす。エチオピア国ティグライ州に分布する小流域には、畜産・生活・灌漑用水を供給するために計 92 カ所のため池が設置されたが、それらの半数以上でガリ侵食に起因する堆砂が発生しており(Berhane et al. 2016)、水の利用量が減少している。堆砂の蓄積は、ため池の利用目的である灌漑用水の供給と作物栽培にとって深刻な問題となることが懸念される。ため池堆砂の除去は喫緊に取り組むべき課題だが、堆砂の処理が困難なため、放置されている。本研究では、この地域の小流域にある典型的なため池の貯留量と堆砂量の推定を行い、農地造成用土としての堆砂の活用を試みる。

［成果の内容・特徴］

1. アディザボイため池は、急傾斜なアディザボイ小流域（約 8.5 km^2）の流末に位置する。この小流域の降雨量等の気象条件とため池水深の自動観測を行う。ため池の貯留量変化を 1 年間で 0 と仮定し、ため池の水収支から造成農地の潜在的利用可能水量を算定する（図 1)。
2. 水面のボートの上から発信した音波によって短期間で堆砂量が推定できる、新しいバスメトリックサーベイ（ため池の底地の地形調査）法を適用する。比較的堆砂が少ないため池水面周囲の座標を、異なる水深で観測する（図 2 上)。測定した堆砂表面と、推定したため池現況底地面との間の堆砂量（図 2 下）を計算する。
3. 農閑期でため池に貯水がない乾期の終わりに、ため池右岸の荒地を整地し、人力掘削（14 人日）と畜力利用によりため池堆砂を運搬する。石積みによる土留めや堆砂の敷き均しを行い、農地（約 322 m^2）を造成する（図 3)。

［成果の活用面・留意点］

1. 造成農地は村の管理地とし、村内の若い土地なし農民などの就農機会をつくるため、営農グループに対して無料で提供される。市場価値の高い野菜栽培を行うことで農家の現金収入源が生まれ、住民の生活向上が期待できる。造成後 1 年目の農地で栽培したタマネギの収量は 11.93 t/ha であり、全国平均（10.38 t/ha）とほぼ同じである。
2. 造成農地はため池の満水位より高い位置に施工される。乾期野菜栽培を行う場合、造成農地内の高い場所に灌漑用水確保のためのファームポンドの設置が必要となる。
3. 本技術を普及するためには、地方政府、大学、住民と連携し、場所の選定、土工、及び付帯施設の施工等において、参加者の経験・知識を活かす取り組みが実用的と思慮される。
4. ため池堆砂量を推定する本手法は、設計・施工データの記録が残っていないため池にも適用できる。

［具体的データ］

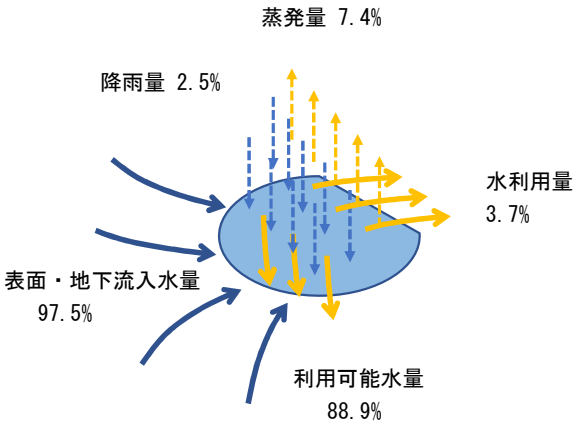
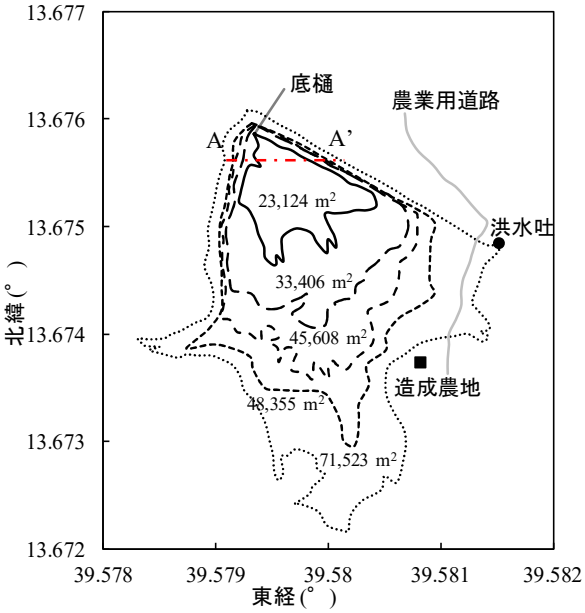


図 1 アディザボイため池の水収支

ため池貯留量は 20 万 m^3 である。基盤岩中の漏水量、堤体からの漏水・洪水量、及び下流の湧水量を潜在的な利用可能水量とする。流出係数はハイドログラフから算定する。

図 3 アディザボイため池の堆砂による造成農地

上：造成前、下：造成後



凡例

——：2017 年 5 月　— — ·：2017 年 3 月

- - - -：2017 年 11 月　------：2016 年 12 月

·····：2016 年 9 月

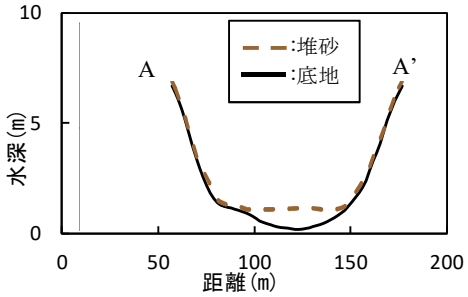


図 2 アディザボイため池の貯水域の変化及び断面図　上：貯水域の変化図　下：断面図

上図の数字は貯水域の面積を示す。下図の水深は底樋取水口の下端を 0 m としている。

アディザボイため池の堆砂量は 6,400 m^3 と推定される。農地造成の厚さを 0.2 m とした場合、造成可能な農地面積は 3.2 ha である。底樋が埋没し機能しなくなる前に、一部の堆砂を除去して造成に使用するだけでも効果が見込まれる。

［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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：幸田和久、Girmay G・Berihu T（メケレ大学）

発表論文等：1) Koda K et al. (2019) Sustainability, 11(7):2038

2) Koda K et al. (2019) Ch.9 of Climate Smart Agriculture, World Agroforestry

［成果情報名］**土壌改良資材のナノ加工による施用効果の向上**

［要約］石灰をナノ加工することで、土壌下方への移動が容易になる。リン鉱石をナノ加工し、酸性土壌にヘクタールあたり 1,000 kg 施用することによって、土壌酸度が矯正されるとともに、植物体にリンが吸収され、植物の生育が良くなる。

［キーワード］リン鉱石、石灰、ナノ加工、酸性土壌、有効態リン、交換性アルミニウム

［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］

世界の熱帯地域の 43%を占める酸性土壌では、土壌の酸性が有効態リン、カルシウムの低下やアルミニウム等の毒性を引き起こす原因となり、農業生産上の深刻な問題となっている。低リン土壌の改善や酸度矯正のため通常、リン酸肥料や石灰が施用されるが、価格の上昇や肥効上の問題等があり、代替資材の開発や資材の改良が望まれている。リン鉱石はアフリカ等発展途上国を含む全世界に分布し、安価で入手可能なリン資源であり、含まれる石灰分による酸度矯正効果も期待されるが、水への可溶化率が低く実用的でない。石灰は土質、水分の有無等を問わず難移動性で、土壌表層から年間数 cm しか下方移動しない(Caires et al., 2005)ため、下層土の酸度を矯正するためには、鋤き込み作業が必ず必要になる。これらの問題を解決するため、肥料等資材のサイズをできるだけ小さくすることが有効であることが示唆、提案されている(Devinita et al., 2018, Liu and Lal 2015)。

ナノ加工技術は物質のサイズをナノレベルまで小さくすることができるため、とりわけ不耕起条件での物質の土壌表層からの下方移動を容易にし、また物質の表面積を増やすことによって土壌や土壌水等との化学反応を促進することが期待される。そこで石灰やリン鉱石をナノ加工（図 1）することにより、酸度矯正機能やリン酸肥料としての施肥効率の改善・向上を目指す。

［成果の内容・特徴］

1. 酸性土壌（石垣島産の国頭マージ）を詰めたカラム試験において、ナノ加工した石灰は表層施用後速やか（40 日）に土壌の下方（10～20 cm）へ移動する。
2. 移動したナノ加工石灰は、少量（40～80 kg ha^{-1}）で酸性土壌の pH を矯正するとともにアルミニウム毒性を緩和する（図 2）。
3. ブルキナファソ産のリン鉱石をナノ加工（図 1）することにより、鉱石中のクエン酸可溶リン（2%クエン酸抽出）が 6%から 22%に改善される。
4. ナノ加工リン鉱石を酸性土壌へ施用することにより、酸度が矯正され、有効態リンが増加するなど、作物にとってより良い生育環境となる（図 3）
5. 1,000 kg ha^{-1} (120 kg P ha^{-1})のナノ加工リン鉱石を施用した時に、アルカリ性土壌を好むホウレンソウで十分な生育が得られる（図 4）。

［成果の活用面・留意点］

1. 本研究はブルキナファソ産リン鉱石を用い、石垣島産の国頭マージ土壌に施用して得られた成果であり、別の鉱床から得られたリン鉱石や異なる土壌を用いる場合は別途、成分分析や植物への施用効果に関する試験を行う必要がある。
2. リン鉱石を実際の農業現場へ適用する際、ナノ加工リン鉱石の連続施用効果、石灰や過リン酸石灰との経済性比較などについて、現場の栽培・環境条件で検討を行う必要がある。

［具体的データ］

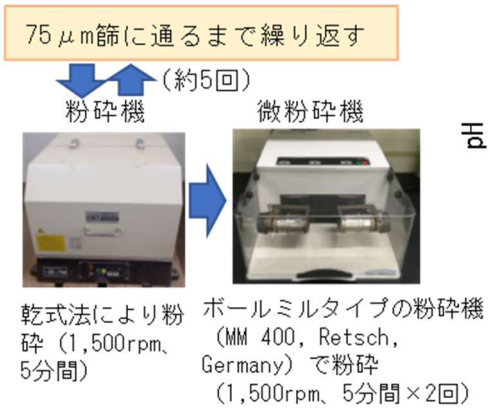


図 1 ナノ加工の工程

ブルキナファソ産リン鉱石を使用

100 nm 程度まで加工が可能

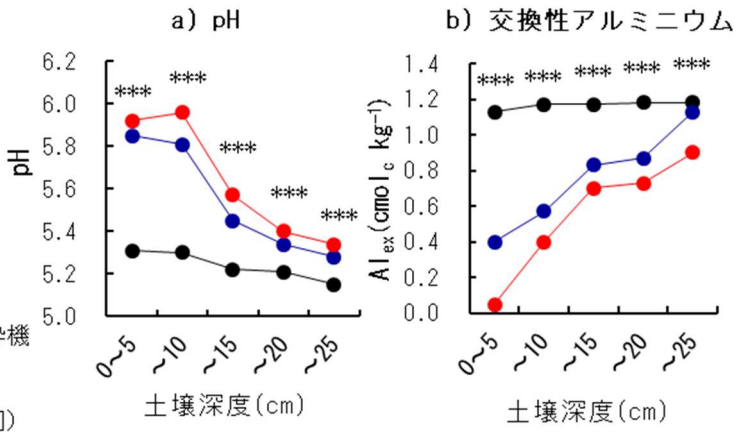


図 2 ナノ加工石灰の移動に伴う土壌化学成分の変化

ナノ加工石灰施用 40 日後の結果。***; p<0.001 (ANOVA)。

植物に対するアルミニウム毒性の閾値；0.56 $cmol_c$ kg^{-1}

0 kg ha^{-1}　8 kg ha^{-1}　80 kg ha^{-1}

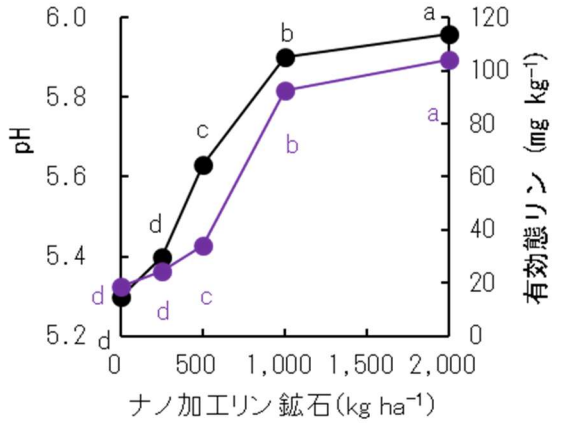


図 3 ナノ加工リン鉱石施用による土壌化学成分の変化

ナノ加工リン鉱石 70 日後（ホウレンソウ播種前 21 日間培養＋播種後 49 日）の結果。各成分の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（Tukey HSD 法）。 pH　有効態リン

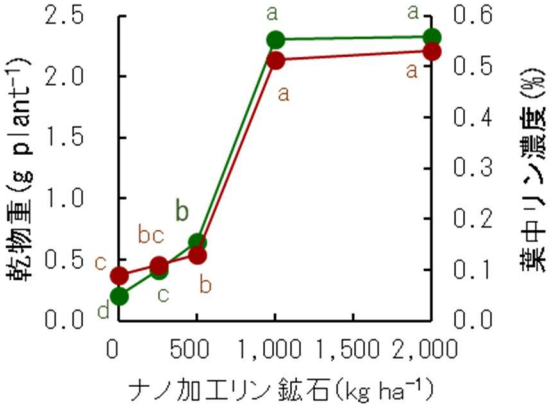


図 4 ナノ加工リン鉱石施用がホウレンソウの生育に及ぼす影響

ナノ加工リン鉱石施用 70 日後（ホウレンソウ播種前 21 日間培養＋播種後 49 日）の結果。各成分の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（Tukey HSD 法）。 乾物重　葉中リン濃度

［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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：大前英、Abd El-Halim AA（タンタ大学）

発表論文等：Abd El-Halim AA and Omae H (2019) Soil Science and Plant Nutrition, 65(4):386-392

Abd El-Halim AA and Omae H (2019) Soil Use and Management, 35:683-690

［成果情報名］**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**

［要約］ソルガムが根から分泌する難水溶性の硝化抑制物質であるソルゴレオンは、生育とともに下層土に向かって新生される根から分泌され、分泌量には系統間差がある。ソルゴレオンの分泌量が多い系統の根圏土壌では、硝化活性とアンモニア酸化古細菌数がともに低下することから、ソルガムの生物的硝化抑制にはアンモニア酸化古細菌数の抑制が関連している。

［キーワード］ソルガム、ソルゴレオン、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］

窒素肥料の多施用による農耕地での高い硝化活性は、強力な温室効果ガスである一酸化二窒素(N_2O)の放出による地球温暖化、硝酸態窒素の漏出による水環境汚染の大きな原因であり、また施肥窒素の利用効率を低下させて作物収量の減少をもたらす。作物自身が土壌の硝化（硝酸化成）を抑制して窒素吸収量を増加させる生物的硝化抑制(BNI)は、上記の問題を耕種的に解決に貢献する技術として注目されている。穀物として世界第 5 位の生産面積を持つソルガムは、難水溶性の硝化抑制物質ソルゴレオンを根から分泌し BNI 能を示す。本研究では、ソルガム系統の根からのソルゴレオン分泌量と分泌位置および根圏土壌での土壌微生物群集との関連性を明らかにする。

［成果の内容・特徴］

1. ソルガムのパイプ栽培試験（図 1）において、ソルゴレオン分泌量はソルガム系統により異なり、296B が最も少なく、続いて IS32234、IS20205 の順で多い（図 2）。また、ソルゴレオン分泌量は生育とともに下層に向かって新しく伸びる新生根領域で増加する。
2. 窒素肥料(120 kg N ha^{-1})を硫酸アンモニウム溶液として表土面より施用すると、上記の 3 系統ともに 0～10 cm の土壌層の硝化活性が大きく高まるが、それより下層では低い状態が維持される（図 3）。0～10 cm の土壌層の硝化活性はソルガム系統により異なり、296B が最も高く、続いて IS32234、IS20205 の順で低くなり、上記のソルゴレオン分泌量と逆である。これらは、ソルゴレオンがソルガムの BNI 能の発揮に重要な役割をもつことを裏づける。
3. 0～10 cm の土壌層でのアンモニア酸化細菌(AOB)とアンモニア酸化古細菌(AOA)の菌数を、定量的 PCR(qPCR)で求めたアンモニア酸化酵素のアンモニアモノオキシゲナーゼ α サブユニット遺伝子(*amoA*)存在量で評価し、ソルガムの 3 系統間で比較すると、AOA 数はソルゴレオン分泌量と反比例の関係にあり、硝化活性とは比例関係にある。一方、AOB 数の変動はみられない（図 4）。このことから、ソルガム根圏土壌での硝化抑制には、ソルガムが根から分泌するソルゴレオンが作用し、*amoA* をもつ微生物のうち AOA が抑制されることが関連する。

［成果の活用面・留意点］

1. ソルガムの BNI 能の発揮には AOA の抑制が大きく関与することから、他の植物の BNI に関しても AOB だけでなく AOA にも着目して研究を実施すべきである。
2. 土壌 pH、水分量、有機態および無機態の窒素量などの他の要因もソルガムの BNI 能の発揮に影響していることに留意する必要がある。
3. 本研究で適用したパイプ栽培試験は、BNI において重要な根と根圏域の土壌を深さ別に分別し、収率よくサンプリングできることから、他の植物の BNI 研究にも有用である。

［具体的データ］

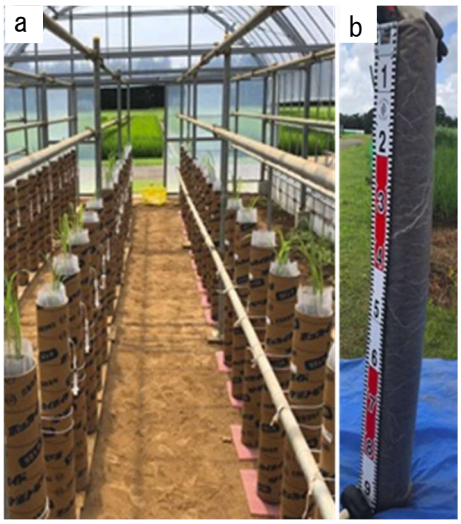


図 1 ビニールハウス内でのソルガムのパイプ栽培試験状況
播種後 31 日目(a)とパイプを外した土壌柱(b)

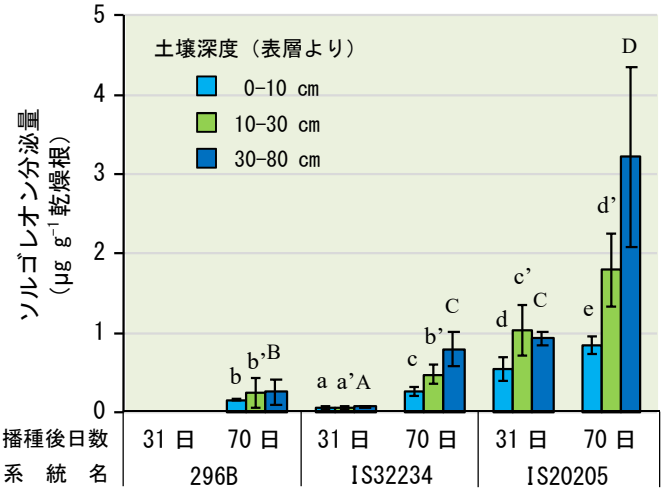


図 2 窒素肥料施用下で栽培したソルガムの根からの土壌深度ごとのソルゴレオン分泌量
図内のバーは標準偏差を、文字は土壌深度ごとでの有意差があることを示す（同一文字の場合は有意差なし）。

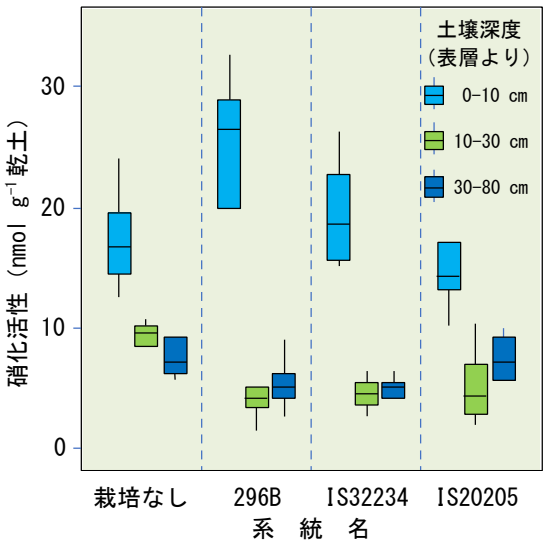


図 3 窒素肥料施用下で播種後 70 日間栽培したソルガム根圏土壌の深度ごとの硝化活性
図内の箱は四分位範囲、バーは最大・最小を示す。10 cm 以深の層は施用アンモニウムが少ないため、硝化活性が上がらず、ソルゴレオンの影響が現れない。

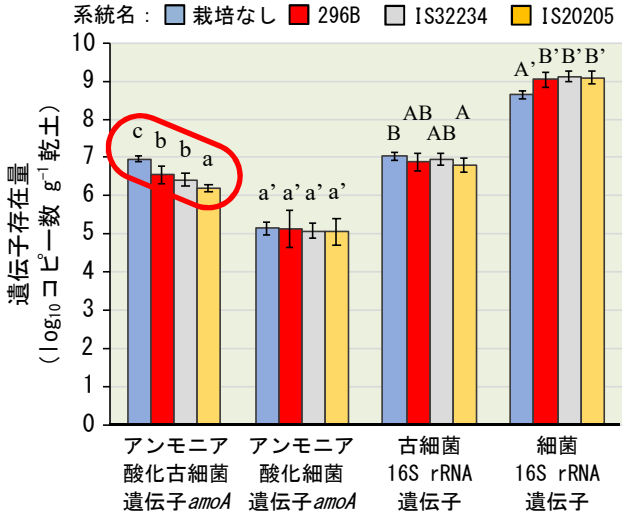


図 4 窒素肥料施用下で播種後 70 日間栽培したソルガム根圏土壌（深度 0～10 cm）中の各菌の遺伝子存在量
amoA：アンモニアモノオキシゲナーゼ α サブユニット遺伝子。図内のバーは標準偏差を、文字は遺伝子ごとの有意差を示す（同一文字の場合は有意差なし）。10 cm 以深の遺伝子存在量もこれと同様の傾向を示す。

［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：2019 年度（2016～2020 年度）
研究担当者：Sarr PS・安藤康雄・中村智史・Subbarao GV、Deshpande S（国際半乾燥熱帯作物研究所）
発表論文等：Sarr PS et al. (2019) Biology and Fertility of Soils, 56(2):145-166

［成果情報名］**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**

［要約］アフリカ産低品位リン鉱石の肥料化においてアルカリを加えた焼成処理が有効であるが、炭酸ナトリウムに代えて炭酸カリウムを添加することで土壌中のナトリウム集積を回避でき、肥料化が可能である。炭酸カリウム添加焼成物の施用効果は、市販の肥料である重過リン酸石灰と同等である。

［キーワード］焼成、ブルキナファソ、肥料、炭酸カリウム、クエン酸可溶性リン酸

［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］

アフリカに多く分布する低品位リン鉱石は、溶解度が低く十分に利用されていない。リン資源の枯渇が叫ばれる中、これらの低品位リン鉱石の利用拡大が期待されている。これまでにブルキナファソ産低品位リン鉱石を対象として焼成による可溶化技術を開発し、平成 28 年度国際農林水産業研究成果情報 A03「アフリカ産低品位リン鉱石は焼成処理で可溶化され高い肥効を示す」を公表した。しかし当該焼成法による可溶化では、副資材として添加する炭酸ナトリウムが土壌に集積することで、作物生育を阻害する可能性が指摘された。そこで当該焼成法の改良法として、炭酸ナトリウムの代替資材として炭酸カリウムを用いて、焼成によるブルキナファソ産低品位リン鉱石の可溶性の向上ならびにその施用効果を明らかにする。

［成果の内容・特徴］

1. 焼成処理は、炭酸カリウムを焼成物の K_2O 含量が 20、30、35、40%となるように配合し、900°C、950°C、1,000°C、1,100°C でそれぞれ焼成する（図 1）。
2. いずれの温度条件においても、炭酸カリウム添加量の増加に伴い、2%クエン酸可溶性ならびに水溶性が増加し、2%クエン酸可溶性は最大で 100%、水溶性は最大で 38%を示す（図 1）。
3. 炭酸カリウム添加焼成物（1,100°C＋40%K_2O の条件で得られた焼成物 : CBk, 2%クエン酸可溶性は 100%、水溶性は 28%)の施用効果を検証するため、イネおよびトウモロコシを対象にリン酸欠乏土壌を充填したポット試験で検証した結果、CBk の施用は、1/5,000 a ワグネルポットあたり 1 g P_2O_5 までの施用水準において、イネでは有意差は無いものの重過リン酸石灰に比べ施用効果が若干劣るが、トウモロコシでは重過リン酸石灰と同程度の施用効果を示す（図 2）。
4. 焼成時に添加する副資材を炭酸ナトリウムから炭酸カリウムに変更したことにより、土壌中のナトリウム集積が回避され、重過リン酸石灰と同程度のリン酸肥沃度を示す（表 1）。
5. 低品位リン鉱石の焼成は、ブルキナファソに導入した太陽光発電をエネルギー源とする外熱式 U ターンキルンによって実施できる（図 3）

［成果の活用面・留意点］

1. リン鉱石の炭酸カリウム添加焼成物は、リン酸だけでなくカリウムとカルシウムの施用効果が期待できる。
2. 本焼成法はブルキナファソ産リン鉱石を対象としているが、他のアフリカ産低品位リン鉱石の可溶化にも応用可能であると考えられる。
3. 炭酸カリウム添加焼成物はアルカリ性を示すため、酸性土壌の酸度矯正に寄与できる可能性がある。
4. 本焼成法で得られる焼成物はクエン酸可溶性リン酸肥料であり、緩効性肥料として利用する。

［具体的データ］

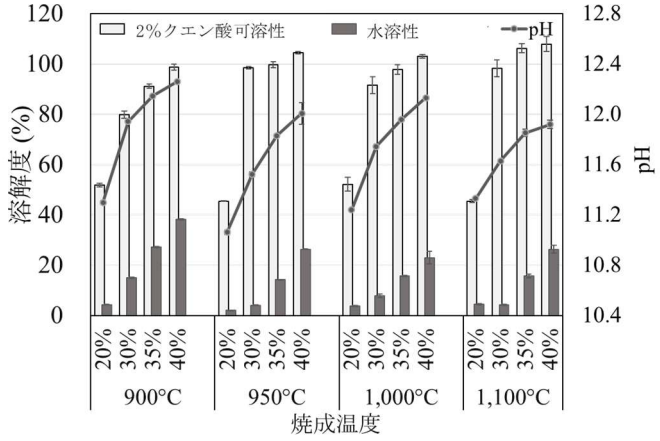


図１ 炭酸カリウム添加焼成におけるカリウム配合比と焼成温度が焼成物の溶解度および pH におよぼす影響

エラーバーは標準誤差 (n =3)、なお未焼成のリン鉱石の 2%クエン酸可溶性は 31.1%、水溶性は 0.2%である。

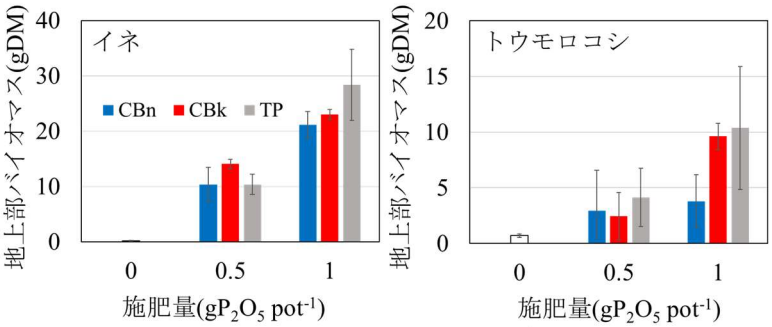


図２ 炭酸ナトリウム添加焼成物および炭酸カリウム添加焼成物の施用効果 左）イネ、右） トウモロコシ

エラーバーは 95%信頼区間 (n =3)、 CBn: 炭酸ナトリウム添加焼成物、CBk: 炭酸カリウム添加焼成物、TP:重過リン酸石灰

図 3 焼成処理に利用する外熱式Ｕターンキルン

（ブルキナファソ、INERA-カンボアンセ支所）

表１ 各種リン酸肥料施用後の土壌化学性の違い

作物/土壌水分条件	肥料	pH		EC		有効態リン Bray I		Bray II		交換性塩基 Ca		Mg		K		Na	
				mS m^{-1}		mgP kg^{-1}				cmolc kg^{-1}							
イネ/湛水条件	None	5.84	c	108	c	0.08	b	6.39	d	3.31	c	0.70	bc	0.28	b	0.15	c
	BP	5.72	c	110	c	0.16	b	107	c	3.18	c	0.64	c	0.24	b	0.16	c
	CBk	6.45	a	183	a	6.34	a	141	a	10.2	a	0.78	b	6.67	a	0.28	a
	TP	6.10	b	141	b	4.94	a	117	b	5.42	b	1.09	a	0.47	b	0.24	b
トウモロコシ/畑地条件	None	5.85	a	114	b	0.09	b	6.77	c	3.39	c	0.69	b	0.3	b	0.14	c
	BP	5.70	a	123	b	0.17	b	96.1	b	3.56	c	0.69	b	0.33	b	0.15	c
	CBk	5.97	a	189	a	5.81	a	158	a	9.36	a	0.73	b	6.39	a	0.21	b
	TP	6.28	a	168	a	5.69	a	107	b	5.90	b	1.11	a	0.49	b	0.24	a

None:無施用、BP：ブルキナファソ産リン鉱石、CBk：炭酸カリウム添加焼成物、TP：重過リン酸石灰
Bray I および Bray II はそれぞれ、土壌有効態リン抽出法のうち Bray I 法および Bray II 法により抽出される有効態リン量を示す。異なるアルファベットは Tukey HSD 法により有意差(p<0.05)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［SATREPS ブルキナ］

研究期間：2019 年度（2016～2021 年度）

研究担当者：中村智史・南雲不二男、神田隆志（農研機構 環境変動セ）、今井敏夫（太平洋セメント株式会社）、Sawadogo J (INERA)

発表論文等：Nakamura S et al. (2019) Soil Science and Plant Nutrition, 65(3):267-273.

［成果情報名］**イネ生育に対する土壌のリン供給能は室内分光スペクトルから迅速に推定できる**

［要約］土壌サンプルの室内分光計測で得られた分光反射スペクトルを用いて、土壌からイネへのリン供給能の指標となる酸性シュウ酸塩抽出リン含量を迅速に推定できる。空間変動の大きいマダガスカルの水田や畑のリン供給能の迅速評価に利用できる。

［キーワード］土壌診断、分光スペクトル、PLS 回帰、酸性シュウ酸塩抽出リン
［所属］生産環境・畜産領域、社会科学領域
［分類］研究

［背景・ねらい］

リンを強く吸着する鉄酸化物に富む土壌が卓越する熱帯農業生態系において、その低いリン供給能は作物生産を制限する最大の要因である。したがって、生産性向上のための効率的な肥培管理の実現には、生産農家の水田や畑の土壌が持つリン供給能の把握が必要である。そのために、土壌中のリン含量の迅速評価法の確立が求められているが、これまでにリン含量を高い精度で迅速に推定できる手法は確立されていない。そこで、これまでの研究からマダガスカル中央高地の水田や畑においてイネへのリン供給能の指標として有効であることがわかっている土壌の酸性シュウ酸塩抽出リン含量について、その分光スペクトルによる迅速診断法の開発を目指し、高い精度で迅速に推定するモデルの開発と分光波長域を明らかにする。

［成果の内容・特徴］

1. マダガスカル中央高地に分布する水田や畑の表層土壌（深さ 0–15 cm、51 地点）の酸性シュウ酸塩抽出リン含量は、広域だけでなく近接する圃場間でもばらつきがみられることから（図 1：変動係数はそれぞれ 0.85 と 0.45）、圃場ごとのリン供給能を把握するための多点分析を可能にする迅速評価法の確立が必要である。
2. 携帯型分光放射計(FieldSpec, ASD Inc.)を用いて、上記土壌を対象に、可視・近赤外領域(400–2400 nm)の分光反射スペクトルを暗室内で測定後、一次微分処理を加える。次いで遺伝的アルゴリズム（生命の進化を模した機械学習の一種）による波長選択法を組み込んだ部分的最小二乗回帰（PLS 回帰）を行う。この PLS モデルにより、酸性シュウ酸塩抽出リン含量を高い精度と再現性で、迅速に推定できる（図 2、図 3；測定時間は 1 サンプルにつき約 1 分）。
3. 土壌中の鉄酸化物や有機物などに関連する波長が、酸性シュウ酸塩抽出リン含量の推定に強く関連する（図 3）。

［成果の活用面・留意点］

1. イネ生産におけるリン供給能の指標となり、空間変動の大きい酸性シュウ酸塩抽出リン含量を、化学分析を経ずに迅速に推定できるため、生産農家は所有する水田や畑のリン欠乏程度を把握し、適切な施肥管理を行うための基礎情報として活用できる。
2. 携帯型分光放射計は高額であるため、測定には研究機関の協力が必要である。将来的には、特定波長のみを用いた安価な機器による測定法を開発する必要がある。
3. 土壌の pH が高く、カルシウムと結合したリンが多い土壌や、粘土含量の少ない砂質土壌については、同様の結果が得られるか検証する必要がある。

［具体的データ］

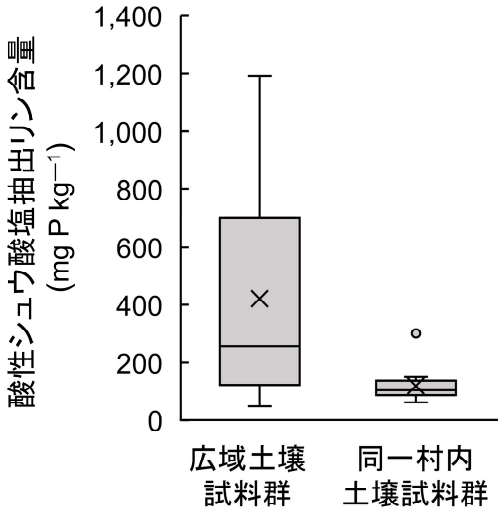


図 1 酸性シュウ酸塩抽出リン含量の空間変動

左はマダガスカル中央高地の半径約 100 km 内に散在する広域の圃場から採取した土壌試料(n=35)、右は同一村内の圃場から採取した土壌試料(n=16)の酸性シュウ酸塩抽出リン含量の箱ひげ図(Nishigaki et al., 2019)。

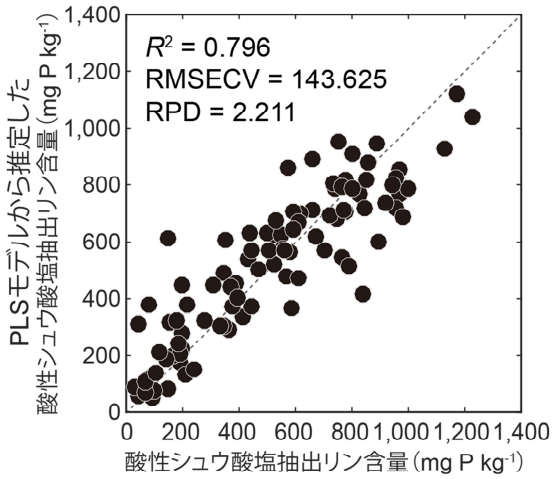


図 2 酸性シュウ酸塩抽出リン含量の実測値と PLS モデルによる推定値の関係

RMSECV:クロスバリデーションによる二乗平均平方根誤差。

RPD: 回帰モデルの再現性の判定指標。判定基準 RPD =1.71–2.42 : スクリーニング可能(Kawamura et al., 2019)。

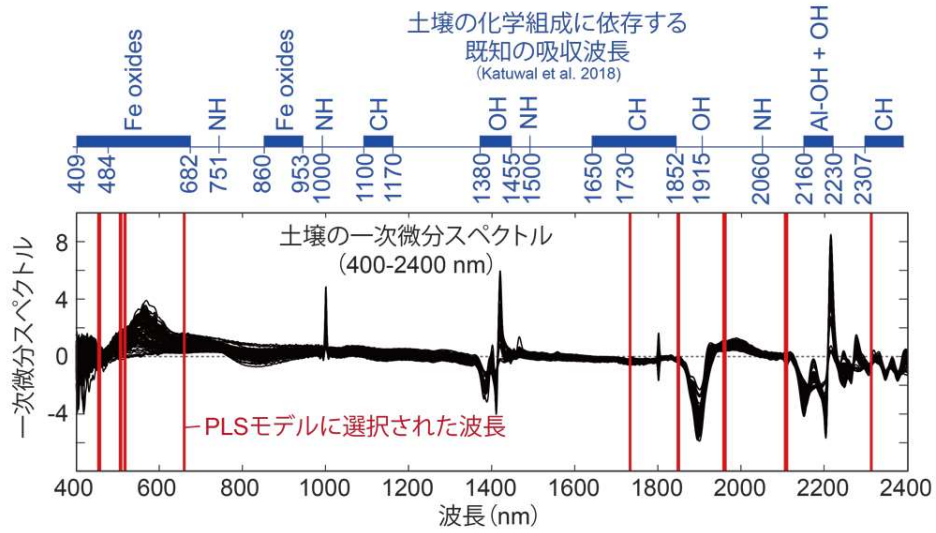


図 3 PLS モデルで選択された波長

赤線：遺伝的アルゴリズムを組み込んだ PLS モデルで選択された波長。Fe oxides が鉄酸化物、CH が有機物の吸収波長(Kawamura et al., 2019)。

［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：SATREPS［マダガスカル］

研究期間：2019 年度（2017～2021 年度）

研究担当者：西垣智弘・川村健介・辻本泰弘、Andriamananjara A 他（アンタナナリボ大学 LRI）

発表論文等：Nishigaki T et al. (2019) Plant and Soil, 435(1-2):27-38

Kawamura K et al. (2019) Remote Sensing, 11(5):506

［成果情報名］**熱画像を利用した葉面気孔伝導度の新規指標**

［要約］植物体の熱画像から得られる葉面温度を用いて気孔伝導度を推定する指標を開発した。数理モデルにもとづくこの新規指標は従来の指標よりも測定環境の影響を受けにくい。このため、変動環境下での作物の乾燥ストレス耐性や光合成活性の評価に幅広く活用できる。

［キーワード］熱画像、気孔伝導度、非破壊計測

［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］

気孔伝導度（気孔コンダクタンス；g_s*）は気孔における水蒸気や二酸化炭素などの通りやすさを表す指標であり、作物の光合成能力や干ばつなどの環境ストレスへの耐性指標として分野を問わず幅広く使用される。その測定にはリーフポロメーターなどの専用機器が用いられるが、1 回の測定に 1〜2 分を要するため、多個体の測定が必要な大規模集団の評価には不適である。数理モデルを用いた推定方法もあるが、多数の複雑なパラメータを設定する必要があるため、圃場での利用には不適である。一方、気孔が開いて蒸散が活発になると気化熱により葉面温度（葉温）が低下する現象に着目し、葉の熱画像から気孔伝導度を推定する簡易の指標（葉気温差）は、短時間に多くの個体を評価できるため、特にリモートセンシング分野で頻繁に利用される。しかし、この指標は気孔伝導度との関係が周囲の気温や湿度、日射などの気象条件に強く左右されるため、異なる日や時間に評価した値を直接比較することができない。そこで、熱画像を利用しつつも気象条件の影響を受けにくい新規の気孔伝導度指標を開発し、マメ科作物のササゲ(*Vigna unguiculata*)を対象に、その有効性を検証する。

* g_s は気孔のコンダクタンス（抵抗の逆数）を表す記号。s は stomata（気孔）の頭文字。

［成果の内容・特徴］

1. 新規指標(GsI: g_s Index)は、専用機器による測定や数理モデルによる推定法と比較して、葉面の気孔伝導度を簡便・迅速に推定するために、既存の気孔伝導度を表す数理モデルを簡略化した数式に、熱画像から得られる葉温を用いて算出する葉面の蒸気圧、熱画像撮影時の気温と湿度から求める大気の蒸気圧と大気飽差（大気がさらに含むことができる水蒸気量）、および日射量からなる 4 つの変数を当てはめたものである（図 1）。
2. 葉温に加えて上記複数の気象要因を変数に含むため、熱画像を利用した従来の簡易指標（葉気温差）と比較して、異なる測定環境で取得したデータでも実測値とよく対応する（決定係数 R^2=0.92、図 2）。そのため、GsI を直接比較することにより、長時間あるいは長期間にわたる気孔伝導度の経時的な変化を捉えることができる。

［成果の活用面・留意点］

1. 圃場条件、室内条件を問わず幅広く作物の生産能力や不良環境への耐性評価に活用できる。
2. 熱画像により非破壊かつ短時間で葉面の気孔伝導度が推定できるため、特に大規模な遺伝資源集団や交雑集団を評価する際にその有用性を発揮する。
3. GsI はササゲ以外の作物にも使用することができるが、測定対象の葉の傾斜角度が大きく異なる場合は値を比較することができない。
4. ある程度の蒸散が起きていることが前提であるため、極度の曇天や雨天など、蒸散がゼロに近いような状態の葉では使用できない。

［具体的データ］

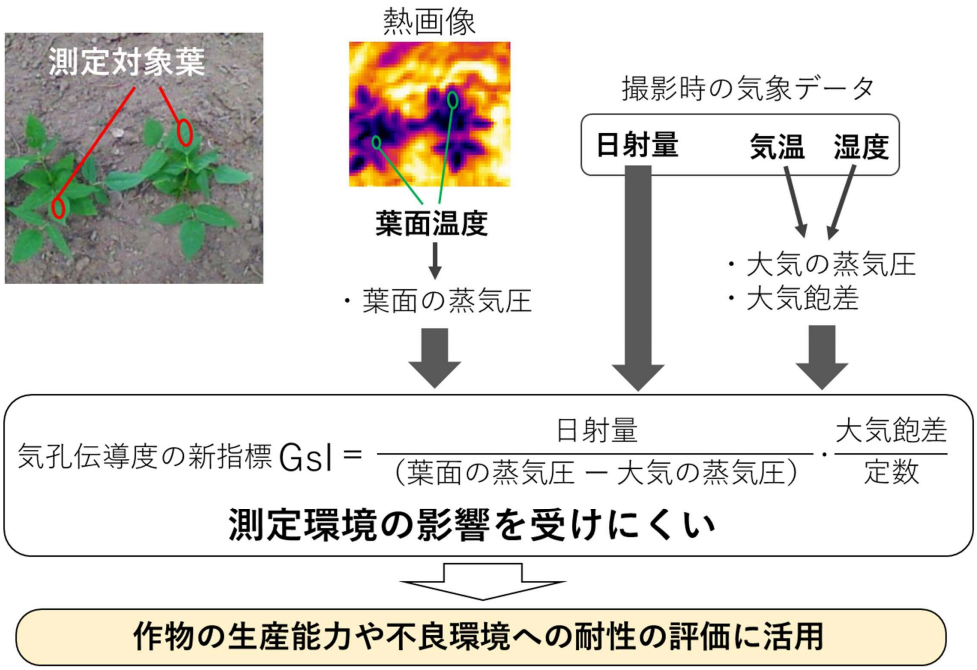


図 1 気孔伝導度の新規指標（GsI）

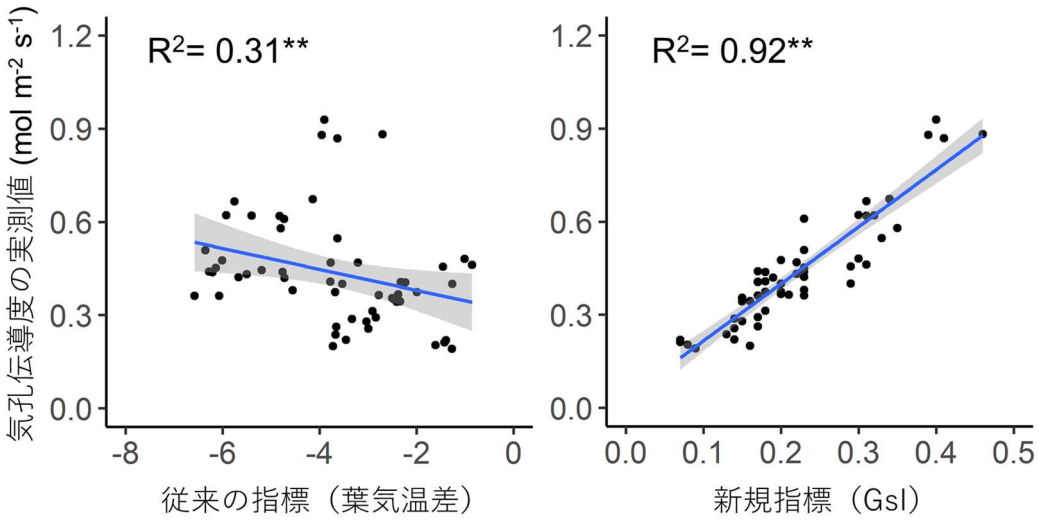


図 2 従来の指標（葉気温差：左）と新規指標（GsI：右）の異なる気象条件の測定日における気孔伝導度との関係

異なる気象条件の 14 日間の各測定日につきササゲ 4 品種のデータをプロットした（n=56）。回帰直線の網掛けは 95%信頼区間を示す。**は 1%水準で回帰式が有意であることを示す。

［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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：井関洸太朗、Olaleye O（国際熱帯農業研究所）

発表論文等：Iseki K and Olaleye O (2019) Plant Prod Sci, 23(1):136-147

［成果情報名］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

［要約］西アフリカの育種プログラムや種苗会社が利用するホワイトギニアヤムの品種および遺伝資源・育種系統について、品種・系統間の識別を簡易かつ迅速に行うことができる技術をパッケージ化するとともに、技術の利用支援のためのツールキットを提供する。

［キーワード］西アフリカ、DNA マーカー、育種効率化、高品質苗生産、品種普及

［所属］国際農林水産業研究センター　生産環境・畜産領域、熱帯・島嶼研究拠点

［分類］技術

［背景・ねらい］

西アフリカの重要な主食作物であるホワイトギニアヤム(*Dioscorea rotundata*)は、全ゲノム配列が解読される等（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」）、品種開発とその普及において大きな転機を迎えている。一方、育種や苗生産の現場では、地上部やイモの外観からの品種識別が非常に困難であることから（図 1）、植え付け・栽培・収穫・保存の各工程での他品種・系統の混入が長年の問題となっている。そこで DNA(SSR: Simple Sequence Repeat)マーカーを利用し、育種プログラムや種苗会社、普及機関等が、現場で簡易かつ迅速に利用できる品種識別技術パッケージを構築し、適用を図る。

［成果の内容・特徴］

1. 品種識別技術パッケージは、小規模な実験施設での利用を想定し、最低限の機材・消耗品の購入やトレーニングによって実施できる技術と必要なサービスの組み合わせとする。
2. 品種識別の簡易化・迅速化のために新たに開発した以下の技術・サービスを提供する。
   1) 増幅断片長の違いを利用して精度よく品種・系統を識別できるホワイトギニアヤム用に選抜した 16 個の SSR マーカー（図 2）。
   2) 西アフリカの育種プログラムや種苗会社が利用する約 550 品種・系統の SSR 多型情報を収蔵するデータベース（2020 年 2 月時点）。
   3) 2)のデータベースと連動し、指定した品種・系統を識別するための最小数の SSR マーカーの組み合わせ（最小マーカーセット）を検索できる Web アプリケーション。
   4) これまで利用できなかったイモ表皮のサンプルを使用した品種識別を可能にすることで、ユーザーの品種識別技術利用の期間や目的を大幅に拡大する DNA 抽出技術（図 3）。
   5) 複数個体の葉の混合サンプルから一回の DNA 抽出を行うことによって、100 個体中 1 個体までの感度で他品種・系統の混入の有無を確認できる他品種混入検出手法（図 4）。
3. 品種識別技術パッケージの利用支援のために、利用案内、各種技術マニュアル、Web アプリケーション、サポート情報を含むツールキットを国際農研 Web サイト上に公開する（図 5）。

［成果の活用面・留意点］

1. 品種識別技術を交配親の確認、栽培の各工程での他品種・系統混入の防止、普及・販売する苗の品質保証などに利用することで、育種や苗生産の効率化や質的向上に貢献できる。
2. 最小マーカーセットや他品種混入検出手法の利用を通じて、品種識別に必要な作業時間および費用を大幅に軽減できる。
3. 新規に取得した品種・系統の SSR 多型情報は国際農研担当者がデータベースに随時追加でき、即時に Web アプリケーションでの最小マーカーセットの検索に利用できる。
4. データベース未登録の品種・系統の識別には対応できない。

［具体的データ］

図 1 ホワイトギニアヤム（*D. rotundata*）
左：圃場に生育する複数品種の地上部
右：同一個体(DrDRS-139)から得られたイモ

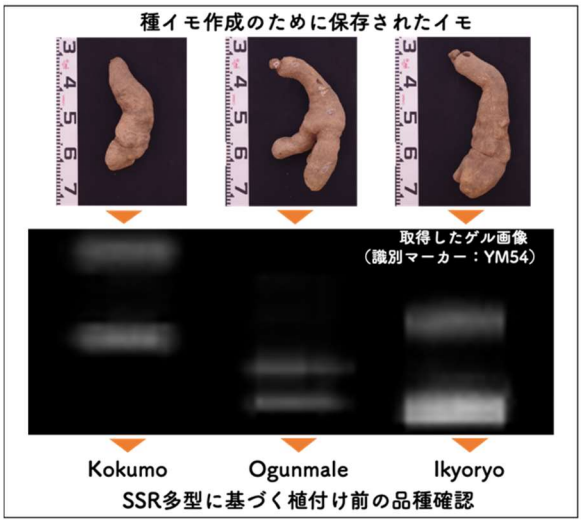


図 2 SSR マーカーによる品種識別の例
SSR 多型を利用して植付け前に品種が確認できる。

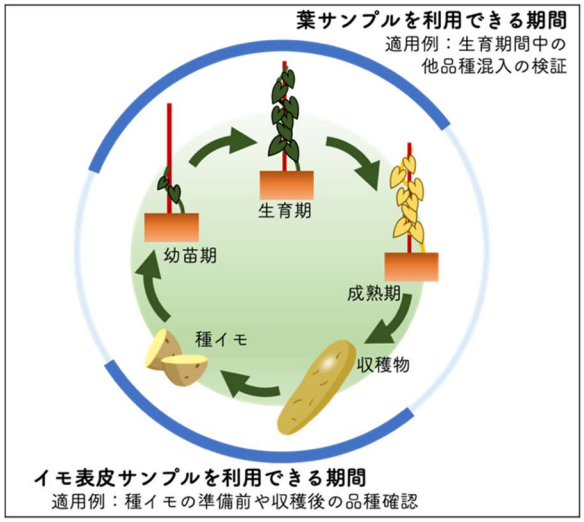


図 3 二種類のサンプルが取得可能な時期
葉とイモ表皮の利用により技術利用期間が拡大する。

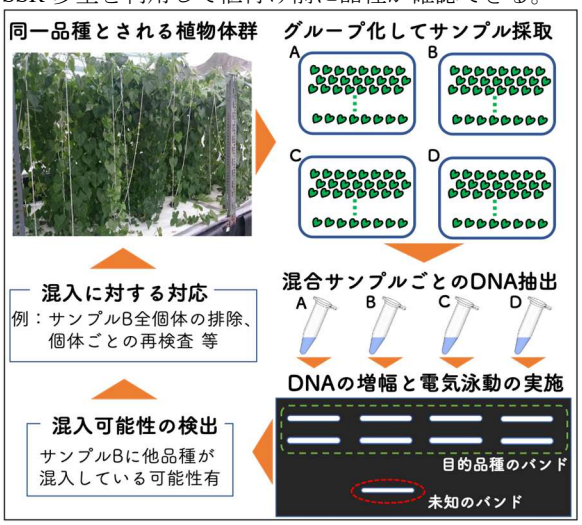


図 4 他品種混入検出手法の利用例
苗増殖の際の品質管理などに利用ができる。

図 5 SSR マーカーを利用した品種識別の流れと提供する技術・サービス

［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：2019 年度（2011～2020 年度）
研究担当者：村中聡・山中愼介、Tamiru M（岩手生工研）、Agre P（国際熱帯農業研究所）
発表論文等：Tamiru M et al (2015) Crop Science, 55:2191-2200
品種識別技術ツールキット Web サイト:https://www.jircas.go.jp/ja/database/yam_toolkit

［成果情報名］**一穂籾数を増加させる *SPIKE* は低収量環境でイネの籾収量を向上させる**

［要約］イネの一穂籾数を増加させる量的遺伝子座 *SPIKE* は、インド型品種 IR64 背景では収量水準が 5 t ha^{-1} を超えると穂数を減少させ増収効果が低下するが、収量水準が 5 t ha^{-1} 以下では穂数を減少させず増収に寄与するため、途上国の多くの低肥沃度環境や少量施肥栽培でその効果を発揮する。

［キーワード］イネ、収量、*SPIKE*、低肥沃度

［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］

低肥沃度土壌が広がり、農家が十分な肥料を購入できないアジア・アフリカの地域では、低投入でも安定した収量を得る作物品種の開発が必要である。イネはアジア・アフリカの多くの地域で主要作物であるが、低肥沃度環境での収量性を目標として育成された品種は少ない。近年同定されたイネの量的遺伝子座 *SPIKE*（平成 25 年度国際農林水産研究成果情報 A03「インド型イネ品種の籾収量を増加させる遺伝子、*SPIKE* の発見」）は一穂籾数を増加させるため、穂数が制限される低肥沃度土壌や少量施肥栽培に利用することにより、イネの生産性の拡大が期待できる。

［成果の内容・特徴］

1. インド型品種 IR64 と IR64 の遺伝的背景に量的遺伝子座 *SPIKE* が導入された準同質遺伝子系統(NIL-*SPIKE*)を用いて、2010～2017 年の雨季及び乾季に国際稲研究所（北緯 14 度 17 分、東経 121 度 26 分）で実施した 11 回の栽培試験において、NIL-*SPIKE* は収量水準が 5 t ha^{-1} 以下で IR64 よりも顕著に籾収量が高いが、収量水準が 5 t ha^{-1} 以上になると IR64 との籾収量差は軽減する（図 1）。
2. 2018 年に国際稲研究所で実施した窒素(N)施肥試験において、収量水準が 4 t ha^{-1} の低 N 施肥区（45 kg N ha^{-1}；移植前に基肥として化成肥料[N-P-K = 14-14-14]を処理）では、NIL-*SPIKE* は IR64 よりも収量が高い傾向があるが、収量水準が 6 t ha^{-1} の高 N 施肥区（180 kg N ha^{-1}；低 N 施肥区と同量の基肥に加え、硫安 45 kg N ha^{-1} を、移植 2 週間後、4 週間後および出穂時に追肥）では、増収傾向は認められず、収量に関して N 施肥と品種の間に有意な相互作用が存在する（図 2）。
3. 低 N 施肥区では、NIL-*SPIKE* と IR64 の穂数は同等であり、NIL-*SPIKE* は一穂籾数の増加に伴い、IR64 より m^2 当たり籾数が多くなることで増収傾向となる。高 N 施肥区では、NIL-*SPIKE* の穂数が IR64 よりも顕著に減少し、m^2 当たり籾数が低下することで増収傾向は認められなくなる（図 3）。

［成果の活用面・留意点］

1. NIL-*SPIKE* は熱帯多収品種 IR64 背景で育成されており、また、アジア・アフリカの途上国では低収量環境（5t ha^{-1} 以下）は一般的であるため、*SPIKE* はアジア・アフリカの多くの熱帯低肥沃度地域や少量施肥栽培で活用できる。
2. サブサハラアフリカに代表される収量水準 2 t ha^{-1} 等の極低収量環境での増収効果については、実データを得ていないため検証する必要がある。
3. 他品種の遺伝的背景における *SPIKE* の増収効果については検証する必要がある。

［具体的データ］

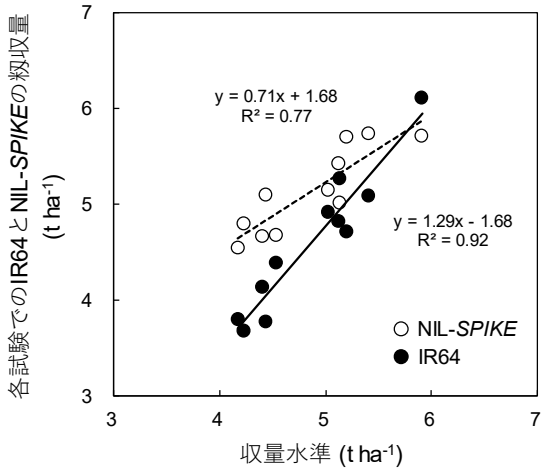


図 1 IR64 と NIL-*SPIKE* を用いた 11 栽培試験での籾収量比較

収量水準は各試験での IR64 と NIL-*SPIKE* 間の籾収量の平均値を示す。

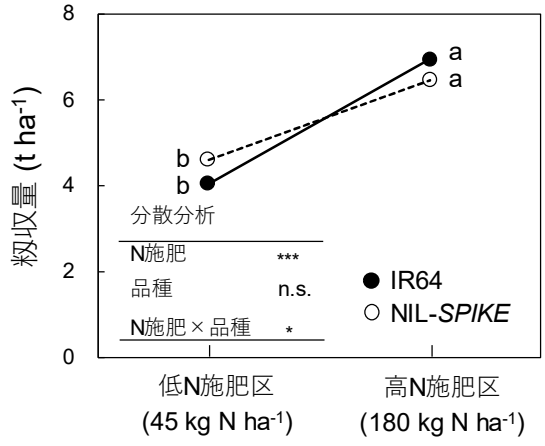


図 2 低 N 施肥区と高 N 施肥区での IR64 と NIL-*SPIKE* の籾収量比較

***、*、0.1%、5%水準で有意であることを示す
n.s.は有意差なしを示す。
異なるアルファベットは 5%水準で有意であることを示す。

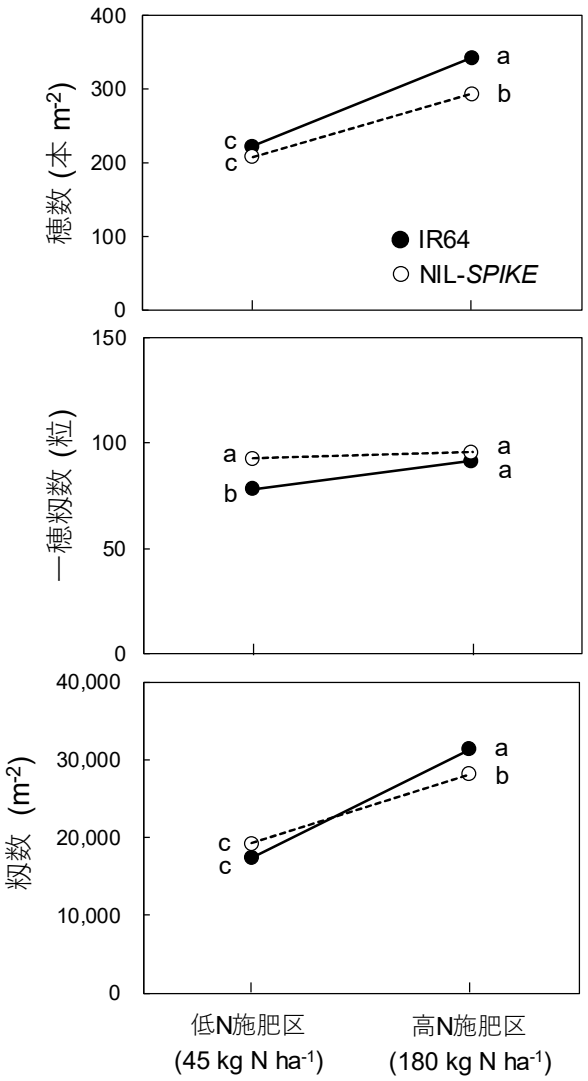


図 3 低 N 施肥区と高 N 施肥区での IR64 と NIL-*SPIKE* の穂数、一穂籾数、m² 当たり籾数の比較

異なるアルファベットは 5%水準で有意であることを示す。

［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：2019 年度（2010～2020 年度）
研究担当者：髙井俊之・佐々木和浩・浅井英利、藤田大輔（佐賀大学）、Lumanglas P・Simon EV（国際稲研究所）、石丸努（農研機構 中央農研）、小林伸哉（農研機構 次世代センター）
発表論文等：Takai T et al. (2019) Euphytica, 215:102

［成果情報名］**サトウキビとススキ属植物との属間雑種は低温条件下での光合成特性が優れる**

［要約］サトウキビとススキ属植物との属間交雑により作出した属間雑種 F_1 には、サトウキビより低温条件下での光合成速度や寒冷地でのバイオマス生産性が優れる系統があり、サトウキビの低温環境への適応性改良に向けた新しい育種素材として利用できる。

［キーワード］サトウキビ、ススキ属植物、属間雑種、育種素材、低温、光合成

［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］

C_4 植物でありバイオマス生産性に優れるサトウキビ(*Saccharum officinarum* L.)は、世界の砂糖ならびにバイオ燃料等の生産にとって重要な資源作物である。熱帯原産のサトウキビは低温感受性で、気温が 14 ℃以下で生育障害が起きることから、世界のサトウキビ栽培地域には、低温がサトウキビ生産上の課題となっている地域が多く存在する。そのため、サトウキビの低温環境への適応性を改良することは重要な育種目標となる。サトウキビの近縁属遺伝資源であるススキ属植物(*Miscanthus* spp.)は、C_4 植物の中では低温環境に最も適応した植物の一つであり、低温下でも光合成速度が低下しにくく、寒冷地におけるバイオマス作物として注目されている。そこで、これまで世界的にも報告例が少ないサトウキビとススキ属植物との属間交雑を実施し、サトウキビの低温条件への適応性の改良に利用できる新しい育種素材を作出する。

［成果の内容・特徴］

1. サトウキビ系統「KY06-139」および「KR05-619」と日本在来のススキ属植物である「塩塚」(*M. sinensis*)および「都城」(*M. Sacchariflorus*)との属間交雑により、それぞれ 2 系統および 16 系統の属間雑種 F_1 を作出した（図 1)。
2. ススキ属植物である「塩塚」および「都城」は、低温条件下（12～13℃昼／7～9℃夜）で 7 日および 14 日処理した場合の光合成速度がサトウキビ系統より高い。それらの属間雑種 F_1 には、低温条件下における光合成速度がサトウキビ系統より高く、ススキ属植物と同程度となる系統が存在する（図 1)。
3. 属間雑種 F_1 は、低温条件下（12～13℃昼／7～9℃夜）で 7 日間処理後、温暖条件下（26℃昼／18℃夜）で 7 日間栽培した場合の光合成速度の回復程度がサトウキビ系統より優れる（表 1)。
4. 属間雑種「JM14-09」は、寒冷地（札幌市、43°07’N、141°33’E）における圃場試験での乾物重が母本としたサトウキビ系統「KR05-619」や父本としたススキ属植物「塩塚」より大きい（図 2)。

［成果の活用面・留意点］

1. 本研究で作出した属間雑種 F_1 は、サトウキビの低温条件下におけるバイオマス生産性や光合成特性の改良に向けた新しい育種素材として活用できる。
2. 父本としたススキ属植物は札幌市（43°07’N、141°33’E）で越冬したが、母本のサトウキビ系統および属間雑種 F_1 は越冬できなかった。属間交雑によるサトウキビの越冬性改良の可能性を明らかにするために、属間雑種の越冬可能な環境を明らかにしていく必要がある。

［具体的データ］

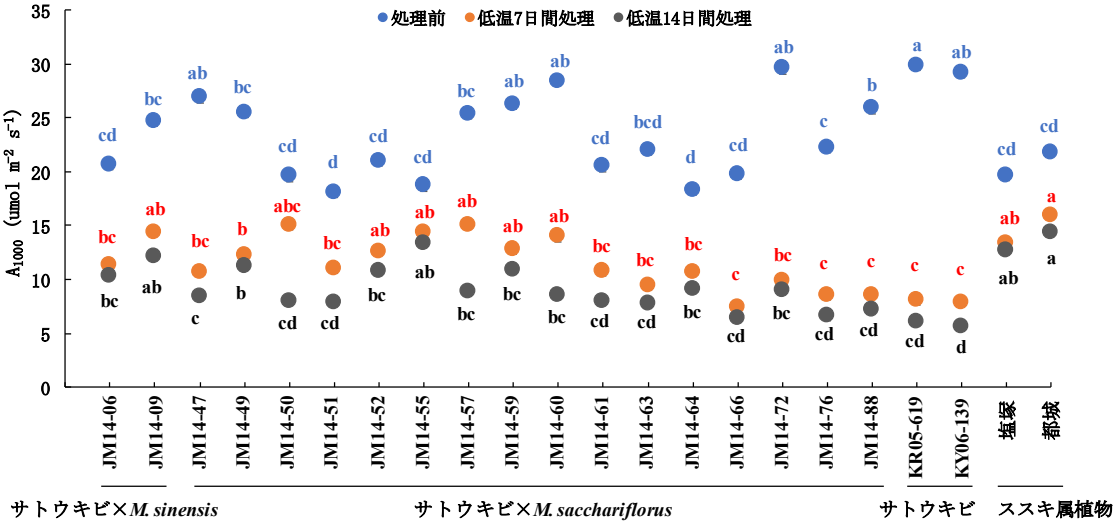


図 1 サトウキビとススキ属植物の属間雑種における低温条件下での光合成速度

2016 年 10 月 28 日に地下茎をポット（3 反復）で植え付け、2016 年 12 月 9 日から 21 日間 22～25℃昼／13～15℃夜で養成した材料に、12～13℃昼／7～9℃夜で 7 日および 14 日低温処理した後の光合成速度を測定した。各処理の異なるアルファベットは、系統間に 5%水準以上で有意差があることを示す。$A_{1,000}$ は、光合成有効光量子束密度が 1,000 μmol $m^{-2}s^{-1}$ の条件下での光合成速度を測定したことを示す。

表 1 低温処理後に温暖処理した場合の光合成速度

系統名	A_{1500} (μmol m^{-2} s^{-1})[1)]		
	低温処理前[2)]	低温処理後[3)]	温暖処理後[4)]
JM14-09	28.8 b[5)]	17.1 (59) ab	29.9 (104) a
JM14-72	33.2 a	14.8 (45) b	25.4 (77) b
JM14-88	23.4 c	13.2 (56) b	24.0 (103) b
KR05-619	28.3 b	9.3 (33) c	20.5 (72) c
KY06-139	29.3 b	9.5 (32) c	20.3 (69) c
塩塚	24.2 c	16.0 (66) b	24.9 (103) b
都城	29.9 b	19.7 (66) a	28.9 (97) a

注）1) 光合成有効光量子束密度が 1,500 μmol $m^{-2}s^{-1}$ の条件下での光合成速度。2) 地下茎をポット（3 反復）に植え付け、3 週間栽培した材料を 26℃昼／18℃夜で 14 日間処理した後の光合成速度、3) 2)の材料を 12℃昼／7℃夜で 7 日間処理した後の光合成速度、4) 3)の材料を 26℃昼／18℃夜）で 7 日間処理後の光合成速度。5) 各処理における異なるアルファベットは、系統間に 5%水準以上で有意差があることを示す。表中の括弧内の数値は、低温処理前の光合成速度に対する割合を示す。

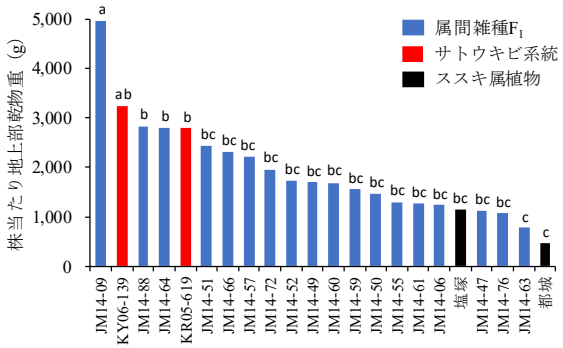


図 2 寒冷地（札幌市）での乾物収量

北海道大学の圃場において 2017 年、2018 年の 2 年間評価した。1 区 1 株、3 反復とし、両年ともに 5 月に育苗株を圃場に定植し、11 月に収穫を実施した。試験期間中の平均気温及び降水量は、両年ともに 17～18℃、700～800 mm であった。異なるアルファベットは、系統間に 5%水準以上で有意差があることを示す。

［その他］

研究課題：不良環境でのバイオマス生産性が優れる新規資源作物の開発とその利用技術の開発

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［高バイオマス資源作物］

研究期間：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：寺島義文・安藤象太郎、Kar S・山田敏彦（北海道大学）他

発表論文等：Kar S et al. (2019) GCB Bioenergy, 11(1):1318-1333

Kar S et al. (2019) BioEnergy Research, https://doi.org/10.1007/s12155-019-10066-x

［成果情報名］**種間交雑を利用して作出した株出し多収なサトウキビ新品種「はるのおうぎ」**

［要約］サトウキビ品種とサトウキビ野生種との種間雑種 F_1 を交配に利用してサトウキビ新品種「はるのおうぎ」を育成した。本品種は、既存の普及品種と同程度の糖含有率であり、茎数が多く、萌芽性に極めて優れるため、春植え、株出しの両作型で原料茎重と可製糖量が普及品種より多い。

［キーワード］サトウキビ、野生種、遺伝資源、萌芽性、低温、高緯度

［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］

サトウキビ(*Saccharum officinarum* L.)は、世界の砂糖ならびにバイオ燃料等の生産にとって重要な資源作物であるが、既存の育種素材を利用した育種改良の停滞が課題となっており、未利用の近縁遺伝資源を利用した遺伝的多様性の拡大や新規特性の導入による生産性や不良環境適応性の改良が必要となっている。サトウキビは、地上部を収穫した後に地下に残る株から茎を再生させる省力・低コストな作型である株出し栽培が可能であり、同作型の生産性向上や継続回数の増加は重要な育種目標となる。サトウキビ野生種(*S. spontaneum* L.)は、株出し栽培での萌芽性が極めて優れることから、サトウキビの株出し栽培における単位収量の向上を実現するための重要な育種素材となる。そこで、サトウキビ品種とサトウキビ野生種との種間交雑で作出した種間雑種 F_1 を育種素材として利用し、冬季の低温条件下での萌芽が課題となるサトウキビ栽培地域に向けて、株出し栽培で多収となる品種を開発する。

［成果の内容・特徴］

1. サトウキビ栽培品種「NCo310」とサトウキビ野生種「Glagah Kloet」との種間雑種 F_1 である多数回の株出し栽培での萌芽性や収量性に優れる飼料用サトウキビ品種「KRFo93-1」を種子親、早期高糖性の製糖用サトウキビ品種「NiN24」を花粉親とした交配により「はるのおうぎ」を育成した（図 1、図 2）。
2. 茎径は細いが茎数が極めて多く、甘蔗糖度は、普及品種「NiF8」と同程度である（表 1）。
3. 萌芽性に優れ、手刈り収穫より萌芽が悪くなりやすい機械収穫後でも萌芽数が普及品種「NiF8」より極めて多い（図 3）。
4. 原料茎重と可製糖量は、春植え栽培、株出し栽培 1 年目および 2 年目のいずれの作型においても普及品種「NiF8」よりかなり多い（表 1）。

［成果の活用面・留意点］

1. 「はるのおうぎ」は、国際農研と農業・食品産業技術総合研究機構との共同育成品種であり、低温が生産上の課題となる鹿児島県熊毛地域（種子島）向けの奨励品種として、1,000 ha 以上の普及を見込んでいる。
2. 黒穂病抵抗性が劣るため、黒穂病が発生する地域での栽培は控える必要がある。
3. サトウキビ品種とサトウキビ野生種との種間交雑は、低温が生産上の課題となるサトウキビ生産国における株出し多収品種の開発において重要な技術となる。

［具体的データ］

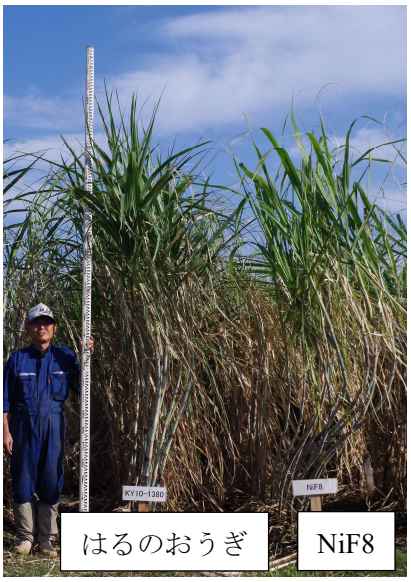


図１ 「はるのおうぎ」の草姿

九州沖縄農業研究センター種子島試験地（鹿児島県西之表市）にて 2018 年 11 月撮影

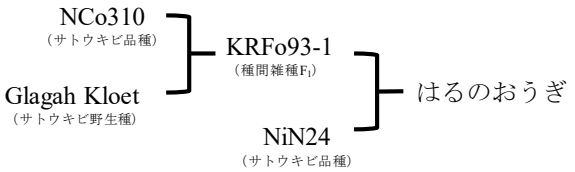


図２ 「はるのおうぎ」の系譜

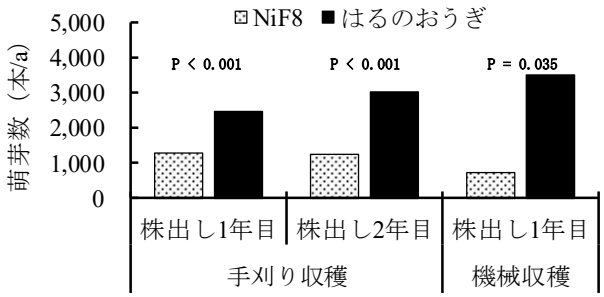


図３ 「はるのおうぎ」の萌芽茎数

2018 年に九州沖縄農業研究センター種子島試験地にて試験を実施した。1 区 1 畦 12 m、2 反復のデータ。統計処理は、品種を固定効果，区を変量効果とする一般化線形混合モデルにより実施した。

表１ 「はるのおうぎ」の主要農業特性

作型	品種	原料茎数（本/ha）	茎長（cm）	茎径（mm）	1茎重（g）	原料茎重（t/ha）	甘蔗糖度（%）	可製糖量（t/ha）
春植え	はるのおうぎ	143,950	224	20.6	685	97.3	12.4	11.0
	NiF8	93,100	244	22.5	818	75.6	12.1	8.4
	p 値	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.441	<0.001
株出し1年目	はるのおうぎ	188,667	244	19.4	619	117.2	11.8	12.7
	NiF8	110,633	238	20.5	649	71.9	12.4	8.2
	p 値	<0.001	0.272	0.016	0.337	<0.001	0.098	<0.001
株出し2年目	はるのおうぎ	192,950	218	19.6	583	109.7	10.4	9.8
	NiF8	134,800	215	20.5	558	74.6	10.4	6.7
	p 値	0.003	0.733	0.116	0.492	<0.001	0.723	0.003

注）九州沖縄農業研究センター種子島試験地における生産力検定試験の春植え（2015～2018 年度）、株出し 1 年目（2016～2018 年度）、株出し 2 年目（2017～2018 年度）の平均値。統計処理は、品種を固定効果，年次と区を変量効果とする一般化線形混合モデルにより実施した。

［その他］

研究課題：不良環境でのバイオマス生産性が優れる新規資源作物の開発とその利用技術の開発

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［高バイオマス資源作物］、受託［地域バイオマス］

研究期間：2019 年度（2009～2020 年度）

研究担当者：寺島義文・杉本明、服部太一朗・松岡誠・寺内方克・境垣内岳雄・石川葉子・田中穣・樽本祐助・早野美智子・安達克樹・梅田周（農研機構）

発表論文等：服部ら「はるのおうぎ」品種登録出願公表第 33768 号（2019 年 7 月 4 日）

服部ら (2019) 農研機構研究報告, 2:21-44

［成果情報名］**ベトナム北部におけるイネウンカ類に対する殺虫剤の使用状況と散布法の評価**

［要約］ベトナム北部の稲作農家は様々な種類の殺虫成分を使用している。また成分使用回数が農家水田内のウンカ密度低下に寄与する程度は低い。殺虫剤散布時の薬液の付着程度がウンカの生息部位で低いことが、低効果の一つの要因と考えられる。

［キーワード］トビイロウンカ、セジロウンカ、稲作農家、薬液付着程度

［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］

トビイロウンカ(*Nilaparvata lugens*)およびセジロウンカ(*Sogatella furcifera*)は、ベトナム北中部を飛来源とし、毎年中国南部、日本へと飛来するイネの重要害虫である。ウンカの防除には広く殺虫剤が使用されるが、それらの殺虫成分に対してウンカが抵抗性を発達させることにより、その防除を難しくする。ウンカの常発地域における不適切な殺虫剤の使用が抵抗性の発達に大きく影響していると考えられることから、ベトナムの水田における殺虫剤の使用状況およびその防除効果について把握する必要がある。そこで、将来的なベトナムにおけるウンカの殺虫剤抵抗性管理を目指し、ベトナム北部の農家水田における殺虫剤の使用状況とウンカの密度に対する影響を明らかにする。

［成果の内容・特徴］

1. ベトナム北部（ナムディン省ギアフン県およびヴィンフック省ラップタック県）の 2 村の水田において使用されている殺虫成分と使用回数は地域や作付時期により異なり、10 グループ 21 成分の多様な殺虫成分が使用されている（表 1)。
2. 農家水田において殺虫成分使用回数が出穂期のウンカ両種の密度低下に寄与する程度は低い（表 2)。
3. 背負式散布機を用いた農家の慣行的な散布方法によるイネ植物体に対する薬液の付着程度は、植物体上位(60 cm)で高いが、セジロウンカが生息する植物体中位(40 cm)で中程度、トビイロウンカが生息する植物体下位(15 cm)で著しく低い（図 1)。
4. 薬液の付着程度が高いほど、トビイロウンカ雌成虫の死亡率が向上する（図 2)。
5. 以上より、ベトナム北部の農家水田における現行の殺虫剤使用がウンカ両種の密度低下に十分に寄与していない要因の一つとして、生息部位への殺虫剤の付着量が少ないことが考えられる。

［成果の活用面・留意点］

1. 浸透移行性殺虫剤では一般的に植物体上位に付着した薬液が下位に移行することは少ないため、効果的にウンカを防除するためには、植物体下位に薬液が到達するような散布方法の改善が必要である。
2. ウンカの密度低下に対する殺虫成分使用回数の寄与の程度が低いもう一つの要因として、殺虫剤抵抗性の発達も考えられるため、ベトナムで採集したウンカ個体群を用いて殺虫剤抵抗性の発達程度を定量化し、その推移をモニタリングする必要がある。

［具体的データ］

表 1　聞き取り調査によりベトナム北部の 2 村で使用が確認された殺虫成分

グループ	有効成分	ナムディン省		ヴィンフック省	
		冬作 (38)	夏作 (38)	冬作 (37)	夏作 (26)
	水田当たり平均殺虫成分使用回数	4.48	8.83	0.29	1.88
カーバメート系	フェノブカルブ	–	–	–	○
有機リン系	クロルピリホス	○	–	–	○
	クロルピリホスエチル	○	○	–	○
	キナルホス	○	○	–	–
フェニルピラゾール系	フィプロニル	○	○	○	○
ピレスロイド系	シペルメトリン	○	○	–	○
	ペルメトリン	–	○	–	○
	ラムダシハロトリン	○	–	–	–
	アルファシペルメトリン	○	○	–	–
ネオニコチノイド系	イミダクロプリド	○	○	–	–
	ニテンピラム	○	–	–	–
	アセタミプリド	–	○	–	–
	ジノテフラン	–	○	–	–
	チアメトキサム	–	–	○	○
アベルメクチン系	アバメクチン	○	○	–	○
	エマメクチン安息香酸塩	○	○	–	○
ピリジン アゾメチン誘導体	ピメトロジン	○	○	○	–
ネライストキシン類縁体	チオスルタップナトリウム塩	–	○	–	–
ブプロフェジン	ブプロフェジン	○	○	–	–
オキサジアジン	インドキサカルブ	○	○	–	–
ジアミド系	クロラントラリニプロール	–	○	○	○

成分は殺虫剤抵抗性対策委員会(IRAC)の作用機構分類に従って分類。括弧内はベトナム北部の 2 村で調査した農家数。

表 2　トビイロウンカとセジロウンカの密度に影響を与える要因の推定

説明変数	自由度	推定値	χ2値	p値
地域	1	0.63	4296	<0.001
作付時期	1	-0.31	662.63	<0.001
殺虫剤使用成分数	1	0.02	22.47	<0.001
クモ個体数	1	0.02	4534.8	<0.001
カスミカメ個体数	1	0.06	6285.6	<0.001

聞き取り調査を行った農家の所有水田の出穂期に払落し調査を実施。ウンカ両種の個体数を目的変数、地域（ナムディン省、ヴィンフック省）、作付時期（冬作、夏作）、播種から調査実施日までの殺虫成分使用回数、天敵であるクモとカスミカメの個体数を説明変数とし一般化線形モデルで解析した。推定値の絶対値が大きいほど目的変数に与える影響が相対的に大きい。

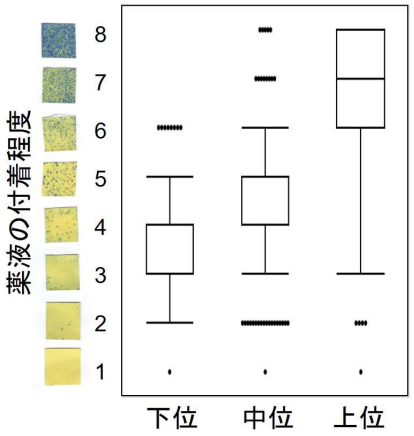


図 1 背負式散布機を用いた殺虫剤散布によるイネ植物体への薬液の付着程度

草丈 85 cm のイネの上位、中位、下位に感水紙（水分の付着により黄色から青色へ変化）を貼付けて付着程度を評価。箱は四分位範囲、箱の上下のバーは箱から四分位範囲の 1.5 倍以内にある最大あるいは最小値までの範囲。点は外れ値。

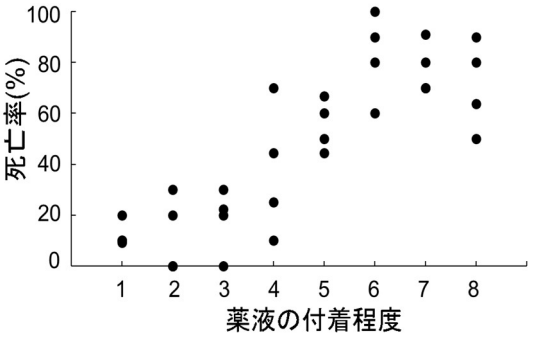


図 2 薬液の付着程度を変えたイネにおける 24 時間後のトビイロウンカ雌成虫の死亡率

ニテンピラム、ピメトロジン、イミダクロプリドの混合剤を使用。

［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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：松川みずき・小堀陽一、Chung NH 他（ベトナム植物保護研究所）

発表論文等：1) Matsukawa-Nakata M et al. (2019) Journal of Pesticide Sciences, 44(2):129-135

2) Matsukawa-Nakata M et al. (2019) Applied Entomology and Zoology, 54(4):451-457

［成果情報名］タイ発酵型米麺の液状化は、麺を pH 4 程度の酸性に保つことで抑制できる

［要約］タイ発酵型米麺の液状化は細菌による澱粉分解に起因し、麺の pH が 6 以上になると誘発されるが、pH 4 程度に保つことで抑制される。液状化の抑制には、製麺後の発酵型米麺および原料である発酵米粉が pH 4 程度の酸性であることの確認や、製麺工程で麺の洗浄に用いる水を酢酸等の食用可能な有機酸により pH 4 程度に調整することが推奨される。

［キーワード］タイ、発酵型米麺、液状化、澱粉分解、pH 管理

［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］

発酵型米麺はタイをはじめラオス、ベトナム、カンボジア、ミャンマーおよび中国南部で生産、消費される伝統食品である。発酵由来の乳酸を含む発酵米粉を原料とし、その生地を熱湯中に細長く押し出して麺状に加工する製品は、一般的に常温で 3 日程度の保存が可能とされるが、水分の滲出を伴って麺の形が崩れ、液状化する場合があり（図 1）生産・流通上の問題となっている。液状化の原因を究明し抑制方法を普及することで、収益性の向上や食料廃棄の削減が期待できる。

［成果の内容・特徴］

1. 約 0.03%の乳酸を含むタイ発酵型米麺は pH 3.7 の酸性であるが、クエン酸-リン酸緩衝液（pH 6.0 または 8.0）による 10 分間の浸漬処理を施した直後の pH は 6.0 または 7.7 となり、37℃で 3 日以上保温すると液状化の兆候として水分の滲出が見られる。一方、pH 4.0 のクエン酸-リン酸緩衝液による同様の処理では、麺の pH は 4.0 程度に保たれ、液状化は観察されない（図 2）。
2. 抗生物質（クロラムフェニコール、終濃度 200 μg/mL）を含むクエン酸-リン酸緩衝液による同様の処理で液状化は観察されないことから、液状化現象は細菌の増殖を伴うと考えられる。
3. pH 6.0 または 8.0 のクエン酸-リン酸緩衝液による浸漬処理で液状化する麺からは、37℃で 2 または 1 日以上の保温により α-アミラーゼ活性が検出され、翌日から麺の構造を形成する澱粉の分解で生じる還元糖が検出されるが、pH 4.0 のクエン酸-リン酸緩衝液による同様の処理では α-アミラーゼ活性、還元糖とも検出されない（図 3A、図 3B）。
4. 以上の結果から、タイ発酵型米麺の液状化抑制には、麺および、その原料である発酵米粉を pH 4 程度の酸性に保つことが推奨される。発酵型米麺や原料である発酵米粉の pH は食品用 pH 計または pH 試験紙による簡易法で確認できる。
5. 発酵型米麺の液状化を抑制するための知見や技術をタイ語で平易に解説する小冊子（図 4A、図 4B）を作成し、生産者を対象とする技術講習に活用することで、生産者への成果普及やフードバリューチェーンの向上に寄与する。

［成果の活用面・留意点］

1. 液状化の原因や適切な乳酸発酵の重要性、簡便な液状化抑制技術に関する知見を小冊子や技術講習を通じて伝えることで、食品ロスの軽減が図られる。また、小冊子には発酵型米麺の製法や調理法等についても紹介しており、一般向けの食育教材としても利用できる。
2. 生産者の多くは工場敷地内の井戸水で出荷前の発酵型米麺を洗浄しており、ミネラル分の影響による麺の pH 上昇が液状化の要因の一つと考えられる。液状化の抑制には、麺の洗浄に用いる水の pH を食用可能な酢酸等の有機酸で調整することが推奨され、麺の風味への影響も考慮して使用量を検討し、洗浄後の麺の pH が 4 程度になることを確認する必要がある。

［具体的データ］

図 1 液状化した発酵型米麺

図 2 緩衝液(pH 4.0, 6.0, 8.0)による浸漬処理を施した発酵型米麺を 37℃で 3, 5 日間保温した時の形状変化

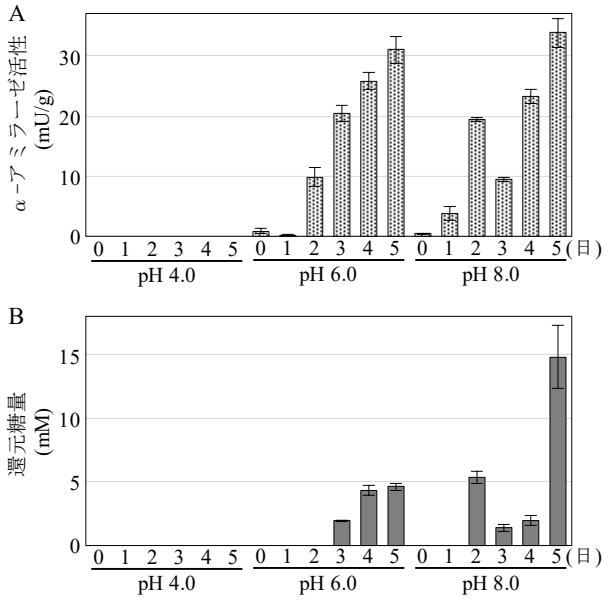


図 3 酸緩衝液(pH 4.0, 6.0, 8.0)による浸漬処理の後、37℃で 5 日間保温した麺におけるα−アミラーゼ活性(A)および還元糖量(B)の消長

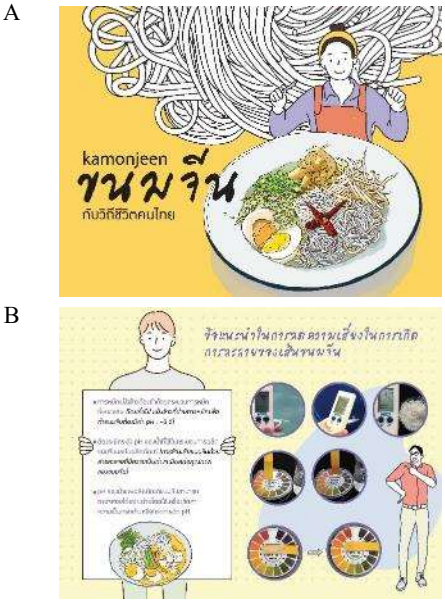


図 4 発酵型米麺の液状化抑制方法などをタイ語で解説する小冊子の表紙(A)と発酵型米麺の pH 管理方法を紹介するページ(B)

［その他］

研究課題：持続的農村開発のための食料資源の高付加価値化を通し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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者： 丸井淳一朗・吉橋　忠、Shompoosang S・Surojanametakul V（カセサート大学食品研究所）

発表論文等：Marui J et al. (2020) Japan Agricultural Research Quarterly, 54(1):41-45

［成果情報名］**ダッタンソバは加圧を要しない膨化処理により苦味の生成を抑えられる**

［要約］子実に多量のルチンを含むダッタンソバは食品材料としての幅広い活用が期待される。加圧を要しない高温加熱のみの簡易膨化処理により、殻のままポン菓子状の製品化が可能となり栄養価の高いソバ加工品ができる。高温処理によりルチン分解酵素活性を抑制し苦味を呈するケルセチン生成を抑制することで製品にルチンを豊富に残存させることができる。

［キーワード］ダッタンソバ、ルチン、膨化、加熱処理

［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］

雑穀は高い栄養価と農業生態環境への広い適応能力を持つことから、世界の食料安全保障と飢餓の解消に大きな役割を果たすことが期待されている。特に中国四川・雲南省を起源地とするダッタンソバ(*Fagopyrum tataricum*)は、普通ソバ(*F. esculentum*)に比べて高標高地帯でも栽培が可能であり、血管収縮抑制作用や抗酸化能があるルチン含量も極めて高いことなど、付加価値の高い作物として知られている。中国、ロシア、ネパール、ヨーロッパ諸国で広く栽培されており、特に他作物の栽培が困難な山間地帯では重要な食料資源となっている。しかし、その子実は硬質な果皮（殻）を持つため、効率的に殻を取り除くことが困難であり、製粉歩留まりが悪く、加工性も劣ることなどが加工上の課題となっている。また、多くのダッタンソバ品種は、高いルチン分解酵素活性を有することから、加水を伴う加工中に非常に苦味の強いケルセチンを生成するため、粉として利用する妨げとなっている。そこで、ダッタンソバの苦味の生成を抑制する簡易な加工法として、殻のまま直接加熱により膨化させる処理（簡易膨化処理）の効果を検証する。

［成果の内容・特徴］

1. ダッタンソバ子実は、殻付のまま瞬時に高温加熱する簡易膨化処理によって、圧力を加えることなくポン菓子状に爆裂し、そのまま食べられる製品ができる（図 1）。
2. 簡易膨化処理ではルチンが失われることなく残り、苦味を呈しない製品となる（表 1）。
3. ダッタンソバは子実中にルチン分解酵素を含むが、簡易膨化処理により、ルチン分解酵素の活性が失われる。そのためダッタンソバ子実の粗酵素液にルチン溶液を添加しても、全てのルチンが残存し苦味の強いケルセチンの生成が抑制される（図 2）。
4. 簡易膨化処理の有無で、食品成分（タンパク質、脂質、炭水化物、灰分、食物繊維）やエネルギーには大きな差は見られない（表 2）。

［成果の活用面・留意点］

1. 本成果で示した簡易膨化処理は、高温高圧を必要とする通常の膨化処理に比べ、低コストで実施でき、そのまま食べられる製品を提供できるため、開発途上地域の食品加工技術として有用である。
2. 簡易膨化処理後のダッタンソバを粉状に加工してもルチンは残存するため、麺、饅頭、パンなどに添加可能でルチン含量が高く苦味の少ない機能性食品の開発や消費形態の多様化に向けた応用が期待できる。
3. ダッタンソバは品種により種子サイズや形状が異なるため、加熱温度や含水率などの最適化条件は品種毎に検討することが望ましい。

［具体的データ］

図 1 ダッタンソバを用いた簡易膨化処理
簡易膨化処理によりポン菓子状に体積が増し、軟らかな食感でそのまま食せる製品となる。

表 1 簡易膨化処理の有無によるルチン残存量

サンプル名	簡易膨化処理	ルチン (mg/100g)
ダッタンソバ A（北海道産）	無	1,637±118.2
	有	1,469±49.5
ダッタンソバ B（中国産）	無	1,548±77.8
	有	1,202±72.2

簡易膨化処理ではルチン分解は軽微であり、苦味を感じない程度の製品となる。

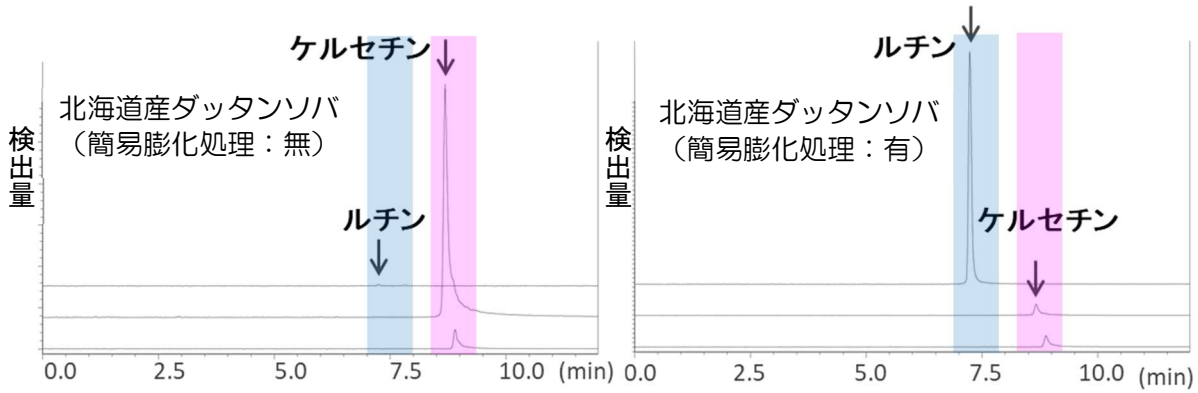


図 2 ルチン分解酵素によるルチン残存量測定
簡易膨化処理を施したダッタンソバでは、酵素活性が失われることで、その粗酵素抽出液にルチンを添加しても全てのルチンはそのまま残存し、苦味の強いケルセチンの生成は抑制される。

表 2 簡易膨化処理によるダッタンソバの栄養素変化

サンプル名	簡易膨化処理	タンパク質 (g/ 100g)	脂質 (g/ 100g)	灰分 (g/ 100g)	炭水化物 (g/ 100g)	食物繊維 (g/ 100g)	エネルギー (kcal/ 100g)
北海道産ダッタンソバ	無	13.7	4.1	2.3	79.9	5.7	411
北海道産ダッタンソバ	有	12.5	4.0	2.2	81.3	4.5	411

［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したフードバリューチェーン形成（フードバリューチェーン）
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：2019 年度（2016～2020 年度）
研究担当者：藤田かおり・吉橋忠
発表論文等：Fujita K and Yoshihashi T (2019) Food Science and Technology Research, 25 (4):613-618

［成果情報名］**オイルパーム古木中の遊離糖及びデンプン量を決定する要因**

［**要約**］オイルパーム古木中の遊離糖及びデンプン蓄積量の季節変動は積算温度に最も強く調節されている。気温と降水量を観測することでバイオマス資源として利用するオイルパーム古木の伐採適期が把握できる。

［**キーワード**］オイルパーム、デンプン、遊離糖、経験的動態モデリング

［**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**］

パーム油は世界で産出される植物油の約 40%を占めており、その 85%がマレーシアとインドネシアの 2 カ国で生産されている。さらに、オイルパーム古木中に含まれる樹液はバイオ燃料の良質な資源となり、樹液の糖度は古木中のデンプン量に依存する（平成 27 年度国際農林水産業研究成果情報 C07）。オイルパームの栽培は赤道直下の熱帯地方のみに限定されており、高温や降水量の低下による強い水ストレスがパーム果房の生産性に影響を与え、季節変動をもたらすと考えられてきた。そこで、光合成産物である遊離糖及びデンプンの中間貯蔵先である幹と最終的な貯蔵先であるパーム果房量について気温や降水量との関係性を解析し、パーム古木から高糖度の樹液を得るための遊離糖及びデンプン蓄積に影響を及ぼす環境要因を解明する。

［**成果の内容・特徴**］

1. パーム果房の容積は 10 月頃から増加し、5 月頃に最大となり、その後、成熟パーム果実が落下する。果房容積の少ない時期にパーム古木中の遊離糖の増加が見られるが、デンプン量の増加は明瞭ではない（図 1）。この幹中の遊離糖とパーム果房容積との間の強い因果関係は経験的動態モデリングでの Convergent Cross Mapping(CCM)※を用いて確認した。
2. さらに CCM によると、観測日より約 60 日遡って積算した温度（以下、積算温度）からパーム古木中の遊離糖及びデンプンへは約半年のタイムラグで強い因果関係があり、パーム果房生産への因果関係はない。同様に約 60 日遡って積算した降水量（以下、積算降水量）とパーム古木の遊離糖やデンプンにはほぼタイムラグなしで強い因果がある（図 2）。
3. 以上の結果は、パーム古木中の遊離糖及びデンプン量蓄積にもっとも影響を及ぼす要因は温度変化であり、次に降水量であることを示唆する。
4. 気温や降水量といった環境要因がパーム古木の遊離糖及びデンプン量に与える影響の分析結果によると、本解析を実施したマレー半島北部では積算温度が高い時期の約半年後で、積算降水量が多い 10 月～12 月にパーム古木の遊離糖やデンプン量が増加する。

※CCM：非線形な挙動を示す時系列現象について、要因相互の因果関係を定量化する解析手法

［**成果の活用面・留意点**］

1. 積算温度と積算降水量から伐採適期を導き、遊離糖やデンプン量が高い古木を収集することができる。
2. 本成果はマレーシア国ペナン州において実施した結果に基づくものであり、異なる環境下の地域に適用する際には強い因果を示す環境要因やタイムラグを確認する必要がある。

［具体的データ］

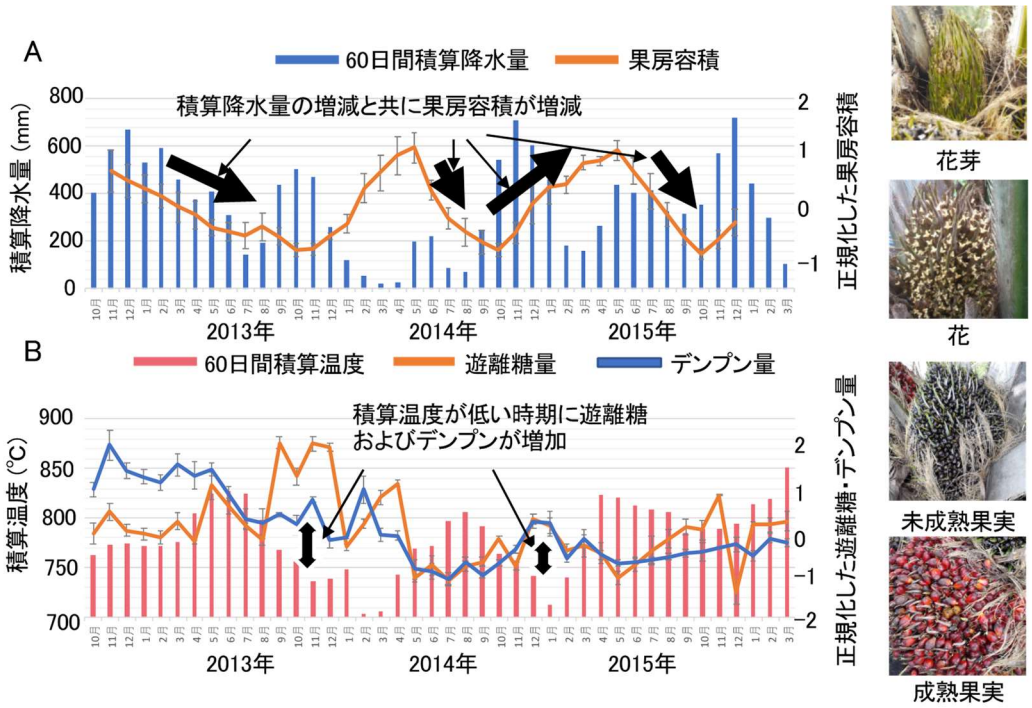


図 1 パーム果房の容積（右の写真に示した全組織の合計）と観測日の 60 日間積算降水量（A）、幹中の遊離糖とデンプン量の変動及び観測日の 60 日間積算温度（B）

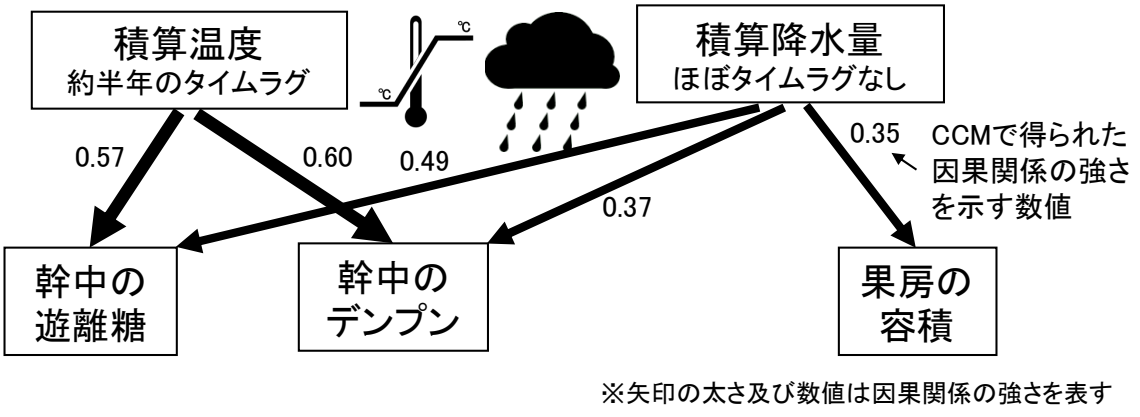


図 2 経験的動態モデリングによって有意と示された積算温度及び積算雨量からの幹中の遊離糖及びデンプン量と果房容積への因果関係

［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：2019 年度（2016～2020 年度）
研究担当者：谷尚樹・小杉昭彦・荒井隆益・近藤俊明、Abdul Hamid ZA・Joseph N・Sulaiman O・Hashim R（マレーシア理科大）、佐竹暁子（九州大）
発表論文等：Tani N et al. (2020) Scientific Reports, 10:650

［成果情報名］*Bacillus aryabhattai* は農作物残渣内の澱粉からバイオプラスチックを生産する

［要約］日本の土壌から新たに単離した細菌 *Bacillus aryabhattai* はアミラーゼ遺伝子(*amyA*)を保有し、菌体外に分泌した澱粉分解酵素（アミラーゼ）による澱粉分解によってグルコース生産してポリヒドロキシ酪酸(PHB）を体内に蓄積する。

［キーワード］生分解性プラスチック、ポリヒドロキシ酪酸、キャッサバパルプ、オイルパーム

［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］

東南アジア地域では、キャッサバパルプやオイルパーム廃棄木等の農作物残渣が大量に排出され、様々な環境問題をもたらす要因となっているが、一方で農作物残渣中に含まれる澱粉は有用なバイオマス資源と考えられる。近年、石油性プラスチックの環境への影響が問題となっており、生分解可能なバイオプラスチックへの注目が世界的に高まっているが、バイオプラスチックの一種であるポリヒドロキシ酪酸(PHB)を生産する多くの PHB 生産菌はグルコースを餌資源としており、澱粉から直接、PHB を生産することができない。本研究では、膨大な量の農作物残渣に由来する環境負荷を軽減し、有用なバイオマス資源として活用する技術開発の一環として、澱粉から直接 PHB 生産が可能な細菌を探索し、バイオプラスチック生産の有効性を検討する。

［成果の内容・特徴］

1. 日本の土壌を単離源として 84 株の PHB 生産菌を分離し、澱粉から PHB をもっとも大量に生産する細菌 *Bacillus aryabhattai* を単離した。*B. aryabhattai* は、アミラーゼ遺伝子(*amyA*)を保有することから、菌体外に分泌したアミラーゼによって澱粉をグルコースに分解し、これを餌資源として PHB を生産し、体内に蓄積する。
2. 温度、pH、澱粉濃度等を考慮した最適条件下では、菌体重量は 4.4 g/L、菌体中に含まれる PHB 含量は 46%、PHB 生産量は 1.9 g/L と高い生産効率を示す（図 1)。一方で、PHB 生産菌として工業利用されている *Cupriavidus necator* はアミラーゼ遺伝子を持たないため澱粉を利用することができず、同環境下で培養しても PHB を生産できない（図 1)。
3. キャッサバパルプならびにオイルパーム廃棄木内の澱粉を用いて *B. aryabhattai* による PHB 直接生産を行うと、前者は 96%、後者は 99%が分解され、それぞれ 0.12 g/L、0.33 g/L の PHB が生産される（図 2、表 1)。
4. PHB の物性を表す重量平均分子量は市販のグルコースを用いて生産した PHB と同等であるが、耐熱性の一つの指標となる融点は、キャッサバパルプを利用して生産した PHB が市販のグルコースを用いて生産したものよりも高く（表 2)、高温下での加熱加工に適するとともに製品の耐熱性も高まると期待できる。

［成果の活用面・留意点］

1. 本菌を用いることで、澱粉分解酵素や遺伝子組換え菌を利用することなく、キャサバパルプやオイルパーム廃棄木等の残渣から直接、PHB を生産できるため、バイオプラスチック生産のコスト削減や農作物残渣の処理、環境負荷の低減等が期待できる。
2. 実用化においては、農作物由来残渣内澱粉の安定かつ安価な供給ルートの確保や、大量生産における最適培養条件のさらなる検討が必要である。

［具体的データ］

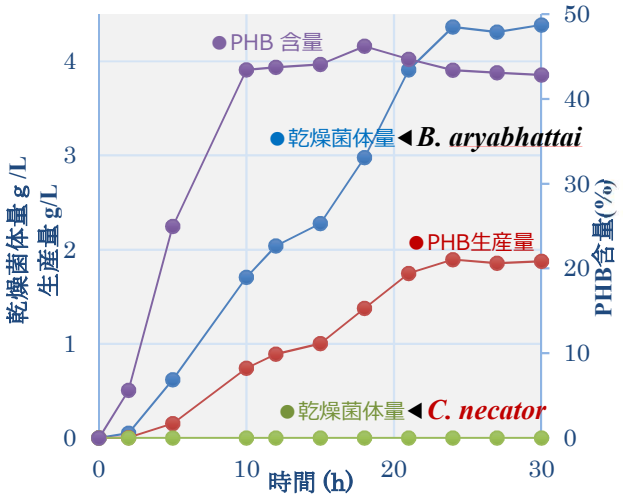


図 1　*B.　aryabhattai* による可溶性澱粉からの PHB 生産

図 2　農作物残渣内の未利用澱粉からの PHB 生産

表 1　*B.　aryabhattai* による農作物残渣内の未利用澱粉からの PHB 生産量

澱粉の原料	澱粉分解率 (%)	乾燥菌体量 (g/L)	PHB 生産量 (g/L)	PHB 含有量 (%)
キャッサバパルプ	96±3	1.42±0.08	0.12±0.03	8.68±1.44
オイルパーム廃棄木	99±1	1.95±0.05	0.33±0.06	17.07±2.83

表 2　*B.　aryabhattai* 及び他の細菌によるグルコースとキャサバパルプから生産した PHB 物性比

菌株	炭素源	PHB の物性		
		重量平均分子量	数平均分子量	融点(℃)
B. aryabhattai	グルコース	2.19×10^5	4.43×10^4	165
	キャッサバパルプ	1.61×10^5	4.28×10^4	170
Bacillus spp. 871	グルコース	5.13×10^5	未測定	153
Bacillus spp. 112A	グルコース	5.21×10^5	未測定	148
Saccharophagus degradans	グルコース	5.42×10^4	未測定	166

［その他］

研究課題：バイオマテリアル生産による資源循環型利用技術の開発

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：2019 年度（2011～2020 年度）

研究担当者：荒井隆益・小杉昭彦、Sudesh K（マレーシア理科大学）

発表論文等：Wichittra B et al. (2019) Environmental Technology,
https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1608314

［成果情報名］**アメリカミズアブ幼虫はキノボリウオの飼料タンパク質源として有効である**

［要約］果実残渣等を用いて簡易に生産できるアメリカミズアブ幼虫をタンパク源として調製した餌は、ラオスの主要な養殖対象魚であるキノボリウオにおけるタンパク質同化効率が従来の魚粉飼料よりも優れ、タンパク質含量が少ない飼料でも高成長が期待できる。

［キーワード］ラオス、養殖、キノボリウオ、アメリカミズアブ、タンパク質効率

［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］

ラオスでは、近年の人口増加に伴い食用魚需要が急速に高まっているが、輸入に依存している高い飼料コストが養殖の普及を阻害する要因の一つとなっている。さらに、肉食性魚類の養殖にはタンパク質含量が高い飼料材が必要となり、高価な魚粉を大量に含む餌が用いられるため、飼料コストがかさむ。そこで、ラオス国内に分布するアメリカミズアブ(*Hermetia illucens*)を人為的に飼育し、得られる幼虫（図 1a）を肉食性のキノボリウオ (*Anabas testudineus*)（図 1b）の養魚飼料のタンパク質源として用いる場合の有効性を検証する。

［成果の内容・特徴］

1. ラオスの高温期である 4-10 月に鶏糞を用いてアメリカミズアブの成虫を誘引することで、容易かつ継続的に産卵させることができる。孵化した幼虫は、果実残渣やビール粕を餌にして簡易に飼育できる。
2. 魚粉のみを動物タンパク質源とした餌（T1、粗タンパク質 32.5%）、魚粉とミズアブ幼虫粉を等量混合した餌（T2、同 30.0%）、およびミズアブ幼虫粉のみをタンパク質源とした餌（T3、同 25.0%）の 3 種（表 1）を用いてキノボリウオ養魚を行うと、T2・T3 飼料では T1 よりもタンパク質含量が低いにも関わらず、主な成長指標（全長、体重、生残率、増肉計数）において有意な差は生じない（表 2）。
3. タンパク質の同化指標であるタンパク質効率（摂取タンパク 1g あたりの体重増加量）は、低タンパクの T3 飼料の方が高タンパクの T1・T2 よりも有意に優れ、同蓄積率（摂取タンパク質が魚体内に蓄積する率）も T3 が T1 よりも有意に優れることから（表 3）、ミズアブ幼虫はキノボリウオにおいて魚粉よりも優れたタンパク質同化性を有するものと考えられる。

［成果の活用面・留意点］

1. 魚粉よりもタンパク質同化性が高いミズアブ幼虫をキノボリウオ養魚飼料として用いることで魚粉依存度を低減し、飼料コストの軽減が図られる。
2. ミズアブ幼虫のキノボリウオにおける高いタンパク質同化性は、キノボリウオの強い昆虫食性に起因すると考えられ、食性の異なる他魚種での有効性は別途検証する必要がある。

［具体的データ］

図 1 アメリカミズアブ幼虫(a)とキノボリウオ(b)

表 1 試験飼料 T1、T2、T3 の一般栄養成分（%乾重量）

飼料成分	T1	T2	T3
粗タンパク質	32.5	30.0	25.0
粗脂肪	6.7	7.6	8.9
粗灰分	11.1	9.5	7.3
デンプン	22.8	28.0	27.7

T1：魚粉のみで調製、T2：魚粉・ミズアブ幼虫粉を混合、T3：ミズアブ幼虫のみ

表 2 試験飼料 T1、T2、T3 によるキノボリウオの成長

成長指標	T1	T2	T3
放流時全長 (mm)*	46.3 ± 7.4	46.3 ± 7.4	46.3 ± 7.4
収獲時全長 (mm)**	159.9 ± 13.6	164.1 ± 11.7	160.9 ± 12.8
放流時体重 (g)*	2.2 ± 1.2	2.2 ± 1.2	2.2 ± 1.2
収獲時体重 (g) **	85.1 ± 25.5	92.0 ± 22.3	83.5 ± 22.2
生残率 (%)***	82.2 ± 2.0	81.7 ± 9.1	81.7 ± 2.9
増肉係数***	3.4 ± 0.2	3.2 ± 0.4	3.2 ± 0.1

数値は全て平均±標準偏差、*n = 180, **n = 60, ***n = 3. T1、T2、T3 は表 1 と同じ

表 3 試験開始時及び T1、T2、T3 飼料で飼育された魚体の収獲時の体成分（水分、粗タンパク、粗脂肪、粗灰分）（% 乾重量）およびタンパク質効率と蓄積率

魚体成分	試験開始時	収獲時		
		T1	T2	T3
水分	77.6 ± 0.2 (6)	63.4 ± 1.5 (18)	62.8 ± 1.0 (18)	63.1 ± 0.8 (18)
粗タンパク質	14.9 ± 0.3 (6)	18.1 ± 0.3 (6)	17.8 ± 0.8 (6)	17.2 ± 0.6 (6)
粗脂肪	2.8 ± 0.1 (6)	12.0 ± 0.9 [a] (12)	12.3 ± 1.7 [a] (12)	14.4 ± 2.2 [b] (12)
粗灰分	3.8 ± 0.6 (6)	5.4 ± 1.0 [a] (18)	5.7 ± 0.7 [a] (18)	4.1 ± 0.8 [b] (18)
タンパク質同化指標		T1	T2	T3
タンパク質効率		**0.9 ± 0.1 [a] (3)**	**1.1 ± 0.1 [a] (3)**	**1.3 ± 0.1 [b] (3)**
タンパク質蓄積率		**16.4 ± 0.7 [a] (3)**	**18.8 ± 2.3 [a,b] (3)**	**21.9 ± 0.8 [b] (3)**

数値は全て平均±標準偏差、*( )内の数字は個体数もしくは試験区数、**異なるアルファベットは試験区間に有意差があることを示す (Tukey HSD test, $p < 0.05$). T1、T2、T3 は表 1 と同じ

［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：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：森岡伸介，Vongvichith B（ラオス水生生物資源研究センター）

発表論文等：Vongvichith B et al. (2020) Fisheries Science, 86:145-151

［成果情報名］**ラオスの重要な食用魚パケオの資源保全に資する生態的情報**

［要約］ラオスの重要な漁業資源であるパケオ*Clupeichthys aesarnensis*はニシン科の小魚で、乾物や発酵食品の主要な原料であるが、主な漁場では乱獲による漁獲量の減少が強く懸念されている。本種は周年産卵することから、適切な資源管理を行うには禁漁期ではなく禁漁区の設定が有効である。

［キーワード］ラオス、パケオ *Clupeichthys aesarnensis*、在来魚種、漁業対象種、資源保全

［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］

インドシナ半島に広く分布するパケオ（*Clupeichthys aesarnensis*、図 1）はニシン科の小型魚で、主に大規模なダム湖で大量に漁獲され、乾物や発酵食品の原料となっている。近年、ラオスでは、本種の需要の高まりとともに、主な漁場であるナムグムダムにおいて過剰な漁獲による漁獲量の減少が強く懸念されており、資源管理の必要性が指摘されている。そこで、同ダムおけるパケオの日齢・成長・繁殖等の生態特性を解明することで個体群の動態を把握し、適切な資源管理の方策を提言する。

［成果の内容・特徴］

1. パケオの耳石（扁平石）には明瞭な日周輪が形成され（図 1）、日周輪の数から個体ごとの日齢を推定できる。
2. 各個体の日齢から推定される孵化日分布は、本種が周年産卵することを示している（図 2）。
3. 生殖腺重量指数（GSI =生殖腺重量/体重 × 100）と体長の関係から、Nam Ngum ダムの最小性成熟サイズは体長 28-30 mm と推定される（図 3）。成長パターンは von Bertalanffy モデル［Lt=44.76·(1-exp(-0.01·t), R^2=0.89, n=486)］で近似され（図 4a）、このモデルから本個体群の理論的最大体長は約 45 mm であり、性成熟（体長 28-30mm）に至る日齢は 100 日強と推定される。
4. 確認された個体の体長は 30-40 mm のものが多く、次いで 20-30 mm の個体が多い（図 4b）。過去には本種の最大体長に関して 70 mm 以上との報告もあるが、今回の調査では体長 50 mm 以上の個体は極めて少なく（50mm 以上の個体は 0.4%）、また上記モデルの理論的最大サイズ（約 45 mm）を考え合わせると（図 4a）、サイズの小型化が進んだことが示唆される。この小型化は、乱獲および大型個体の選択的漁獲による進化的小型化(evolutionary down-sizing)である可能性があり、本種は資源管理の必要性が高い。
5. 本種は周年産卵することから（図 2）、適切な資源管理を行うには、産卵個体群の保全の観点から、禁漁期よりも禁漁区の設定が有効である。

［成果の活用面・留意点］

1. パケオの生態特性に基づく適切な資源管理が可能となり、産卵水域を特定することで効果的な禁漁区の設定箇所を提示することができる。
2. 漁師数や漁具の数も増加傾向にあることから、漁獲ライセンス制の導入や漁具数の制限等、漁獲量の規制についても検討する必要がある。

［具体的データ］

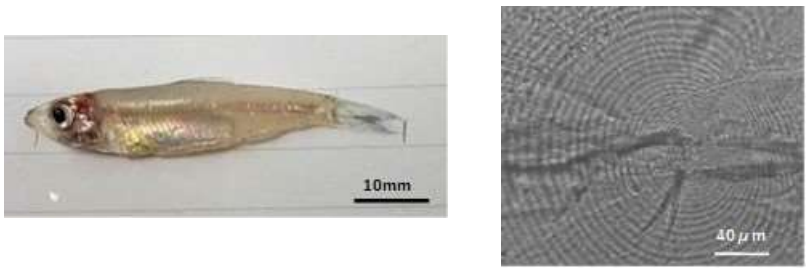


図 1 パケオ成魚（体長約 40mm）（左）、および耳石の日周輪（右）

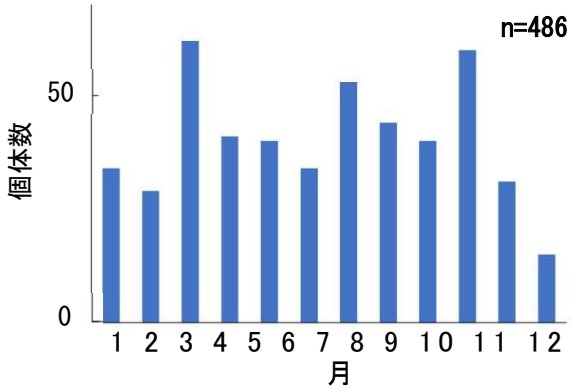


図 2 パケオ個体群の孵化月分布

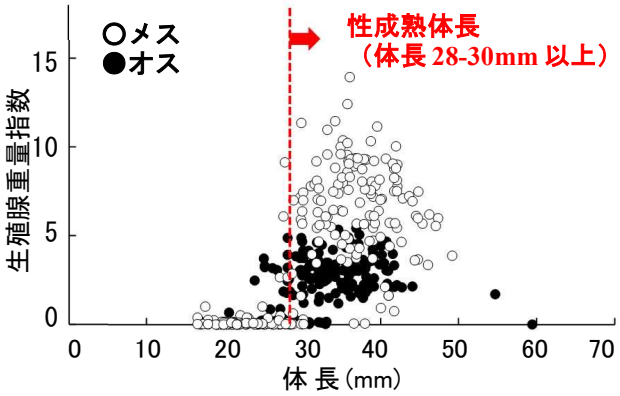


図 3 パケオの体長と GSI の関係

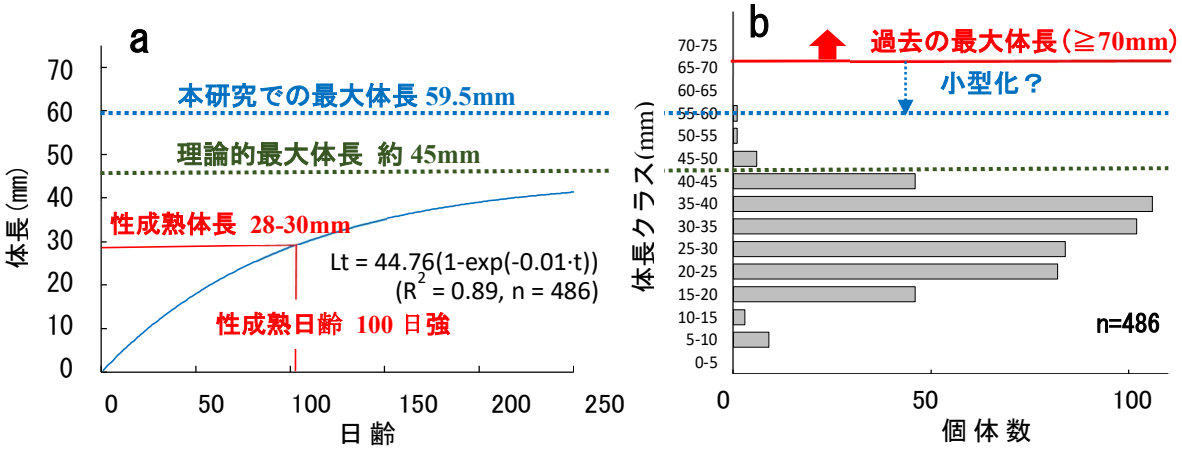


図 4 パケオ個体群の成長モデル(a)と体長頻度分布(b)

［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：2018 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：森岡伸介、丸井淳一朗

発表論文等：Morioka S et al. (2019) Fisheries Science, 85:667-675

［成果情報名］**家禽加工残渣の活用によるミルクフィッシュ用魚粉削減飼料の開発**

［要約］ミルクフィッシュ養殖用飼料原料として家禽加工残渣を 12%配合することにより、ミルクフィッシュ養殖用飼料中の魚粉を 75%、魚油を 15%削減できる。本飼料を用いることで、近年高騰する魚粉及び魚油の使用量が削減され、養殖魚の成長率や化学成分含量、味わいに影響を及ぼすことなく、飼料コスト軽減による水産養殖業者の経営改善が期待できる。

［キーワード］養殖飼料、魚粉削減飼料、ミルクフィッシュ、家禽加工残渣

［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］

水産養殖用飼料の主要タンパク質源である魚粉や主要脂質源である魚油の価格は、原料となる魚の漁獲量減少と世界規模での給餌養殖の発展に伴う需要過多によって高騰しており、この結果生じている飼料コストの増大が水産養殖業者の経営を圧迫している。現地で利用可能な安価で効率的な代替原料の有効性を検証し、魚粉及び魚油への依存率を低下させることを目指し、フィリピンでは養殖用飼料原料として殆ど利用されていない家禽加工残渣をミルクフィッシュ（図 1）養殖用飼料の原料として活用した魚粉削減飼料を開発する。

［成果の内容・特徴］

1. タンパク質含量約 27%、脂質含量約 10%、炭水化物含量約 31%に調製した 3 種類の実験用飼料（表 1）を用いてミルクフィッシュ稚魚（約 50g）から市場サイズ（300g 超）までの飼育成長試験を行うと、ミルクフィッシュの増重率、日間成長率、増肉係数及び生残率に有意差は認められない（one-way ANOVA 及び Fisher’s PLSD、以下同様）（図 2A）。
2. 収穫時のミルクフィッシュ血漿中のリン脂質、トリアシルグリセロール及び総コレステロール濃度等の化学成分についても、飼料による有意な影響は認められない（図 2B）。
3. 収穫魚の筋肉における粗タンパク質、粗脂質、灰分及び水分の含量にも有意な差は認められず（図 2C）、全魚体、肝臓においても同様であった。
4. 収穫された魚の臭い、味、歯応え等への嗜好性に関する一般人及び研究者 48 名による 5 段階評価では、飼料による顕著な差はみられない。
5. 上記の結果から、家禽加工残渣を用いた魚粉削減飼料には従来の飼料と同等の成長効果が期待でき、生産されたミルクフィッシュの品質にも問題が無いことが示唆される。

［成果の活用面・留意点］

1. 開発された家禽加工残渣飼料の汎用性を確認することにより、ミルクフィッシュ以外の養殖魚種の飼料にも活用できる可能性がある。
2. 家禽加工残渣のロットごとの成分組成に合わせて配合比率を調整する必要がある。

［具体的データ］

図 1 収穫されたミルクフィッシュ（*Chanos chanos*）尾又長 29.8cm

表 1 実験用飼料の家禽加工残渣・魚粉・魚油配合率

	CTF	LPF	HPF
家禽加工残渣	0%	8%	12%
魚　粉	20%	10% (-50%)	5% (-75%)
魚　油	4.45%	4.00% (-10%)	3.78% (-15%)

（ ）内は魚粉・魚油の削減率を示す。CTF：対照飼料、
LPF：低家禽加工残渣飼料、HPF：高家禽加工残渣飼料

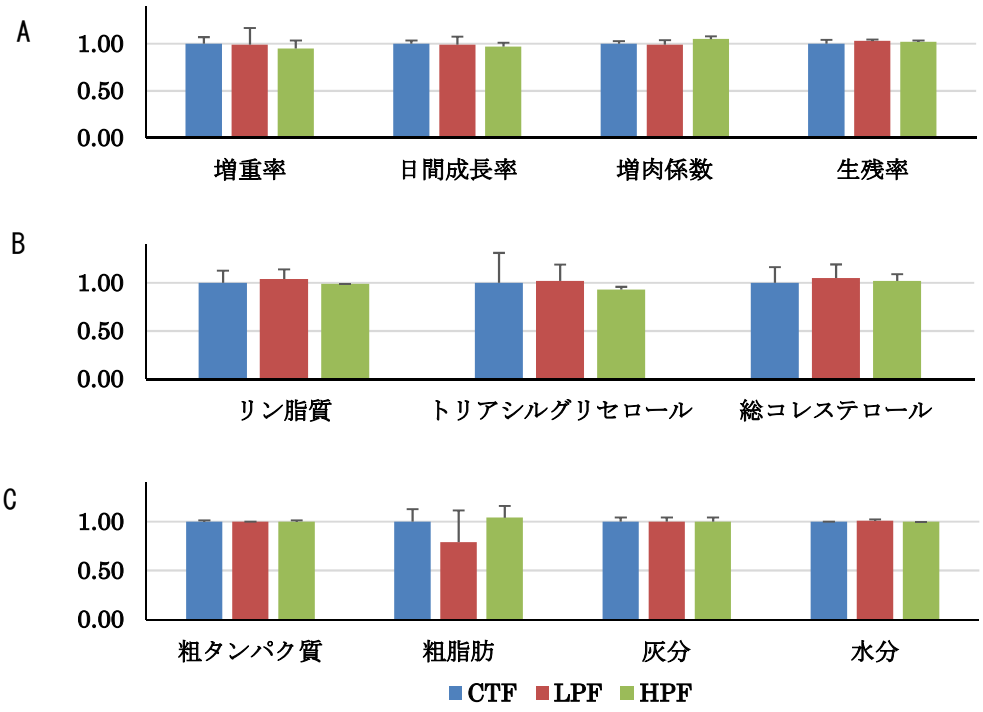


図 2 ミルクフィッシュの成長、収穫時の品質に及ぼす実験飼料の効果

（CTF 区の値を 1.00 とした場合の相対値）

実験開始時尾数：1,483±1 尾、飼育期間：84 日、平均水温：28.3 ± 1.2℃

A 成長・生残、B 収穫時の血漿中化学成分含量（N=10×2 反復）、

C 収穫時の筋肉成分含量（N=15×2 反復）

［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：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：杉田毅（水研機構 瀬戸内水研）、Gavile AB・Sumbing JG(SEAFDEC/AQD)

発表論文等：Sugita T et al. (2020) Japan Agricultural Research Quarterly, No54(3)（掲載予定）

［成果情報名］**RNA 干渉法によるバナメイエビ卵黄形成抑制ホルモン遺伝子の発現抑制**

［要約］バナメイエビにおける卵黄形成抑制ホルモンの遺伝子構造を明らかにし、定量 PCR 法を構築することにより、体内の遺伝子発現量の変動を把握できる。また、遺伝子情報を基に RNA 干渉法を用いることで卵黄形成抑制ホルモンの遺伝子発現を抑制できる。

［キーワード］バナメイエビ、卵黄形成抑制ホルモン、卵成熟、眼柄切除、RNA 干渉法

［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］

クルマエビ類のふ化場では卵成熟及び産卵を人為的に誘導させるため眼柄切除を行っているが、動物福祉の観点から社会的な批判を浴びている。一般的に、眼柄切除を行うことで、眼柄内に存在する卵黄形成抑制ホルモン(vitellogenesis-inhibiting hormone; VIH)を除去することができ、卵成熟を促進させる結果となる。有用エビ類における眼柄切除に代わる新たな卵成熟促進技術の開発を図るため、バナメイエビの卵黄形成抑制ホルモン遺伝子の構造を明らかにし、RNA 干渉法を用いることにより、卵黄形成抑制ホルモンの遺伝子発現を抑制する。遺伝子発現を抑制することにより、体内で卵黄形成抑制ホルモンの合成を抑えることを目的とする。

［成果の内容・特徴］

1. バナメイエビで卵成熟を抑制する VIH の作用を持つ 5 種類の眼柄由来ペプチド(sinus gland peptides; SGP-A, -B, -C, -F, -G)の遺伝子構造を明らかにする（図 1）。
2. 5 種類の SGP の遺伝子発現量を測定する定量 PCR 法を構築することにより、バナメイエビにおける VIH 作用を持つそれぞれの *SGP* 遺伝子発現量を比較することが可能になる。
3. バナメイエビの眼柄で最も多く存在する眼柄由来ペプチド、SGP-G の遺伝子に対する二本鎖 RNA(VIH-dsRNA)を作成することができる（二本鎖 RNA とは、2 本の相補的な塩基配列を持つ合成 RNA である）。
4. 雌親エビ（体重 50～70 g）へ体重 1 g 当たり 3 µg の VIH-dsRNA を 1 回注射するだけで、投与してから 20 日間を通じて、眼柄での標的遺伝子（卵黄形成抑制ホルモン：*SGP-G*）の発現量を 10%以下に減少させることができる（図 2）。
5. 上記の RNA 干渉法により、バナメイエビにおける主要な卵黄形成抑制ホルモンの遺伝子発現を抑制することが可能になる。

［成果の活用面・留意点］

1. 主要な卵黄形成抑制ホルモンのみならず、複数の卵黄形成抑制ホルモンに対する二本鎖 RNA を作成し投与することにより、卵成熟への促進効果を増加させることができると期待される。
2. クルマエビ類では卵黄形成抑制ホルモンのアミノ酸配列が類似していることから、バナメイエビのみならず、他のクルマエビ類への適応が期待される。
3. エビに優しい新たな種苗生産技術を提供し、養殖産業の発展に寄与する。

［具体的データ］

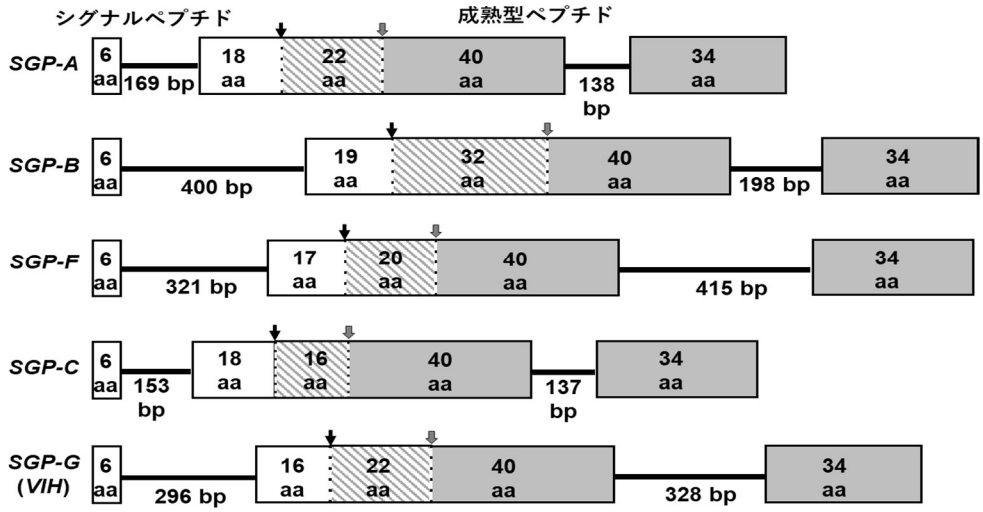


図 1 バナメイエビにおける卵黄形成抑制ホルモン作用を持つ *SGP* 遺伝子の構造模式図

遺伝子のイントロン領域は bp（base pair；塩基対）、エクソン領域は aa（amino acid；アミノ酸）で示す。図は Kang et al. (2018)を改変 (Copyright: Fisheries Science)。

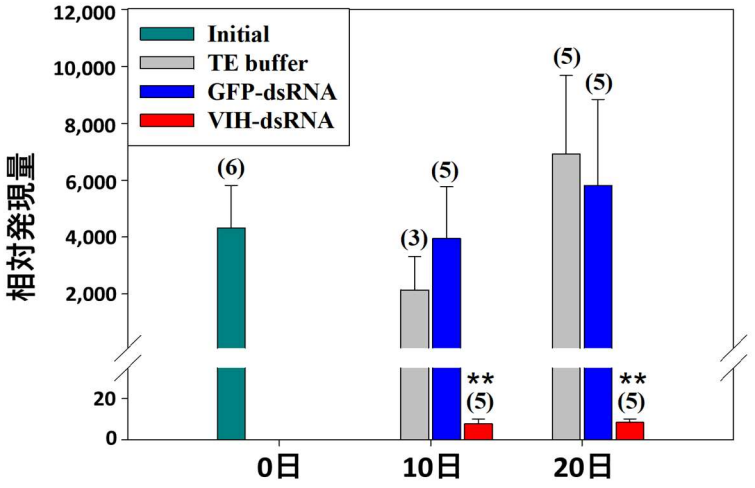


図 2 VIH-dsRNA 注射による *SGP-G* 遺伝子発現の抑制

Initial：無処理区、TE buffer：調整バッファー投与区、GFP-dsRNA：緑色蛍光タンパク質(Green Fluorescent Protein: GFP)二本鎖 RNA 投与区、VIH-dsRNA：VIH-dsRNA 投与区。( ) は各区の個体数を示す。図は Kang et al. (2019)を改変 (Copyright: Aquaculture)。

［その他］

研究課題：成熟機構解明による有用エビ類の高度な種苗生産・養殖技術の開発

プログラム名：国際的な農林水産業に関する動向把握のための情報収集、分析及び提供

予算区分：交付金［目的基礎「エビ成熟」］

研究期間：2019 年度（2016～2020 年度）

研究担当者：Kang BJ・Wilder MN

発表論文等：Kang BJ et al. (2018) Fisheries Science, No84:649-662

Kang BJ et al. (2019) Aquaculture, No506:119-126

［成果情報名］**国内保有マンゴー遺伝資源の多様性および品種特性**

［要約］国際農研および沖縄県農業研究センターで保存されているマンゴー遺伝資源 120 点は、SSR マーカーによる系統および遺伝的多様性の解析により、重複を除いた 83 の異なる遺伝子型に区別され、育成地を反映する 3 つのグループに分かれる。世界各国に由来するこれらの遺伝情報および品種特性情報は、品種利用の促進や多様性比較の基盤として活用できる。

［キーワード］マンゴー、遺伝資源、SSR マーカー、遺伝的多様性、品種特性

［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］

マンゴー(*Mangifera indica*)はわが国でも 1980 年代以降に本格的に経済栽培されるようになり、現在では沖縄・九州を中心とした特産果樹として年間およそ 3,000 トンが生産されており（農水省統計、平成 28 年産特産果樹生産動態等調査)、温暖化対応として今後も生産拡大が期待されている。国産マンゴーの 9 割超は品種‘アーウィン’で占められているが、収穫期分散や嗜好の多様化への選択肢拡大のためにも多様な品種の活用が望ましい。そこで、本研究では国際農研および沖縄県農研センターで保存しているマンゴー遺伝資源の遺伝的多様性や類縁関係を把握し、遺伝資源の利活用に向けた基盤情報を整備する。

［成果の内容・特徴］

1. 日本国内で保存しているマンゴー遺伝資源 120 点(国際農研 89 点および沖縄県農研セ 31 点）は 47 個の Simple Sequence Repeat (SSR)マーカーによる多型解析により 83 の異なる遺伝子型（83 品種）に分類される。すなわち、同一遺伝子型（異名同品種）が存在する。
2. 83 品種は主座標分析により大きく 3 つのグループに分かれ、うち 2 つは米国（フロリダ・ハワイ）およびマンゴーの原産地の一つであるインドに由来する品種で構成される。残りのグループにはもう一つのマンゴー原産地である東南アジア（タイ、ベトナム、フィリピン)、および東アジア（台湾）の品種が含まれている（図 1)。これらの結果は，インド型および東南アジア型に遺伝的に大別される過去の分類を支持するとともに、主に両者の交雑に由来する米国の品種は両者の中間ないしはインド型に近い遺伝的背景を有することを示唆している。
3. 国際農研が保有する遺伝資源のうち、熱帯・島嶼研究拠点（沖縄県石垣島）での栽培で開花・結実した 62 品種について栽培・果実特性を調査し、品種情報を提供するデータベース「JIRCAS マンゴー遺伝資源サイト」として公開している（図 2)。

［成果の活用面・留意点］

1. 同一遺伝子型を示した品種については、導入経緯や由来のより明確なものを代表とし、83 品種の保有遺伝資源に整理した。
2. 本研究における SSR マーカー解析で得られた知見や遺伝子型データは、世界に広く流通する主要品種の遺伝情報として、特定の地域の遺伝資源の多様性評価の比較対照や品種識別情報への利活用が期待される。また、国内における育種選抜マーカーとしての利用も見込める。
3. 「JIRCAS マンゴー遺伝資源サイト」の品種情報は、沖縄県石垣島における 2010～2011 年の栽培・調査に基づき、国内の研究者、生産者、消費者を対象とした多様なマンゴー品種の紹介および栽培特性（開花期、収穫期)、果実品質特性（外観、食味）などの情報提供を目的とする。

［具体的データ］

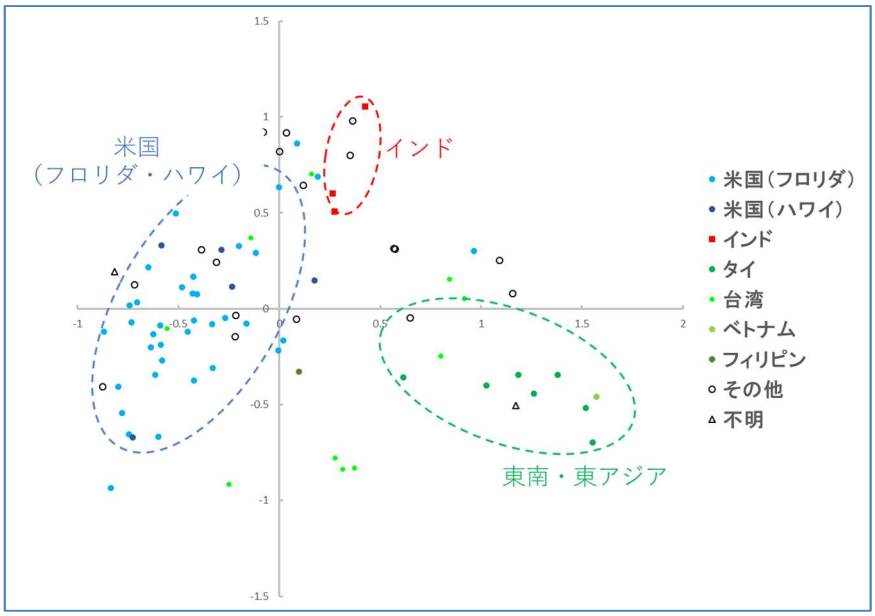


図 1 国内保有マンゴー遺伝資源 83 品種の SSR マーカーに基づく主座標分析結果

育成地に基づく 3 つのグループ（点線囲み）に大別される

図 2 国際農研が保有するマンゴー遺伝資源（左）、「JIRCAS マンゴー遺伝資源サイト」トップページ（中央）および品種特性情報ページ（右）

［その他］

研究課題：国内外への展開を目指した熱帯・島嶼研究拠点の戦略的熱帯果樹研究

プログラム名：国際的な農林水産業に関する動向把握のための情報の収集、分析及び提供

予算区分：交付金［熱帯作物開発］、交付金［目的基礎「戦略的熱帯果樹研究」］

研究期間：2019 年度（2011～2020 年度）

研究担当者：山中愼介・緒方達志・高木洋子、香西直子（鹿児島大）、松村まさと・尾上（牧志）佑子・浦崎直也・正田守幸（沖縄県農研セ）、奈島賢児（日本大学）、保坂ふみ子・山本俊哉（農研機構）

発表論文等：1) Yamanaka S et al. (2019) Breeding Science, 69:332-344

2)「JIRCAS マンゴー遺伝資源サイト」
https://www.jircas.go.jp/ja/database/mango/mango-top