

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580018

研究課題名(和文) ナガイモ塊茎の形状成立に関わる機能形態と生理メカニズムの解明

研究課題名(英文) Functional morphology and physiological mechanisms related to morphology formation in Chinese yam tubers

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：ナガイモでは「形の悪い」塊茎が発生することが農業上の問題となっている。本研究では、ナガイモ塊茎の形状成立機構を「形態」と「生理」の両面から包括的に明らかにし、塊茎形状制御のための学術知見を得ることを目的として実施した。本研究より塊茎頂端部の沈降性アミロプラストが塊茎の重力感受・屈性と形態形成に関与していることを強く支持する結果が示された。また、塊茎頂端部におけるアクチンフィラメントやオーキシン分布も塊茎の重力感受・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 Chinese yams. The aim of this study is to clarify the mechanism of graviperception, gravitropism and morphology formation in Chinese yam tubers. The results strongly supported the possibility that the sedimentable amyloplasts in the tuber tips function as statoliths and are involved in gravity sensing and tuber formation in Chinese yam. In addition, the results suggested that actin filaments and the distribution of auxin in the tuber tips are involved in gravitropism and tuber formation in this study.

研究分野：作物機能形態学

キーワード：ナガイモ 塊茎 形態形成 重力屈性

1. 研究開始当初の背景

ヤムイモ類は、世界で広く栽培され、人類の「食」を支える重要な作物である。また、申請者が所属する弘前大学が設置されている青森県では、ヤムイモ類に属するナガイモが基幹作物となっている。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。

これまで本研究者は、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(デンプン粒を蓄積した細胞小器官)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。しかし、塊茎形状を決める仕組みと植物ホルモンとの関わり合いについては、まだ不明な点が多い。

2. 研究の目的

上記背景から本研究の目的は、以下の[課題1]と[課題2]に取り組むことで、①「沈降性アミロプラストと塊茎形状の成立との関係性」を立証し、更に②「植物ホルモンと塊茎形状の成立との関係性」も理解することで、未だ不明であるナガイモ塊茎の形状成立メカニズムを「形態」と「生理」の両面から解明し、塊茎形状制御のための学術基盤を構築することである。

[課題1] ナガイモ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検証

[課題2] 塊茎形状の成立と植物ホルモンの関係性の検証

3. 研究の方法

[課題1]

(1) 重力刺激の方向がナガイモの塊茎形成と塊茎頂端部のアミロプラストの分布に及ぼす影響について調査した。形成中の塊茎を人為的に横倒し・倒置・回転した際の塊茎形状および沈降性アミロプラストの局在・数量について多角的な顕微鏡観察と生物統計学的解析を行った。

(2) 異なる形状の塊茎間や人為的に横倒し・

倒置・回転した際の塊茎における滑面小胞体とアクチンフィラメントの配置およびカルシウム(Ca)局在が異なるのかを透過型電子顕微鏡、共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡、走査型電子顕微鏡、エネルギー分散型X線分析法(EDS)などを用いて観察した。尚、根冠では、アミロプラストが沈降して下方にある滑面小胞体を刺激し、小胞体内のCaイオン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。また、植物においては、色素体などの細胞内配置にアクチンフィラメントが関わっていることが一般的に知られている。

[課題2]

(1) 形成中の塊茎頂端部にオーキシンを含ませた寒天板を接触させた際の塊茎形状を観察し、同時に沈降性アミロプラストの局在・数量について各種顕微鏡観察により調査した。

(2) 重力刺激の方向がナガイモの塊茎形成と塊茎のオーキシン分布に及ぼす影響について調査した。オーキシン定量では市販のホルモンアッセイキット(Phytocheck IAA test kit)を用い、マイクロプレートリーダーで測定を試みた。

4. 研究成果

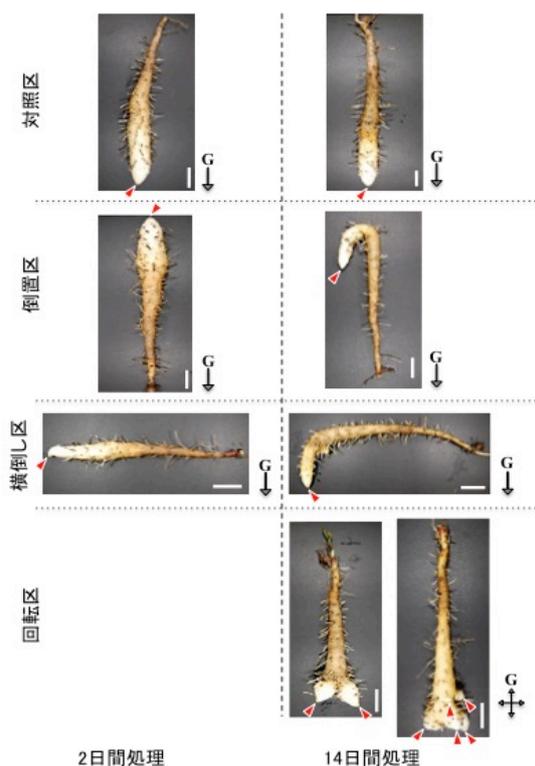
[課題1]

(1) 塊茎頂端を下方へ向けて垂直に2日間あるいは4日間設置した塊茎は、共に重力方向へ伸長した。塊茎を水平に横倒しさせると、2日後に頂端部がやや重力方向へ曲がり、4日後には重力方向へ伸長した。14日間、塊茎頂端を上方へ向けて倒置させた塊茎は、頂端部を下方へ向けて曲げ、最終的に重力方向へ伸長した(第1図)。これらの結果から、塊茎の頂端近傍部が重力刺激に反応して最初に屈曲する部分であることが示された。顕微鏡観察やアミロプラスト沈降率の測定から、塊茎頂端を下方へ向けて垂直に設置した塊茎のみならず横倒しおよび倒置させた塊茎の頂端部においても、数多くのアミロプラストが細胞内で重力方向へ沈降していることが示された(第2図)。これらの結果から、アミロプラストの沈降方向と塊茎の最終的な伸長方向が、重力刺激の方向が異なる条件下で全て一致することが示された。

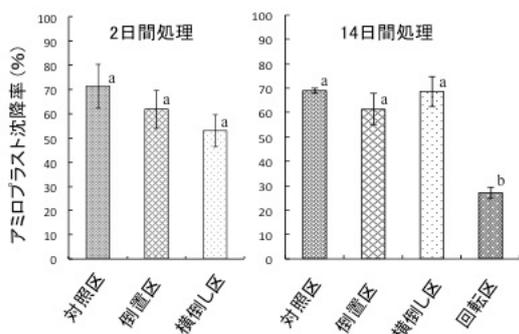
14日間毎日90度ずつ垂直回転させた塊茎は、正常に伸長せず、様々な角度で生じた複数の頂端部を形成させた(第1図)。この回転させた塊茎では、アミロプラストは頂端部の細胞内で分散して認められた。これらの結果から、適正なアミロプラストの沈降が、正常な塊茎の伸長と形成に必要であると考えられた。

以上の本研究の結果は、塊茎頂端部の沈降性アミロプラストが、塊茎の重力感受・屈性

と形態形成に関与している可能性を強く支持している。



第1図. 重力刺激処理後の塊茎の外観
矢頭は塊茎頂端, Gは重力方向を示す。
Bars = 1 cm. (Kawasaki et al., 2014)



第2図. 重力刺激処理後の塊茎頂端部における細胞内のアミロプラスト沈降率
(Kawasaki et al., 2014)

(2) 塊茎頂端部の多くの中心柱柔細胞では、アクチンフィラメントは、細胞内周辺や細胞内周辺に局在したアミロプラストの周囲に集中的に認められた。一方、塊茎頂端部の沈降性アミロプラストを含む多くの皮層柔細胞では、アクチンフィラメントは、細胞内周辺やアミロプラスト周囲だけではなく、細胞内の広い範囲で分布していることが観察された。塊茎基部の皮層柔細胞では、アクチンフィラメントの存在量は極めて少なかった。

また、多くの根冠コルメラ細胞では、アクチンフィラメントは、細胞内周辺やアミロプラスト周囲だけではなく、細胞内の広い範囲で分布していることが認められた。これらのことから、塊茎頂端部の沈降性アミロプラストを含む皮層柔細胞のアクチンフィラメントの分布は、塊茎の頂端部中心柱や基部皮層の柔細胞と比較して異なり、重力感受・屈性に関与しているとされる根冠コルメラ細胞と高い類似性を有することが示唆された。また、透過型電子顕微鏡観察により、塊茎頂端部の沈降性アミロプラストを含む細胞と、同じく沈降性アミロプラストを含む根冠コルメラ細胞の間には、滑面小胞体の配置など、微細構造的共通性があることも見出した。なお、Ca局在の測定については、走査型顕微鏡観察下におけるEDSを用いた技法を本研究期間で確立させた。現在、人為的に横倒し・倒置した塊茎におけるCa局在動態について調査を進めている。

[課題2]

(1) 形成中の塊茎頂端部にオーキシンを含ませた寒天板を接触させた際の塊茎形状および沈降性アミロプラストの局在・数量について調査した。形成中の塊茎にオーキシンを含ませた寒天を接触させたところ、塊茎は一定方向へ屈曲する傾向が認められた。

(2) 重力刺激の方向がナガイモの塊茎形成と塊茎のオーキシン分布に及ぼす影響について調査した。塊茎における内生オーキシンの定量では、市販のホルモンアッセイキットを用い、マイクロプレートリーダーで測定した結果、塊茎中におけるオーキシン含量を定量することが可能であることを確認した。現在、この手法を用いて詳細な調査を進めているところである。

(引用文献)

① Kawasaki, M., Kanehira, S. and Islam, M.N. (2014) Effects of the direction of gravistimulation on tuber formation and amyloplast distribution in tuber tips of Chinese yam. *Plant Production Science* 17: 298-304.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

① Islam, M.N. and Kawasaki, M. (2015) Evaluation of calcium regulating roles of guttation and calcium oxalate crystals in leaf blades and petioles of hydroponically grown eddo. *Plant Production Science* 18: 11-21. <http://doi.org/10.1626/pps.18.11>.

② Yamaguchi, N., Kurosaki, H., Ishimoto, M., Kawasaki, M., Senda, M. and Miyoshi, T. (2015) Early-maturing and chilling-

tolerant soybean lines derived from crosses between Japanese and Polish cultivars. *Plant Production Science* 18: 234-239. <http://doi.org/10.1626/pp.s.18.234>

③ Kawasaki, M., Kanehira, S. and Islam, M. N. (2014) Effects of the direction of gravistimulation on tuber formation and amyloplast distribution in tuber tips of Chinese yam. *Plant Production Science* 17: 298-304. <http://doi.org/10.1626/pp.s.17.298>

④ 川崎通夫・桔梗翔梧・野澤樹・秋田祐介・長谷純宏・鳴海一成 (2014) カーボンイオンビーム照射が青森県在来の毛豆の形質に及ぼす影響. *日本作物学会東北支部会報* 57: 61-62. http://ci.nii.ac.jp/els/110009896204.pdf?id=ART0010425666&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1433424363&cp=

⑤ Islam, M. N. and Kawasaki, M. (2014) Morphological changes and function of calcium oxalate crystals in eddo roots in hydroponic solution containing calcium at various concentrations. *Plant Production Science* 17: 13-19. <http://doi.org/10.1626/pp.s.17.13>

⑥ 川崎通夫・イスラム モハンマド ナズルル (2013) 青森県において栽培されている「毛豆」の栽培用種子の形質的特徴に関する研究. *日本作物学会東北支部会報* 55: 51-52. http://ci.nii.ac.jp/els/110009562091.pdf?id=ART0010009704&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1433424473&cp=

[学会発表] (計 14 件)

① 佐々木駿・兼平沙季・川崎通夫 (2015) ナガイモ塊茎におけるアクチンフィラメントの分布特性. *日本作物学会第 239 回講演会*. 日本大学(藤沢市).

② 川崎通夫・八田祐基・千田峰生・須藤宏樹・野澤樹・秋田祐介・長谷純宏・鳴海一成 (2014) 炭素イオンビーム照射によるナガイモとヤマノイモの突然変異体作出に関する研究. *日本作物学会第 237 回講演会*. 千葉大学(千葉市).

③ 千田峰生・平岡未帆・川戸歩美・川崎通夫・山口直矢 (2014) ダイズ低温裂開抵抗性品種由来の種皮着色突然変異体における裂開粒率の大幅な上昇. *日本育種学会第 125 回講演会*. 東北大学(仙台市).

④ 平岡未帆・川戸歩美・山口直矢・川崎通夫・

千田峰生 (2014) ダイズ低温裂開抵抗性および感受性品種における種皮の組織化学的解析. *日本育種学会第 125 回講演会*. 東北大学(仙台市).

⑤ 川崎通夫・桔梗翔梧・野澤樹・秋田祐介・長谷純宏・鳴海一成 (2014) カーボンイオンビーム照射が青森県在来の毛豆の形質に及ぼす影響. *日本作物学会東北支部会第 57 回講演会*. 弘前大学(弘前市).

⑥ Islam, M. N. and Kawasaki, M. (2014) Evaluation of calcium regulating role of calcium oxalate crystals in eddo corms in hydroponic solution containing calcium at different concentrations. 8th Asian Crop Science Association Conference (Hanoi, Vietnam).

⑦ 平岡未帆・川戸歩美・山口直矢・川崎通夫・千田峰生 (2013) ユキホマレ低温裂開粒における種皮の組織化学的解析. *日本育種学会・日本作物学会 北海道談話会*. 酪農学園大学(江別市).

⑧ Islam, M. N., Maeda, H. and Kawasaki, M. (2013) Effects of different concentrations of calcium in hydroponic treatments on the calcium oxalate crystal and soluble oxalate in the leaf blade and petiole of eddo. The 236th meeting of Japanese society of crop science. Kagoshima University (Kagoshima).

⑨ 川崎通夫・兼平沙季 (2013) 電子顕微鏡を用いたナガイモとヤマノイモの塊茎内アミロプラスとの構造と機能の解析. *日本顕微鏡学会第 69 回学術講演会*. ホテル阪急エキスポパーク(吹田市).

⑩ 川崎通夫・兼平沙季 (2013) ナガイモにおける塊茎の重力感受と形態形成に対する塊茎頂端部の沈降性アミロプラスとの関与. *日本作物学会第 235 回講演会*. 明治大学(千代田区).

⑪ 田中康史・川崎通夫・大河浩 (2012) プラスチド局在性輸送体遺伝子 *cemA2* の発現・機能解析. 第 2 回東北植物学会. 弘前大学(弘前市).

⑫ Kawasaki, M., Yoshida, H. and Takahashi, K. (2012) Morphological characteristics and functional differentiation of amyloplasts in tubers of yams. 6th International Crop Science Congress (Fundaparque event center, Bento Gonçalves, Brazil).

⑬内村ゆき美・川崎通夫・殿内暁夫 (2012)
Mastigamoeba balamuthi と日本の水田土壌
から分離した嫌気性アメーバ AF065-Y 株の
特徴比較研究. 第 28 回日本微生物生態学会
大会. 豊橋技術大学(豊橋市).

⑭川崎通夫・瀧澤美聡・兼平沙季・崎尾実香・
本多和茂・イスラム モハンマド ナズルル・
須藤宏樹・野澤樹・秋田祐介・鳴海一成
(2012) ナガイモとヤマノイモにおけるイオ
ンビームを用いた突然変異体作出に関する
研究. 日本作物学会第 234 回講演会. 東北大
学(仙台市).

[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：
出願年月日：
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：