

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：10105

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26304022

研究課題名(和文) アフリカ在来種を基盤としたトウモロコシのポストハーベスト・ロス低減システム

研究課題名(英文) Post harvest loss reduction system of maize by using African local varieties

研究代表者

小疇 浩 (Koaze, Hiroshi)

帯広畜産大学・畜産学部・教授

研究者番号：30374763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：マラウイの在来品種はかなりの割合でハイブリッド品種との交雑が進んでおり、その保全の必要性が示唆された。土壌分析の結果から、カリウムやカルシウム等が土壤中に不足し、それらを供給することで収量が向上し、貯穀害虫耐性も改善することが確認された。子実の成分分析と貯蔵性試験から、貯蔵性には品種の影響が大きく、穀粒硬度の高さが貯穀害虫被害低減の鍵であることが示された。また、マラウイに自生するいくつかの植物には貯穀害虫忌避効果があることが認められた。以上の結果から、トウモロコシ生産には堆肥やカルシウム資材を併用し、穀粒硬度の高い在来品種を活用することで、ポストハーベスト・ロスを低減できることが示された。

研究成果の概要(英文)：It was appeared that local maize varieties of Malawi has been crossed with hybrid varieties, and there needs to conserve these local varieties. Results of soil analysis indicate deficiency of potassium and calcium in soil, but their application will change the yield and insect resistance. From the results of physicochemical analysis of grain and storage experiment, it was indicated that selection of variety is most important for resistance against insect attack, and grain hardness is a key factor to decrease postharvest-loss by stored grain pest. Moreover, there are some species of indigenous plants in Malawi which works as repellent of stored grain pest. Our results indicate that it is possible to decrease postharvest-loss by applying manure compost and calcium fertilizer, and selection of local varieties which has higher grain hardness.

研究分野：食品工学

キーワード：ポストハーベスト・ロス 在来品種 マラウイ Prostephanus truncatus 土壌分析 成分分析 植物  
農薬 LGB

## 1. 研究開始当初の背景

現在、世界では9.3億人が飢餓と栄養不足の被害にさらされており、申請者らが活動拠点としてきた東南部アフリカ地域に属するマラウイ共和国(以下マラウイ)においても、全人口の約30%が十分な栄養を摂取できていない。マラウイではトウモロコシが主食用穀物として利用され、一日摂取カロリーの主な供給源となっている。国民の多くは、小規模生産で自給自足的な農業生産に従事するため、次年度の収穫までの間に必要な穀物の確保と貯蔵が重要な課題となっている。これまで申請者は、JICA 草の根協力事業において、トウモロコシ栽培における家畜糞尿などの未利用資源を有効活用する耕畜連携農法を構築し、現地農家および農業改良普及員への普及活動を展開してきた。主要穀物であるトウモロコシの生産量は、アフリカ地域では世界平均(4.7 t/ha)を大幅に下回る1.8 t/haであり、マラウイはさらに低い1.7 t/haである。しかし、当プロジェクトでは、土壌肥沃度が低いとされるマラウイの農耕地においても、適正な肥培管理の実践によって5.3 t/haと世界平均を超えるトウモロコシ収量を実現し、さらにカリウム源として家畜糞尿堆肥を併用することが欧米レベルと同程度の収量(7.8 t/ha)を達成するキーテクノロジーであることを提案してきた。一方、JICAプロジェクトを進める中で、トウモロコシの生産性が向上しても貯蔵技術が未発達であるため、貯蔵期間中に甚大な害虫被害(ポストハーベスト・ロス)が生じている問題が顕在化してきた。マラウイにおける最重要農業害虫は貯蔵害虫の *Prostephanus truncatus* (英名: Larger Grain Borer (以下LGB)) であり、毎年トウモロコシ収量の約30~40%が当貯蔵害虫のポストハーベスト・ロスにより損失している現状にある。つまり、そもそも少ない見かけ収量(圃場での収量)しか上がらないトウモロコシが貯蔵害虫に食害さ

れることで、実際に消費者の摂食可能な正味収量(食べれる量)が一層減少し、貧困に拍車がかかる構図が浮き彫りとなってきた。さらに、現在マラウイでは、政府が欧米より輸入した見かけ収量性の高いハイブリッド種の栽培が急激に拡大している。しかし、これらハイブリッド種は先進国の施肥技術・栽培技術・防除技術・貯蔵技術と組になって初めて安定的な収量の増加が見込まれるものであり、そうした技術の伴わないマラウイでは、ハイブリッド種の導入を開始した98年以降、気候の変動や病害虫のアウトブレイクにより、その収量は乱高下を繰り返している不安定な状況にある。

以上のようなマラウイにおけるトウモロコシ栽培の実情と申請者らの5年間にわたるトウモロコシの栽培・貯蔵試験を通じ、以下に記す①耐虫性の高い在来種の採用②施肥技術による耐虫性の向上③天然殺虫資材による貯蔵害虫防除の3つのアプローチから成る、全く新しいポストハーベスト・ロス低減システムを着想するに至った。

## 2. 研究の目的

現在マラウイではハイブリッド種の他に、各地域で自家採種により独自に系統が維持されている在来種も栽培されている。在来種は食味の良さから消費者の嗜好性が高いものの、ハイブリッド種に比べ見かけ収量が低いため、その栽培面積はハイブリッド種に凌駕されつつある。ところが、申請者らが適正な肥培管理の下、在来種の栽培試験を実施したところ、ハイブリッド種には劣るものの4.7 t/haと世界平均と同レベルの収量をあげるポテンシャルを有することが明らかとなった。さらに、貯蔵性の準備研究において、在来種は貯蔵中の耐虫性に非常に優れている可能性が見出された。従って、ハイブリッド種の普及により各地域で消滅しつつある在来種は、ポストハーベスト・ロス低減にお

ける貴重な遺伝資源であり、その保全と有効利用が重要であると考えられた。そこで、本調査研究ではマラウイ全土で栽培される在来種のサンプリングを実施し、その多様性や遺伝的特徴、ハイブリッド種との浸透交雑の可能性を調査するとともに、貯穀害虫への耐性を評価することでポストハーベスト・ロス低減に向けた在来種の有用性を把握することを目的とした。

申請者らの準備研究において異なる施肥条件で栽培したハイブリッド種を用いて *Sitophilus* の食害バイオアッセイを実施したところ、食被害および *Sitophilus* 増殖率に大きな差が生じることが示唆された。これは異なる施肥条件がトウモロコシの生長および生理活性に変化を与えることで、植物体の耐虫性や害虫の嗜好性、餌としての栄養条件に影響を与え、結果として害虫被害や密度に差が生じたものと考えられる。そこで、本調査研究では毎年度現地圃場にて施肥条件の異なる在来種栽培圃場を設置し、子実の外形品質・栄養状態に与える影響を評価するとともに、それらと害虫被害や密度、嗜好性との相互関係を明らかにすることを目的とした。また、在来種のもつ収量ポテンシャルを把握するため、前述の適正肥培管理に加え、堆肥や各種微量元素の施用効果についても検討した。

かつてマラウイでは貯穀害虫被害を抑制する手段として、様々な野生植物成分を活用した植物農薬の利用が一般的であった。しかし、90年代以降先進国より安価な化学殺虫剤が導入・普及されたことにより、主な防除手段は殺虫剤に完全に置き換わった。しかし、結果としてLGBは安価な主要殺虫剤に対し高度に抵抗性を発達させたことから、これに代わる新たな防除技術のイノベーションが期待されている。そこで、本調査研究では殺虫剤時代以前に使われていた植物農薬の貯穀害虫被害・増殖抑制および忌避効果を科学的

に検証することを目的とした。

以上、収量と貯蔵性に優れた在来種を採用しつつ、肥培管理により植物体に内在する先天的な害虫耐性を引き出すことで予防的に害虫被害を低減し、さらにこれを殺虫性天然資材が害虫を補完的に抑制するという、全く新しいポストハーベスト・ロス低減システムを提案することを旨とし、調査研究を展開した。

### 3. 研究の方法

#### 3-1 トウモロコシ栽培試験

2013年12月から2014年5月までの雨期に、チテゼ農業試験場(CARS)においてトウモロコシの栽培試験区を設置した。化学肥料半量施用区、化学肥料標準量施用区、化学肥料半量+牛ふん堆肥併用区、化学肥料標準量+牛ふん堆肥併用区の4水準とした。品種は、政府が推奨している高収量のハイブリッド品種と、各地域で伝統的に栽培されている在来品種とした。施肥4水準と品種2つを組み合わせ、3反復で栽培を行い、収穫後に乾燥と脱穀を行って穀粒収量を調査した。

2014年12月から2015年5月までの雨期に、CARSにおいてトウモロコシの栽培試験区を設置した。供試品種は、2014年に農家から採集した**在来品種のうち種子量が十分に確保できた6品種**とした。また、比較品種としてマラウイ国内で栽培されている、セミフリント型とセミデント型のハイブリッド品種をそれぞれ1品種ずつ供試した。施肥は化学肥料をマラウイの推奨量に従った。

2015年12月から2016年5月までの雨期に、CARSにおいてトウモロコシの栽培試験区を設置した。2015年度収穫の**在来新種から有望な2品種**を選抜し、試験に用いた。ハイブリッド品種はセミフリント型のものを用いた。施肥は化学肥料標準区、それに石膏肥料を100kg/ha加えた化学肥料+石膏施用区、苦土石灰を100kg/ha加えた化学肥料+苦土

石灰施用区とした。

### 3-2 トウモロコシ在来品種のサンプリングと遺伝解析

在来品種の採集は、2014年にマラウイ北部(4ヶ所)と中部地域(10ヶ所)の一般農家において実施した。また、CARSのジーンバンクがマラウイ全域からサンプリングした在来品種の分譲を受けた。遺伝解析は採集した在来品種から計46品種とハイブリッド2品種を実験材料として供試した。52個のSSRマーカーとハイブリッド2品種を用いて一次スクリーニングを行い、品種間の多型解析に使用可能な20マーカーを選抜した。その後、マーカー毎に全品種の遺伝型を決定し品種間の遺伝距離を算出した。

### 3-3 土壌理化学特性

試験区を設置する前に、各圃場から表層土壌を採取した。採取した土壌試料は、風乾して風乾細土を調製した。風乾細土を供試して、土壌pH、電気伝導度(EC)、有効態リン酸量、リン酸吸収係数、陽イオン交換容量(CEC)、交換性陽イオン(Ca, Mg, K)量、灼熱損量(LOI)を以下の方法で分析した。

### 3-4 トウモロコシ穀粒の物理化学成分分析

一般化学成分分析により、含水率、粗タンパク質含量、粗脂肪含量、灰分含量を測定した。また、試料を希塩酸に溶解後、主要元素含量についてICPを用いて決定した。また、総デンプン含量、アミロース含量、損傷デンプン含量および $\alpha$ -アミラーゼ活性についても測定した。穀粒硬度は、ブランジャーを貫入させて測定した。

### 3-5 LGB耐性貯蔵試験

貯蔵試験は、各年度に収穫したトウモロコシ子実を用いて実施した。貯蔵試験は200gの子実とLGB成虫を30匹(0~7日齢)をガラス瓶に入れ、28~16時間日長のインキュベータ内で飼育した。ガラス瓶設置から4~12週間後に瓶の中身を3段ふるい(目開き; 4.0mm、1.0mm)にかけ、子実とLGB、穀粒分

に分けた。これにより、生存成虫数、被害粒数率、被害重率、粉重量を記録し、LGB抵抗性を評価した。

### 3-6 植物粉末・抽出液のLGB忌避効果

マラウイ国内に自生する植物をサンプリングし、これらの粉末または水抽出液を用いてLGBに対する忌避効果を評価した。植物サンプルは47種で、植物サンプルは乾燥させ乳鉢内で粉末状になるまで摩砕したもの、もしくは乾燥植物を蒸留水中で摩砕した水抽出液を用いた。

## 4. 研究成果

### 4-1 トウモロコシ栽培試験

2014年5月収穫のハイブリッド種に化学肥料標準量と牛ふん堆肥を併用した区で平均収量が6.2 t/haと最も高く、牛ふん堆肥を併用したことによる収量増加の効果が顕著であった。在来品種は、全体的にハイブリッド種より収量が低いものの、化学肥料に牛ふん堆肥を併用することにより収量が明らかに高くなり、約4 t/ha近い収量に達した。在来品種では、化学肥料標準量区と半量区との収量差が小さい、あるいは半量区の収量が高い傾向にあり、化学肥料の減肥が可能であることが示唆された。2015年5月収穫の在来品種の収量は4.3 t/ha~7.0 t/haとなり、ハイブリッド品種は6.2 t/haと7.1 t/haとなった。在来品種間に幅広い遺伝的変異が認められ、全体的にハイブリッド品種の収量が高いものの、L3のようにセミデントを超え、セミフリントと同程度の収量を記録した在来品種も確認された。2016年5月収穫の在来品種1および2は標準施肥(それぞれ4.6 t/haおよび5.0 t/ha)に比べ、石膏肥料施用区(それぞれ4.9 t/haおよび5.2 t/ha)で4.8%と3.6%の増収、苦土石灰施用区(それぞれ5.0 t/haおよび5.3 t/ha)で4.8%と4.3%の増収が見られた。在来品種では土壌分析結果が示す通り、土壌中の交換性カルシウム量が不足しており、これらの増収はそうした収

量性の制限因子が取り除かれたことによるものと考えられる。また、当圃場では交換性カルシウムに加え、交換性マグネシウム両も不足していることから、両イオンを供給可能な苦土石灰においてより高い収量を上げたものと考えられる。

#### 4-2 トウモロコシ在来品種の遺伝解析

マラウイ北部の4地域から計6品種および中部地域の10地域から計20品種の在来品種を採集した。また、CARSのジーンバンクに保管されている在来品種のうち、北部地域および南部地域で採集されたそれぞれ27品種および3品種について種子の分譲をうけた。SSRマーカーを用いて48品種の多型解析を行い系統樹を作成したところ、供試した48品種は4つのグループに分類されたが、採集地域や採集地の標高、子実の粒色に明確な関係性は確認されず、これらのグループにはハイブリッド品種が混在することが明らかになった。このため、マラウイの在来品種は自由交雑によって在来品種と近代品種が混在した雑多な集団であることが示唆された。

#### 4-3 土壌理化学特性

CARSの表層土壌は、いずれの試料も弱酸性を呈し、有効態リン酸量が少なかった。リン酸吸収係数が1,000未満と低かったことから、リン酸の固定による不可給化が起こる可能性は低いと考えられた。Block BとBlock Gのいずれも陽イオン交換容が10以上であったが、長期間の耕作を行ってきたBlock Bでは灼熱損量が少なく、CECが11.5と低かったことから、土壌有機物の分解が耕起によって促進されたこと、圃場への有機物還元量が不足していることなどにより、土壌有機物量が減少して保肥力が低下していると考えられた。また、Block BはBlock Gと比べて、交換性陽イオン量が少なく、かつ塩基飽和度が低い。とくに、交換性カリウムが著しく少なく、カリウムを含まない高度化成肥料を継続的に施用してきたこと、メイズやキャッサバ

の栽培に伴って土壌中のカリウムが吸収されて圃場系外に持ち出されたことなどが主な要因であると考えられた。

#### 4-4 トウモロコシ穀粒の物理化学成分分析

化学成分の一般分析の結果から、在来種はハイブリッド種よりも、有意に高い灰分、粗蛋白質、マグネシウム、リンおよびスクロース含量を示した。穀粒硬度は、一般化学成分の分析結果と穀粒硬度では、粗タンパク含量およびマグネシウム、リン、カルシウムと亜鉛含量の間における相関性が高いことが示された。施肥条件の同じ在来種とハイブリッド種との間に、有意な硬度の差が確認されたが、施肥量による同一品種内での硬度の変化は認められなかった。また、穀粒硬度と高い相関性を示す一般化学成分は、粗タンパク質含量およびその主成分である総ゼイン含量、灰分が上げられる。粗タンパク質および主成分であるゼインは、穀粒硬度に大きな影響を与えるため、非常に重要な役割を果たしていることが確認された。6種類の在来種を成分分析に供試した。在来種の穀粒硬度と、ゼインタンパク質の構成成分であるゼインおよびゼインに高い相関が見られた。在来種3品種とハイブリッド種のフリント系およびデント系の分別を行い、系列ごとに一般化学成分分析と穀粒硬度の測定を行ったところ、穀粒硬度は、フリント系がデント系に比べ高いことが確認された。一般化学成分の比較において、フリント系はデント系との比較において、総デンプン含量が低く、アミロース含量が高い。更に、粗タンパク含量および総ゼイン含量もフリント系が高いことが確認された。従って、自然交配するメイズの生産において、より多くのフリント系を生産する品種が、相対的に高い穀粒硬度を有するために長期貯蔵性が高いと推察される。以上の結果から、マラウイ共和国で伝統的に農民が伝承してきた在来種は、タンパク質含量およびミネラル組成で、収量の高いハイブリッド

種に比べ優れていることが認められた。

#### 4-5 LGB 耐性貯蔵試験

2013 年収穫の堆肥施用トウモロコシの子実を用いた貯蔵試験では、LGB 死個体数は 4 週後から 12 週後にかけて増化し、同一品種間で施肥間の効果は認められなかったものの、在来品種においてハイブリッド品種に比べ有意に高い死個体数が見られた。さらに穀粒の成分分析結果と LGB 耐性との相関を見たところ、LGB 成虫数は穀粒硬度および灰分量、Mg、P、K、Zn、22-kDa ゼインと正の相関が見られ、在来品種はハイブリッド品種に比べ、より高い穀粒硬度を有することから LGB 耐性を有するものと考えられた。2015 年収穫の 6 品種の在来品種の子実を用いた貯蔵試験では、L6 において最も高い LGB 成虫数を記録したものの、L1 および L3 では少ない LGB 成虫数となったことから両在来品種は LGB 耐性を有するものと考えられる。このように、在来品種間においても品種間に大きな変異が存在することが明らかとなった。2016 年度収穫のカルシウム資材を施用した子実を用いた貯蔵試験では、LGB 成虫数および被害粒数、被害粒重と品種間に、LGB 死個体数および粉重と施肥間で相関が見られた。L2 は有意に低い LGB 成虫数と被害粒数を示したことから、他の 2 品種に比べより高い LGB 耐性を有するものと考えられる。また、石膏施肥により、LGB 被害を減少させる傾向が認められた。

#### 4-6 植物粉末・抽出液の LGB 忌避効果

植物サンプルの乾燥粉末を子実に混ぜた試験では、1 種において有意に高い LGB 脱出頭数を記録した。また、植物抽出液を用いた忌避試験では、6 種の植物において接触忌避による LGB 忌避効果が認められた。

### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

D. Murayama, T. Yamazawa, C. Munthali, E. N. Bernard, R. L. Gondwe, J. Palta, M. Tani, H. Koaze, and D. Aiuchi. Superiority of

Malawian orange local maize variety in nutrients, cookability and storability. African Journal of Agricultural Research, 12: 1618-1628 (2017)査読有 [学会発表](計 6 件)

半田望、Chandiona Munthali、相内大吾、谷昌幸、小疇浩、大西一光、森正彦 マラウイのトウモロコシ「ローカル品種」におけるオオコナナガシクイムシ抵抗性の遺伝変異 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会 2016 年 12 月 北海道・札幌市・北海道大学

半田望、Chandiona Munthali、相内大吾、谷昌幸、小疇浩、大西一光、森正彦 マラウイのトウモロコシ「ローカル品種」の収量性と貯蔵害虫抵抗性 日本作物学会第 242 回講演会 2016 年 9 月 滋賀県・大津市・龍谷大学

山澤智香、村山大樹、デニス・M・O・サンチャゴ、相内大吾、谷昌幸、山内宏昭、小疇浩 トウモロコシ穀粒の硬度に与える化学成分の影響 日本食品科学工学会 2015 年 8 月 京都府・京都市・京都大学

半田望、山澤智香、河原田侑希、Chandiona Munthali、相内大吾、谷昌幸、小疇浩、大西一光、森正彦 マラウイのポストハーベスト・ロス低減に向けたトウモロコシ“Local”品種利用の可能性 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会 2015 年 5 月 北海道・札幌市・北海道大学

山澤智香、村山大樹、デニス・M・O・サンチャゴ、相内大吾、谷昌幸、山内宏昭、小疇浩 トウモロコシ穀粒の硬度に及ぼす化学成分の影響 日本食品科学工学会 2015 年北海道支部会 2015 年 2 月 北海道・函館・ロワジュールホテル函館

村山大樹、相内大吾、谷昌幸、山内宏昭、小疇浩 トウモロコシ乾燥粉の糊化特性に与える主要含有元素の影響 日本食品科学工学会第 61 回大会 2014 年 8 月 福岡県・福岡市・中村学園大学

### 6 . 研究組織

(1)研究代表者

小疇 浩 (KOAZE Hiroshi)  
帯広畜産大学・畜産学部・教授  
研究者番号：30374763

(2)研究分担者

谷 昌幸 (TANI Masayuki)  
帯広畜産大学・畜産学部・教授  
研究者番号：00271750  
大西 一光 (ONISHI Kazumitsu)  
帯広畜産大学・畜産学部・準教授  
研究者番号：50526704

森 正彦 (MORI Masahiko)  
帯広畜産大学・畜産学部・助教  
研究者番号：60645711  
相内 大吾 (AIUCHI Daigo)  
帯広畜産大学・畜産学部・助教  
研究者番号：50552783