

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07269

研究課題名(和文) ヤムイモ類における沈降性アミロプラストを起点とする塊茎形状成立機構の包括的理解

研究課題名(英文) Comprehensive understanding of mechanisms of tuber morphogenesis leading to amyloplast sedimentation in yams

研究代表者

川崎 通夫 (KAWASAKI, Michio)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：30343213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究者はこれまで、ナガイモ塊茎の頂端部に、重力方向へ沈降するアミロプラストが局在することを発見した。本研究は、この沈降性アミロプラストを起点とするヤムイモ類塊茎の形状成立機構を理解することを目的として実施した。多面的な微細構造解析により、塊茎頂端部の沈降性アミロプラストにおける数、量および分布が、塊茎形状差異の発現に寄与している可能性が示された。更に、塊茎頂端部におけるオーキシンやシグナル伝達物質候補であるCaも塊茎の重力感受・屈性と形態形成に関与していることが示唆され、塊茎形状成立機構の理解を包括的に進める上で有意義な知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：Tuber shape and its homogeneity are important factors determining the agricultural quality and productivity of yams. I found amyloplast sedimentation in growing yam tuber tips in previous study. The aim of this study is to clarify the mechanisms of tuber morphogenesis leading to amyloplast sedimentation in yam tubers. The results strongly supported the possibility that the number, amount and distribution of the amyloplasts in the tuber tips are involved in expression of different forms of tubers. In addition, the results suggested that auxin and Ca, which is a candidate of signal transmitter, in the tuber tips are involved in gravitropism and tuber formation in this study.

研究分野：作物学、作物機能形態学

キーワード：ヤムイモ 形態形成 塊茎 イモ

## 1. 研究開始当初の背景

ヤムイモ類塊茎は、茎と根の中間的な形質を有していることから「担根体」とも呼ばれる特殊な器官である。ヤムイモ類の塊茎形状は、種・品種・系統により多様であり、市場価値や収穫作業性を決める重要な要素である。また、ヤムイモ類では、同一の品種・系統内でさえ同じ環境下でも塊茎形状が均一になりにくい性質がある。そのため、形の悪い塊茎が発生し、生産者の収益や作業効率を低下させる農業上の問題となっている。この問題を解決するには、塊茎形状の成立のメカニズムを把握することが重要であるが、未だその学術関連情報は国内外において極めて少ない。

根では根冠のコルメラ細胞内の沈降性アミロプラストが重力の感受・屈性と形態形成に関与していることが知られているが、ヤムイモ類塊茎では根冠が形成されない。しかし、細長い形状の塊茎は、根のように地中で重力方向へと伸長形成する。これまで本研究は、ナガイモ塊茎の頂端部に、重力方向へ沈降するアミロプラストが局在することを発見し、これらアミロプラストが塊茎の重力感受・屈性と形状成立に関与している可能性を報告している。また、根や茎では、重力屈性の際に生じるオーキシンの偏差分布が屈曲を引き起こす。また、根冠コルメラ細胞では、アミロプラストの沈降により刺激された小胞体の中のカルシウム(Ca)がシグナル伝達物質として放出されると考えられている。しかし、塊茎形状を決める仕組みと植物ホルモン・Caとの関わり合いについては、不明な点が多い。

## 2. 研究の目的

本研究は、沈降性アミロプラストを起点とするヤムイモ類塊茎の形状成立機構を包括的に理解し、塊茎形状の制御のための学術基盤を構築することを目的とする。そこで、形の異なる塊茎を形成する幾つかのヤムイモを用いて、以下の課題に取り組み、本研究を実施した。

[課題 1]. 塊茎頂端部に局在する沈降性アミロプラストと塊茎形状の成立との関係性の明確化

[課題 2]. 塊茎形状の成立に関わるシグナル伝達の仕組みの検証

[課題 3]. 塊茎形状の成立と植物ホルモンとの関係性の解明

## 3. 研究の方法

[課題 1].

ここでは、これまでの予備的な知見を活かし、且つ、従前の研究で用いたナガイモに限定せず、形の異なる塊茎を形成する幾つかのヤムイモを用いて、沈降性アミロプラストと塊茎形状の成立との関係性を明確化する。

(1)細長い形状(園試系 6)、球状(ツクネイモ)、扁平状(イチョウイモ)を用い、且つ、形成中の塊茎を横倒しするなどの重力刺激処理を行い、塊茎形状と沈降性アミロプラストの局在性・数量との関係性を生物統計学的に調査した。また、(2)塊茎頂端部の沈降性アミロプラストを含む柔細胞の微細構造における種・品種・系統間の共通性および根冠コルメラ細胞との類似性についても検証した。

[課題 2].

根冠コルメラ細胞では、アミロプラストの沈降により刺激された小胞体の中のカルシウム(Ca)がシグナル伝達物質として放出されると考えられている。ここでは、幾つかの形状の異なる塊茎を用い、横倒して重力刺激処理した塊茎における Ca 局在性・存在量の変動を解析し、塊茎形状成立のための情報伝達の仕組みについて理解する。手法としては、急速凍結-真空凍結乾燥法と走査型電子顕微鏡観察下でのエネルギー分散型 X 線分析法を用い、細胞内の Ca 存在量ならびに分布を調査した。

[課題 3].

ここでは、植物ホルモンの中で特にオーキシンと塊茎形状の成立との関係性について明らかにする。(1)上記の材料を用いて、形状の異なる塊茎の間におけるオーキシン含量を比較した。植物では、根を傾けた時、下側部のオーキシン濃度が高まることにより生長が阻害され、根が重力方向へ屈曲する。そこで本研究では、(2)塊茎を傾斜させて重力刺激処理を行い、屈曲直前や屈曲中の塊茎において、上側部と下側部の間でオーキシン含量に差が生じるのかどうかを検証した。(3)特にオーキシンの輸送や濃度勾配に関与する膜輸送体の関連遺伝子の探索と発現場所・発現量などについても調査した。

## 4. 研究成果

[課題 1].

塊茎形状の異なる複数のヤムイモ類を用いて、塊茎頂端部に局在する沈降性アミロプラストと塊茎形状の成立との関係性の明確化に取り組んだ。光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡に加え透過型電子顕微鏡観察により、ヤムイモ類塊茎における沈降性アミロプラストを含む細胞は、根冠コルメラ細胞に類似的な内部微細構造を有することが認められた。また、塊茎の先端部が扁平状に広がるイチョウイモの塊茎頂端部皮層では、沈降性アミロプラストの分布域が長く伸長する園試系 6 の塊茎よりも顕著に広がった。塊茎頂端部皮層のアミロプラスト沈降率は、球状のツクネイモ塊茎よりも園試系 6 とイチョウイモで有意に高かった。また、園試系 6 とイチョウイモの塊茎では、アミロプラスト沈降率は頂端部中心柱よりも頂端部皮層で有意に高かった。

塊茎頂端部皮層のアミロプラストの数や大きさの値は、園試系 6 とイチョウイモに比べツクネイモで有意に低かった。これらのことから、異なる形の塊茎間では沈降性アミロプラストの数量的・分布的形質が異なり、塊茎形状と微細構造的特徴との関係性が示された。

[課題 2].

生長中のナガイモ塊茎を横倒して重力刺激処理し、シグナル伝達物質候補である Ca 局在性・存在量の変動をエネルギー分散型 X 線分析法を用いて解析した。垂直区と 1 時間横倒し区では、Ca 重量割合が頂端部皮層柔細胞において他の部位の柔細胞より有意に高かった。また、24 時間横倒し区では、Ca 重量割合が中心柱柔細胞において増加し、頂端部皮層柔細胞との有意差がなくなった。また、中心柱柔細胞では、Ca 重量割合は垂直区と 1 時間横倒し区よりも 24 時間横倒し区の方が有意に高い値が認められた。また、有意な差はないものの、頂端部皮層柔細胞では、Ca 重量割合は処理時間が大きくなるにつれて漸減した。以上のことから、重力刺激処理を行うと、ナガイモ塊茎頂端部中心柱の Ca が増加することが示唆された。これは、重力刺激を感受すると本来頂端部皮層で多く蓄積されている Ca が中心柱に移動した可能性を示している。今後、塊茎の重力感受・屈性や形態形成と Ca 動態との関係性を深く理解するためには更なる解析が必要である。

[課題 3].

形の異なる塊茎のオーキシン含量をオーキシンアッセイキットや高速液体クロマトグラフィーを用いて測定した。塊茎の IAA 含有量は 園試系 6、イチョウイモ、ツクネイモの順で多いことを示唆する結果が得られた。また、園試系 6、イチョウイモ、ツクネイモの材料間では、PIN-like 遺伝子の発現様式が異なる可能性が示された。これらのことから形の異なる塊茎間でオーキシン含有量の差異が認められつつあり、更にオーキシン輸送体関連の遺伝子の発現様式について、供試材料間で差異があることが示唆された。なお、傾斜させて重力刺激処理した塊茎における上側部と下側部の間のオーキシン含量の測定については、安定したデータが得られなかったため反復実験を実施中である。以上の供試材料間で認められた結果の差異が、塊茎形状差異の発現に寄与するのか、更に検証を進めている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

Thinh NC, Kumagai E, Shimono H, Kawasaki M (2017) Effects of elevated CO<sub>2</sub>

concentration on bulbil germination and early seedling growth in Chinese yam under different air temperatures. *Plant Production Science*, 20: 313-322. 査読有り. doi.org/10.1080/1343943X.2017.1346477

Hossain MB, Sawada A, Noda K, Kawasaki M (2017) Hydathode function and changes in contents of elements in eddo exposed to zinc in hydroponic solution. *Plant Production Science*, 20: 423-433. 査読有り. https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1383167

Thinh NC, Shimono H, Kumagai E, Kawasaki M (2017) Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on growth and photosynthesis of Chinese yam under different temperature regimes. *Plant Production Science*, 20: 227-236. 査読有り. doi.org/10.1080/1343943X.2017.1283963

Senda M, Yamaguchi N, Hiraoka M, Kawada S, Iiyoshi R, Yamashita K, Sonoki T, Maeda H, Kawasaki M (2017) Accumulation of proanthocyanidins and/or lignin deposition in buff-pigmented soybean seed coats may lead to frequent defective cracking. *Planta* 245: 659-670. 査読有り. doi.org/10.1007/s00425-016-2638-8

Hossain MB, Matsuyama N, Kawasaki M (2016) Hydathode morphology and role of guttation in excreting sodium under different concentrations of sodium chloride in eddo. *Plant Production Science*. 19:528-539. 査読有り. doi.org/10.1080/1343943X.2016.1210990

[学会発表](計 14 件)

Kawasaki M, Ogura R, Sasaki S (2017) Morphological characters related with morphogenesis of yam tubers having different. 3rd East-Asia Microscopy Conference. BEXCO (Busan, South Korea)

千田峰生・山口直矢・平岡未帆・川田聡・飯吉亮太・山下一騎・園木和典・前多隼人・川崎通夫 (2017) ダイズ褐色種子の易裂皮性に関する研究. 日本育種学会 第 131 回講演会. 名古屋大学全学教育棟(名古屋市).

川崎通夫・福土苑華 (2017) 東北栽培用種子産地の異なる毛豆の生長と形質の特徴に関する研究. 日本作物学会東北支部第 60 回講演会. 福島県農業総合センター(郡山市).

川崎通夫・小倉亮汰 (2017) ヤマイモ類塊茎における形態形成と沈降性アミロプラスト・オーキシンとの関係. 日本作物学会 第

244 回講演会 .岐阜大学共通教育等(岐阜市).

Kawasaki M, Keimatsu R, Endo A. (2017) Effects of the applications of excessive irrigation water and acetaldehyde on Chinese yam tubers at Byobusan area of Aomori prefecture in Japan. 9th Asian Crop Science Association Conference (Jeju, Korea).

川崎通夫・堀家櫻子 (2016) 青森県在来エダマメ・ダイズ「毛豆」の栽培用種子産地間における形質比較. 日本作物学会第 241 回講演会. 茨城大学水戸キャンパス(水戸市).

北畠拓也・義平大樹・山口 直也・川崎通夫 (2016) 主茎および根系に関連した, ダイズ品種「トヨハルカ」および「Athrow」の耐倒伏性 トヨムスメとの比較 . 日本作物学会第 241 回講演会 . 茨城大学水戸キャンパス(水戸市).

川崎通夫・佐々木駿 (2016) ヤムイモ類における塊茎成立に関わる内部構造物の可視化. 日本顕微鏡学会第 72 回学術講演会 . 仙台国際センター(仙台市).

Kawasaki M, Koizumi S, Sasaki S (2016) Microscopy of internal structures related with the morphogenesis and gravitropism of yam tubers. 11th Asia-Pacific Microscopy Conference . Phuket Graceland Resort and Spa (Phuket, Thailand).

Kawasaki M, Morikawa N, Abukawa Y, Seito K (2016) Characteristics and occurrence factor of tuber damage in Chinese yam grown at Byobusan area of Aomori prefecture in Japan. 7th International Crop Science Congress. Beijing International Convention Center (Beijing, China).

蛸名芳徳・伊藤裕希・川崎通夫・遠藤明 (2016) 青森県西北地域大規模整備型畑作「産地力強化」推進事業について. 平成 28 年度農業農村工学会大会講演会 . ハーネル仙台(仙台市).

山下一騎・山口直矢・川崎通夫・千田峰生 (2015) ダイズ低温裂開抵抗性に関与する QTL についての研究-準同質遺伝子系統を用いた種皮プロアントシアニン蓄積の比較-. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会 . 北海道大学農学部(札幌市).

川崎通夫・清藤香理 (2015) 青森県屏風山地区におけるナガイモ塊茎障害部の構造と成分に関する研究. 日本作物学会東北支部会 第 58 回講演会 . 岩手大学農学部(盛岡市).

佐々木駿・川崎通夫 (2015) ナガイモ塊茎頂端部におけるカルシウム分布特性と重力刺激によるカルシウム分布への影響. 日本作物学会 第 240 回講演会 . 信州大学長野工学部(長野市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕  
ホームページ等  
該当なし

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

川崎通夫 (KAWASAKI, Michio)  
弘前大学・農学生命科学部・准教授  
研究者番号 : 30343213

### (2) 研究分担者

該当者なし ( )  
研究者番号 :

### (3) 連携研究者

該当者なし ( )  
研究者番号 :

### (4) 研究協力者

該当者なし ( )  
研究者番号 :