

氏名	ムヤマ タケ 村山 大樹
本籍（国籍）	北海道
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研第 710 号
学位授与年月日	平成 30 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物資源科学
学位論文題目	Physicochemical properties and processing of tuber and cereal crops （イモ類および穀類の物理化学的特性と高度加工利用に関する研究）
学位審査委員	主査 帯広畜産大学教授 山内 宏昭 副査 小疇 浩(帯広 教授),永井 毅(山形 教授),折笠 貴寛(岩手 准教授)

論文の内容の要旨

本論文で行った 2 つの研究では、植物性食品の更なる発達と改良に向けた知見の蓄積を目指し、カルシウムがフライドポテトのテクスチャー及びコーンスターチの物理特性に及ぼす影響について検討した。

第 2 章では、馬鈴薯塊茎に吸収されたカルシウムが細胞壁のカルシウム含量も上昇させるかどうか、細胞壁に含まれるカルシウムがどの様にペクチンにおける架橋構造の形成に影響を及ぼすかを明らかにすることを目的とした。そこで、未成熟時から成熟時まで異なる生育期間で馬鈴薯を収穫し、個々の塊茎を分析に供した。得られた特性値は、低カルシウム群と高カルシウム群に分けて比較した。播種後 99 日及びそれ以降では、馬鈴薯塊茎のカルシウム吸収量が上昇すると、同時に塊茎細胞壁のカルシウム含量も上昇することが明らかとなった。また、塊茎肥大期及び成熟期において、塊茎細胞壁中のカルシウム含量とペクチンにおけるカルシウムイオンを介した架橋構造の形成量の間には有意な正の相関が認められた ($p < 0.05$)。ペクチンのメチルエステル化度は、ペクチンにおける架橋構造形成の制限因子ではなかった。更に、成熟塊茎中の高濃度のカルシウムが、細胞壁のペクチンの水/HEPES バッファーへの可溶性を低減させることが、原子間力顕微鏡で観察された。

第 3 章では、カルシウム施肥が加工用馬鈴薯三品種の塊茎、澱粉及びペクチンの特性にどのような影響を及ぼし、それらが冷凍フライドポテトの加工特性及び冷凍貯蔵性に与える影響を明らかにすることを目的とした。慣行施肥又は慣行施肥+カルシウム施肥の下で栽培した馬鈴薯三品種（トヨシロ、キタヒメ、スノーデン）は、収穫後にフライドポテトの製造及び澱粉・細胞壁分析に供試された。カルシウム施肥により、全品種で細胞壁中のカルシウム含量の有意な増加が認められたが、架橋構造の形成量の指標となるキレート剤可溶性ペクチン含量はトヨシロでのみ有意な増加が認められた ($p < 0.05$)。フライドポテトの油含量は、カルシウム施肥の影響を受けなかった。カルシウム施肥の下で栽培したトヨシロ及びキタヒメから調製したフライドポテトは、有意に高い硬度を冷凍貯蔵後も示した ($p < 0.05$)。従って、本研

究の結果は、カルシウム施肥が加工用馬鈴薯から調製したフライドポテトの加工特性及び冷凍耐性を改善する有効な方法であることを示唆した。

原料栽培時のカルシウム施肥と加工時の低温ブランチングの併用によって、栽培中に自然に吸収されたカルシウムと内在性ペクチンメチルエステラーゼを有効に活用することで、植物性食品のテクスチャーを制御できる可能性がある。従って第4章では、カルシウム施肥と低温ブランチングが、フライドポテトの硬度と馬鈴薯塊茎の細胞壁におけるペクチンに与える影響を検討することを目的とした。そこで、馬鈴薯サンプルは塊茎肥大期にカルシウム施肥を行い、カルシウム無施肥を対象として比較を行った。フライドポテト製造時には、低温ブランチングと高温ブランチング2つの処理区を設定し、ブランチングを施さない対象区との比較を行った。カルシウム施肥により、ペクチン鎖における架橋構造の形成に関わるカルシウム含量が上昇し、一方で低温ブランチングにより、ペクチン分子が脱メチルエステル化され、架橋構造形成に関わるペクチン鎖のカルシウムイオンへの親和性が上昇した。カルシウム施肥と低温ブランチングの併用により、カルシウム無施肥でかつブランチング処理を行っていない試料と比較して、最も高いフライドポテトの硬度の上昇が認められた。ペクチン多糖類及び細胞壁における変化は、ペクチンメチルエステラーゼ活性の測定、ペクチン組成の分析及び原子間力顕微鏡観察によって明らかとなった。これらの測定は、カルシウム施肥と低温ブランチングによるフライドポテトの硬化現象の原因を明らかとするために行った。従って、馬鈴薯内在性カルシウムとペクチンメチルエステラーゼを有効に利用することで、フライドポテトのテクスチャーを制御することが可能であることを示した。

第5章では、物理特性において望ましい特徴を持つ澱粉性食品の製造に寄与することを目的とし、塩化カルシウム及び乳酸カルシウムの存在が、4種のコーンスターチの糊化特性及び熱特性に与える影響を評価した。アミロース/アミロペクチン比の異なる原料品種から抽出された澱粉試料を使用し（ノーマルコーン及びワキシーコーン）、かつヒドロキシルプロピル化の有無の影響も検討した。糊化特性において、カルシウム塩の添加による特性値への影響は、カルシウム塩の種類及びヒドロキシルプロピル化の有無によって異なった。一方で、熱特性の測定で得られた糊化開始・ピーク・終了温度及び糊化エンタルピーは、カルシウム塩の種類、コーンスターチの原料品種、ヒドロキシルプロピル化の有無に関わらず、カルシウム塩の添加により上昇した。

論文審査の結果の要旨

本論文では、大きく2つの研究、植物性食品の品質改良のためのカルシウムがフライドポテトのテクスチャー及びコーンスターチの物理特性に及ぼす影響について検討された。

第一の研究では、馬鈴薯栽培中に塊茎に吸収されたカルシウムが細胞壁のカルシウム含量も上昇させるかどうか、細胞壁に含まれるカルシウムがどのようにペクチンにおける架橋構造の形成に影響を及ぼすかについて検討され、播種後99日及びそれ以降では、塊茎のカルシウム吸収量が上昇し、同時に塊茎細胞壁のカルシウム含量も上昇することを明らかにした。また、塊茎肥大期及び成熟期において、塊茎細胞壁中のカルシウム含量とペクチンのカルシウムイオンを介した架橋構造の形成量の間に関連があることを明らかにした。ペクチンのメチルエステル化度は、ペクチンにおける架橋構造形成の制限因子ではなかった。次に、カルシウム施肥が加工用馬鈴薯三品種の塊茎、澱粉及びペクチンの特性にどのような影響を及ぼし、それらが

冷凍フライドポテトの加工特性及び冷凍貯蔵性に与える影響について検討された。その結果、カルシウム施肥により、試験された全品種で細胞壁中のカルシウム含量の有意な増加を認め、架橋構造の形成量の指標となるキレート剤可溶性ペクチン含量はトヨシロでのみ有意な増加を認めた。また、フライドポテトの油含量は、カルシウム施肥の影響を受けなかった。カルシウム施肥の下で栽培したトヨシロ及びキタヒメから調製したフライドポテトは、有意に高い硬度を冷凍貯蔵後も示したことから、カルシウム施肥はフライドポテトの加工特性及び冷凍耐性を改善する有効な方法であることが判明した。馬鈴薯へのカルシウム施肥と低温ブランシングがフライドポテトの硬度と馬鈴薯塊茎の細胞壁におけるペクチンに与える影響について検討され、カルシウム施肥と低温ブランシングの併用により、フライドポテトの硬度を最も向上させることができることを明らかにした。そして、この時のペクチン及び細胞壁変化についても、ペクチンメチルエステラーゼ活性、ペクチン組成の分析、原子間力顕微鏡観察によって明らかにした。これらから、馬鈴薯内在性カルシウムとペクチンメチルエステラーゼを有効に利用することでフライドポテトのテクスチャーを制御することが可能であることを明らかにした。

第二の研究では、物理特性の良好な特徴を持つ澱粉性食品の製造に寄与することを目的とし、塩化カルシウム及び乳酸カルシウムが4種のコーンスターチ（ノーマルコーン及びワキシコーンスターチとそれらのヒドロキシルプロピル化もの）の糊化特性及び熱特性に与える影響を評価した。その結果、糊化特性へのカルシウム塩添加の影響は、カルシウム塩の種類及びヒドロキシルプロピル化の有無によって異なることが判った。一方、熱特性では、糊化開始、ピーク、終了温度及び糊化エンタルピーは、カルシウム塩の種類、コーンスターチの差異、ヒドロキシルプロピル化の有無に関わらずカルシウム塩の添加により上昇することを明らかにした。以上のように、本論文では、塊茎及び穀物系作物の物理化学的特性とその加工性に対するカルシウム含量の影響について詳細に実験が行われ、主に冷凍フレンチフライ品質やコーンスターチの糊化特性に対する効果が評価され、その効果の要因についても詳細な検討が行われ、多くの成果が得られた。また、本人は論文内容の口頭発表の後、その内容について審査員、参加者との質疑についても非常に的確、簡潔に回答を行った。

これらの結果から、本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

1. **Murayama, D.**, Y. Sakashita, T. Yamazawa, K. Nakata, Y. Shinbayashi, J. Palta, M. Tani, H. Yamauchi and H. Koaze (2016)

Effect of calcium fertilization on processing properties and storability of frozen french fries

Food Science and Technology Research 22(4):451-459.

2. **Murayama, D.**, M. Tani, S. Ikeda, J.P. Palta, S.W. Pelpolage, H. Yamauchi and H. Koaze (2017)

Effects of calcium concentration in potato tuber cells on the formation of cross-links between pectin molecules by Ca²⁺

American Journal of Potato Research: <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9589-x>.