

氏名	田沢 純子		
学位の種類	博 士 ( 農 学 )		
学位記番号	博 甲 第 9 5 0 6 号		
学位授与年月日	令和2年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	リンゴの果肉褐変性に関する包括的形質解析による遺伝要因の研究		
主査	筑波大学准教授 (連係大学院)	博士 (農学)	國久美由紀
副査	筑波大学教授 (連係大学院)	博士 (農学)	山本 俊哉
副査	筑波大学教授 (連係大学院)	博士 (農学)	杉浦 俊彦
副査	筑波大学教授	博士 (理学)	菅谷 純子

## 論 文 の 要 旨

リンゴは世界の生産量が果樹で第3位であり、経済的にも重要な商業作物である。生食のほか加工利用も盛んであるが、果実をカットしたときに生じる果肉褐変は外観を著しく損ない、商品価値を喪失させる重大な負の現象である。青森県で育成されたリンゴ品種‘あおり27’は、すり下ろし5日後も果肉が褐変しない希有な特性から新たな需要を喚起する品種として期待されるが、品質保持期間が短く利用期間は限られている。収穫期が異なる新たな非褐変リンゴ品種の作出が望まれるが、交雑育種における育成事例は極めて少なく、DNAマーカーによる選抜が不可欠である。しかし、褐変性の原因遺伝子や遺伝様式は特定されておらず、品種開発に活用するための知見は不足している。著者は本研究において、果肉褐変性の原因遺伝子領域及び遺伝様式と、非褐変性の成立条件を明らかにすることを目的とした。

著者は、‘あおり27’と褐変性親 (F1-165 及び ‘こうたろう’) の2つのF<sub>1</sub>集団 (165A27 集団 50 個体及び KA27 集団 55 個体) を用いた Quantitative trait locus (QTL) 解析により、果肉褐変性に関連する複数形質 (果肉及び果汁褐変性、総ポリフェノール含量、Polyphenol oxidases (PPO) 活性) の主要 QTL が褐変性親の第16連鎖群上部の *LARI* 近傍に座上することを見出した。このことから、QTL 領域に座乗するリンゴのポリフェノール生合成経路上の遺伝子 *LARI* が褐変基質であるポリフェノール含量を制御することにより果肉褐変性が決定されると推察した。一方で、‘あおり27’に有意な QTL は検出されなかったこと、165A27 集団では集団の 1/3 が非褐変性を示したことから、本集団において褐変性はほぼ単因子支配であり、非褐変性の遺伝様式は潜性遺伝であることが明らかになった。また、‘あおり27’の後代ではない F1-165 から多数の非褐変性 F<sub>1</sub> 個体が出現したことから、非褐変性は複数の祖先品種に由来する非褐変性アレルのホモ接合によるもので、‘あおり27’の突然変異によるものではないことが示唆された。

著者は次に、非褐変性アレルの起源を明らかにするために、QTL 解析に用いた2集団とその祖先品種及び近縁品種について、第16連鎖群の QTL 周辺のハプロタイプ解析を行った。‘あおり27’及び非褐変性 F<sub>1</sub> 個体は、‘ゴールデンデリシャス’、‘デリシャス’、‘印度’に由来する非褐変性アレルのいずれかをホモ接合で持っており、これにより褐変程度が低くなることが明らかになった。また、本 QTL 近傍には酸度及び致死遺伝子が存在し、大部分の非褐変性アレルが高酸性アレルと連鎖している一方で、‘印度’由来の非褐変性アレルのみ低酸性アレルと連鎖していることが見出され、これを利用することによって、適度な酸味の品種育成が可能であることが提示された。一方、いずれの非褐変性アレルも野生型の致死遺伝子と連鎖しており、非

褐変性アレルの選抜により致死が引き起こされる危険性はないことが明らかとなった。

著者は更に、遺伝資源 85 品種及び系統を用いたゲノムワイドアソシエーション解析によって果肉褐変関連形質（果肉及び果汁褐変性、総ポリフェノール含量、PPO 活性）を解析し、第 5 番、10 番及び 17 番染色体上に果肉褐変性の新たな QTL を同定した。果肉褐変性には第 5 番染色体の QTL が大きく影響しており、本 QTL で‘ゴールデンデリシャス’由来のアレルがホモ接合となることで、PPO 活性及び果肉褐変性が低下することが明らかとなった。一方、総ポリフェノール含量及び果汁褐変性に関する QTL は第 16 番染色体の *LARI* 上に検出され、褐変基質であるポリフェノール含量を低下させる *LARI* のアレルは、‘ゴールデンデリシャス’、‘デリシャス’、‘印度’の 3 品種に加えて‘紅玉’及び‘国光’も保有している可能性が示唆された。

本研究により、褐変性の鍵となる原因遺伝子座、褐変特性の遺伝様式及び非褐変性アレルの由来が明らかとなったことから、交雑育種における交配親の選定と非褐変性個体の出現確率の予測及び DNA マーカー選抜が実施可能となり、交配による非褐変性品種育成の道が開いた。既に報告のある収穫期や日持ち性等の QTL の知見と併せてマーカー選抜に利用することで、早生～晩生の様々な収穫期で、貯蔵性に優れた多様な非褐変性品種が育成できると考えられる。

## 審 査 の 要 旨

リンゴのカットによる果肉褐変は果実の商品価値を著しく損なうため、非褐変性品種の育成が望まれている。しかし、褐変特性の遺伝様式や原因遺伝子領域 (QTL) は未だ解明されておらず、交雑による非褐変性品種の育成は困難と考えられてきた。本研究では、これらの問題に対応するため、1) 褐変性に係る諸形質の QTL を連鎖解析により同定し、2) 本 QTL において非褐変特性が潜性遺伝であること、非褐変性因子は複数の祖先品種に由来すること、非褐変性因子が高酸性と連鎖する傾向にあることを明らかにし、3) 遺伝資源を用いたゲノムワイドアソシエーション解析により更に複数の果肉褐変性に関わる QTL を同定した。本研究は、ゲノム上の非褐変性因子を戦略的に集積することで、交雑による非褐変性品種の育成が可能であることを示した点で、重要な研究である。本研究の成果は、遺伝学、統計学、植物生理学、分子生物学、育種学を融合した学際的成果であり、基礎的視点からリンゴの褐変特性を解明するにとどまらず、育種への応用を見据えた素材探索や連鎖形質の解析を行っている点でも高く評価される。

令和2年1月10日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。