

令和元年5月23日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07606

研究課題名(和文) カット青果物の酵素的褐変に及ぼす微生物の関与とその機構

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism for enzymatic browning associated with bacteria on fresh-cut produce

研究代表者

泉 秀実 (IZUMI, Hidemi)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：50168275

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)：カット青果物の酵素的褐変は、ポリフェノールオキシダーゼ(PP0)などの活性が、切断により増加することで起こる。カットジャガイモ、リンゴおよびレタスでは、褐変部位においてPP0活性が高く、褐変部位にのみ存在する細菌(*Pseudomonas fluorescens*など)があることを見出した。*P. fluorescens*をカットジャガイモに接種すると、*P. fluorescens*菌体も細菌PP0を生成したが、植物PP0の遺伝子発現量が増大し、褐変を誘導したことから、カットジャガイモの褐変現象は、この細菌が植物PP0の生成と活性を刺激し、微生物の侵入・増殖に対する植物の防御作用の結果であると判断した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カット青果物の品質低下の大きな要因として、褐変の発生と微生物の増殖が挙げられる。従来は、酵素的褐変は植物体内の生化学的反応として、また腐敗の原因である微生物増殖は付着微生物個体の生物的成長として捉え、それぞれ別の制御手法で、品質保持を図ってきた。しかし、本研究では、褐変に関わる酵素および褐変関連物質とそれらを生成あるいは刺激する微生物との関連性に注目し、微生物が関与する褐変の機構を解明した。カット青果物の褐変の発生および促進を誘導する特定の微生物を同定できたことから、カット青果物の品質保持のための褐変抑制と微生物制御を一元的に捉え、これらを同時に行う新しい鮮度保持技術の構築も可能となる。

研究成果の概要(英文)：It is recognized that oxidative enzymatic browning of fresh-cut produce primarily involves the enzymatic activity of polyphenol oxidase (PPO). Bacterial counts on fresh-cut potatoes, apples, and lettuce were higher on browning tissues than on non-browning tissues. Bacterial species isolated from the browning tissues, not non-browning tissues, were identified as *Pseudomonas fluorescens*. When potato slices were initially inoculated with *P. fluorescens* and then stored at 5 °C, browning reactions on potatoes were enhanced by an increase of plant PPO gene expression and PPO activity that was derived from potatoes rather than *P. fluorescens*. Thus, enzymatic browning is apparently involved in a plant-bacteria interaction through induction of plant PPO in plant defense reactions to attack by bacteria.

研究分野：食品保全学

キーワード：酵素的褐変 カット青果物 ポリフェノールオキシダーゼ(PP0) フェニルアラニンアンモニアリアーゼ(PAL) ペルオキシダーゼ(POD) 細菌数 細菌種 *Pseudomonas fluorescens*

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

カット青果物の酵素的褐変は、フェノール化合物の含有量の少ないレタス、セロリ、キャベツでは、フェニルプロパノイド合成に関与するフェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) が、またフェノール含量が多いジャガイモ、リンゴ、モモでは、ポリフェノールを酸化するポリフェノールオキシダーゼ (PPO) の活性が、切断 (傷害) により増加することで引き起こされる¹⁾。さらに、ポリフェノールの重合とリグニン形成に関わるペルオキシダーゼ (POD) も褐変に関与することが報告されている²⁾。一方、カット青果物は、野菜類は細菌、果実類は真菌を主体とした微生物叢を有し、貯蔵・流通中の温度条件とガス条件次第で微生物が増殖して、腐敗・変敗の原因となる³⁾。

このような生化学的反応である褐変と、生物的成長である微生物の増殖は、これまで別々の視点で研究されることが多かったが、これらの酵素反応あるいは酵素誘導で合成される物質が、微生物の増殖に対する植物の防御作用を示すとするスペキュレーションが提示された^{4)、5)}。これらの報告は、褐変現象を植物サイドから捉え、PAL 活性、PPO 活性およびポリフェノール含量の増加が微生物の侵入と増殖を防御するとしている。これらを微生物サイドから検証してみると、特定の微生物が褐変関連酵素の生成を介して褐変を誘導すること⁶⁾ や特定の微生物が褐変物質を増加させて褐変を引き起こすこと⁷⁾ も考えられ、逆に微生物の作用がカット青果物の生理作用に影響しているスペキュレーションも立てることができる。したがって、褐変と微生物との関係には未だ議論が多く、両者の関連性と機作については明らかにされていない。

2. 研究の目的

カット青果物の品質低下の大きな要因として、切断による酵素的褐変の発生と微生物の増殖が挙げられる。両者の関係について、これまでの園芸学研究では、植物の褐変を主体に付着微生物への影響を検証してきたが、本研究では微生物を主体に宿主植物体への褐変反応を解析する。すなわち、褐変に関わる酵素および褐変関連物質とそれらを生成あるいは刺激する微生物との関連性に注目し、青果物に付着する微生物が褐変反応を誘導するとの仮説を立て、特定の微生物が関与する褐変の機構を解明する。最初に、カット青果物の褐変部位にのみ存在する特定の微生物を探索し、その微生物が褐変反応に及ぼす影響とカット青果物への接種による褐変の誘導 (遺伝子発現、酵素活性、物質生成) を確認することで、微生物の作用による褐変現象の可能性を探り、その機作を推定する。カット青果物の褐変の発生および促進を誘導する特定の微生物の同定、さらに、褐変関連酵素の特性解明ができれば、これまでのカット青果物の品質保持のための褐変抑制と微生物制御を一元的に捉え、これらを同時に行う新しい鮮度保持技術の構築も見据えることができる。

3. 研究の方法

(1) 供試材料

ポリフェノール含有量が少なく、褐変反応を PAL が誘導するとされるレタスおよびポリフェノール含量が多く、PPO および/あるいは POD が褐変に関与するとされるリンゴとジャガイモを切断して、カット青果物 (3cm×3cm) を作製した。それぞれのカット青果物は、有孔の LDPE フィルムに入れ、褐変反応を誘導するために、5°C で 3 日間または 20°C で 1 日間貯蔵した。

(2) カット青果物の褐変反応の解析

貯蔵カット青果物において、褐変部位と非褐変部位 (褐変度のスコア評価ならびに明度 (L* 値) を指標) における酵素活性 (PAL、PPO および POD) および褐変関連物質含量 (ポリフェノールおよびリグニン) を常法により、分光測光法で測定した。各酵素活性は、サンプル 1g から調整の粗酵素液が単位時間あたりに消費する基質あるいは生成する反応生成物の変化量で、また各関連物質含量は、サンプル 100g あたりの mg で表示した。

(3) カット青果物の微生物叢の解析

貯蔵カット青果物の褐変部位と非褐変部位 (褐変度のスコア評価ならびに L* 値を指標) の細菌数 (一般生菌数、大腸菌群数) を寒天平板法で測定し、細菌種を MicroSeq 法で同定した。細菌数は、サンプル 1g あたりのコロニー形成数 (CFU) を対数値で表し、細菌種は、16S rDNA の塩基配列の相同性が最も高い菌種を選択した。

(4) カット青果物への細菌の接種による褐変反応の解析

カットリンゴの褐変部位からのみ検出された細菌 (*Herbaspirillum huttiense*) とカットジャガイモの褐変部位からのみ検出された細菌 (*Pseudomonas fluorescens*) を 10³ CFU/ml および 10⁶ CFU/ml の菌液に調整して、それぞれカットリンゴとカットジャガイモに接種し、5°C で 3 日間貯蔵した。貯蔵中の褐変程度 (スコア評価ならびに L* 値)、酵素活性 (PAL、PPO および POD) および褐変関連物質含量 (ポリフェノールおよびリグニン) を測定した。また、*P. fluorescens* を接種したカットジャガイモにおいては、植物 PPO (ジャガイモ由来) と細菌 PPO (*P. fluorescens* 由来) を識別し、PPO をエンコードする遺伝子 (5 isoform) 発現量をリアルタイム PCR を用いて測定した。

4. 研究成果

(1) 酵素的褐変と微生物との関連性

①カッタレタス

カッタレタスを 20℃で 1 日間貯蔵すると、時間の経過に伴って褐変スコアが 0 から 3 に進み、L*値は 66 から 57 にまで低下した。貯蔵 1 日後のレタス切片の褐変部位 (L*値=55) と非褐変部位 (L*値=66) を切り分け、それぞれの部分の褐変関連酵素活性と褐変関連物質含量を比較した。PAL 活性は両部位で差はなく、0.01~0.04 $\mu\text{mol/g/h}$ と低かったが、PPO 活性と POD 活性は褐変部位の方が高く、特に、褐変部位の POD 活性は非褐変部位の約 2 倍を示した。ポリフェノール含量は約 30mg/100g で両部位に差は見られなかったが、リグニン含量は非褐変部位の 280mg/100 g に対して、褐変部位では 100mg 以上高い含量となった。カッタレタスの褐変反応は、切断によって、フェニルアラニンをトランスケイ皮酸に変換する PAL の活性が高まることで誘導されるため、PAL の活性化によるフェノール物質の蓄積が予想されたが、むしろ褐変部位ではフェノール合成後のリグニン重合体反応の進行が認められた。

褐変部位と非褐変部位の細菌数を比較すると、一般生菌および大腸菌群ともに、褐変部位の方が約 1 log CFU/g 高い結果となった。カッタレタスから検出された細菌は、いずれの部位も植物病原性のグラム陰性菌 (*Enterobacter*, *Pantoea*, *Pseudomonas* など 4 属 5 種) が主体であったが、褐変部位からのみ、*Herbaspirillum huttiense* が同定され、褐変反応と関連性のある細菌の一つである可能性を示した。

②カッタリンゴ

リンゴは、‘サンつがる’と‘秋映’の 2 品種で実験を実施したが、褐変が顕著で微生物数の多かった‘秋映’の結果を示す。カッタリンゴを 20℃で 1 日間貯蔵して褐変を誘導し、褐変部位 (L*値=60) と非褐変部位 (L*値=75) における褐変酵素活性と褐変物質含量を測定した。PAL 活性と POD 活性は低く、カッタレタスに比べて 1/10 以下で、両部位に差は見られなかった。PPO 活性は、カッタレタスと同程度あり、褐変部位で 0.9 $\mu\text{mol/g/h}$ 、非褐変部位で 0.6 $\mu\text{mol/g/h}$ となり、褐変部位で高い活性を示した。しかし、ポリフェノール含量 (52~56mg/100g)、リグニン含量 (45~53mg/100 g) とともに、両部位で差は見られなかった。

褐変部位と非褐変部位の細菌数は、レタスと同様に一般生菌も大腸菌群も、褐変部位の方が約 1 log CFU/g 高くなった。褐変部位から検出された細菌は 6 属 7 種、非褐変部位から検出された細菌は 5 属 6 種で、いずれもグラム陽性の土壌細菌 (*Curtobacterium* など) やグラム陰性の大腸菌群 (*Citrobacter* など) が主体であった。両部位の細菌を比較すると、褐変部位からのみ、*Herbaspirillum huttiense* および *Pseudomonas monteilii* が同定され、カッタレタスと類似の菌が検出された。

③カッタジャガイモ

20℃で 1 日間貯蔵中のカッタジャガイモ‘男爵’は、褐変スコアが 0 から 3 に進行し、各スコアのサンプルの一般生菌数は、スコア 0 (L*値=72) で 2.6 log CFU/g、スコア 1 (L*値=70) で 3.7 log CFU/g、スコア 2 (L*値=68) で 3.9 log CFU/g、スコア 3 (L*値=63) で 4.6 log CFU/g となり、褐変程度の進行に伴い、付着細菌数は増大した。

表 1. 褐変スコア 1 および 3 のカッタジャガイモから検出された細菌

褐変スコア	グラム型	細菌		褐変スコア	グラム型	細菌			
		属	種			属	種		
1	グラム陽性	<i>Arthrobacter</i>	<i>ilicis</i>	3	グラム陽性	<i>Arthrobacter</i>	<i>histidinovorans</i>		
			<i>Bacillus</i>				<i>circulans</i>	<i>Bacillus</i>	<i>altitudinis</i>
		<i>Exiguobacterium</i>	<i>megaterium</i>			グラム陰性	<i>Curtobacterium</i>		<i>megaterium</i>
			<i>subtilis</i>					<i>pumilus</i>	
			<i>acetylicum</i>				<i>albidum</i>		
			<i>mexicanum</i>				<i>luteum</i>		
			<i>Staphylococcus</i>				<i>epidemicus</i>	<i>Leifsonia</i>	<i>aquatica</i>
			グラム陰性				<i>Acinetobacter</i>	<i>baumannii</i>	<i>Microbacterium</i>
		<i>Burkholderia</i>				<i>radioresistens</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>genomospecies</i>	
						<i>sediminicola</i>		<i>radioresistens</i>	
	<i>Chryseobacterium</i>	<i>daeguense</i>		<i>Burkholderia</i>	<i>caledonica</i>				
	<i>scophthalmum</i>	<i>Chryseobacterium</i>			<i>indologenes</i>				
	<i>Enterobacter</i>	<i>asburiae</i>		<i>Citrobacter</i>	<i>scophthalmum</i>				
		<i>cloacae</i>			<i>freundii</i>				
	<i>Erwinia</i>	<i>persicina</i>		<i>Enterobacter</i>	<i>amnigenus</i>				
	<i>Kluyvera</i>	<i>georgiana</i>			<i>asburiae</i>				
	<i>Leclercia</i>	<i>adecarboxylata</i>		<i>Pantoea</i>	<i>cancerogenus</i>				
	<i>Pantoea</i>	<i>agglomerans</i>	<i>cloacae</i>						
		<i>ananatis</i>	<i>dispersa</i>	<i>kobei</i>					
	<i>Pseudomonas</i>	<i>marginalis</i>	<i>Erwinia</i>	<i>nimipressuralis</i>					
<i>tolaasii</i>		<i>pyrinus</i>							
<i>Rahnella</i>	<i>aquatilis</i>	<i>Pantoea</i>	<i>persicina</i>						
<i>Raoultella</i>	<i>ornithinolytica</i>		<i>agglomerans</i>						
<i>Rhizobium</i>	<i>radiobacter</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>ananatis</i>						
	<i>rubi</i>		<i>dispersa</i>						
<i>Serratia</i>	<i>rubidaea</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>fluorescens</i>						
<i>Sphingomonas</i>	<i>sanguinis</i>		<i>fuscovaginae</i>						
<i>Stenotrophomonas</i>	<i>maltophilia</i>	<i>Rahnella</i>	<i>tolaasii</i>						
			<i>aquatilis</i>						
		<i>Raoultella</i>	<i>ornithinolytica</i>						
		<i>Serratia</i>	<i>quinivorans</i>						

わずかに褐変が見られたスコア1の切片と顕著な褐変を示したスコア3の切片から検出された細菌種を比較した。スコア1の切片からは19属29種、スコア3の切片からは16属31種の細菌が検出され、グラム陽性の土壌細菌 *Arthrobacter*、*Bacillus* やグラム陰性の植物病原細菌 *Enterobacter*、*Erwinia*、*Pantoea*、*Burkholderia* などが共通して同定された(表1)。一方、スコア3の切片からのみ検出された細菌は、*Curtobacterium albidum*、*Curtobacterium luteum*、*Leifsonia aquatica*、*Microbacterium oleivorans*、*Citrobacter freundii* および *Pseudomonas fluorescens* の6菌種であった。

以上のレタス、リンゴおよびジャガイモの褐変部位にのみ存在した細菌と褐変反応との関係を調べるため、続いてカットリンゴとカットジャガイモを対象に、これらの細菌を接種した後の酵素的褐変への影響を調べた。

(2) 接種細菌が酵素的褐変に及ぼす影響

① カットリンゴ

カットリンゴに、 10^6 CFU/ml に調整した *P. fluorescens*、*P. monteilii*、*H. huttiense* の各菌液を接種し、5℃に3日間貯蔵したところ、*H. huttiense* の接種切片のみが無接種切片に比べて、褐変を進行させることが確認された。そこで、 10^3 CFU/ml および 10^6 CFU/ml の *H. huttiense* の菌液をカットリンゴに接種して5℃で3日間貯蔵し、褐変反応への影響を無接種区と比較した。特に 10^6 CFU/ml 接種区では、付着細菌数は $5 \log$ CFU/g を超えて、他の処理区よりも貯蔵中も高い菌数を維持したが、いずれの処理区も、褐変スコアは1.5程度に増加し、L*値は81から77に減少して、処理区間で褐変程度に差は見られなかった。褐変進行と同様に、すべての処理区間で、PPO活性、POD活性、ポリフェノール含量およびリグニン含量に差は見られず、褐変部位からのみ検出された細菌の接種は、カットリンゴの褐変反応にはほとんど影響しないことが明らかとなった。

② カットジャガイモ

カットジャガイモの褐変切片から検出された6菌株 (*C. albidum*、*C. luteum*、*L. aquatica*、*M. oleivorans*、*C. freundii* および *P. fluorescens*) を 10^3 CFU/ml の菌液に調整してカットジャガイモに接種し5℃で貯蔵すると、*P. fluorescens* の接種切片のみから褐変が観察された。そこで、 10^3 CFU/ml および 10^6 CFU/ml の *P. fluorescens* をカットジャガイモに接種して、5℃に3日間貯蔵し、褐変反応を詳細に調べた。カットジャガイモの蛍光性 *pseudomonads* 菌数を測定して、接種した *P. fluorescens* 菌数を見積ると、 10^3 CFU/ml および 10^6 CFU/ml 接種区ともに、3日間の貯蔵で、それぞれ $3 \log$ CFU/g から $6 \log$ CFU/g および $5 \log$ CFU/g から $7 \log$ CFU/g に増殖していることを確認した。両接種区ともに、同様の結果が得られたので、以下に無接種区と 10^3 CFU/ml 接種区の結果を示す。

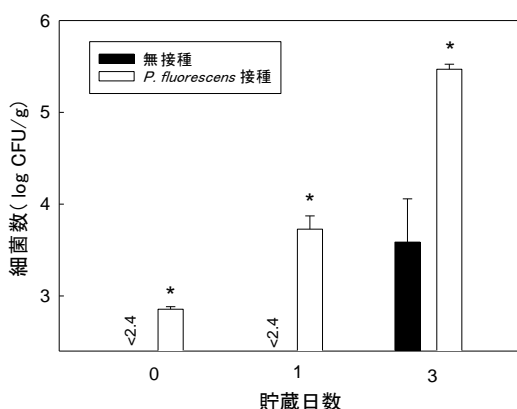


図1. *P. fluorescens* (10^3 CFU/ml) を接種し5℃に貯蔵したカットジャガイモの細菌数

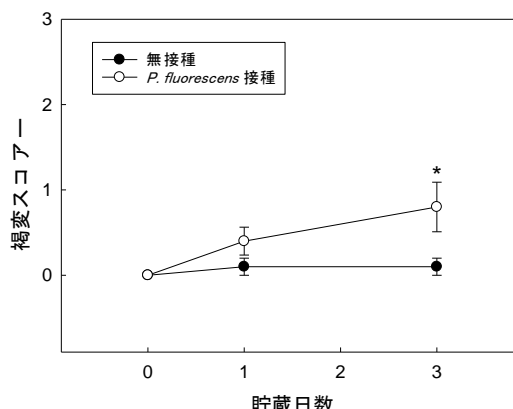


図2. *P. fluorescens* (10^3 CFU/ml) を接種し5℃に貯蔵したカットジャガイモの褐変スコア

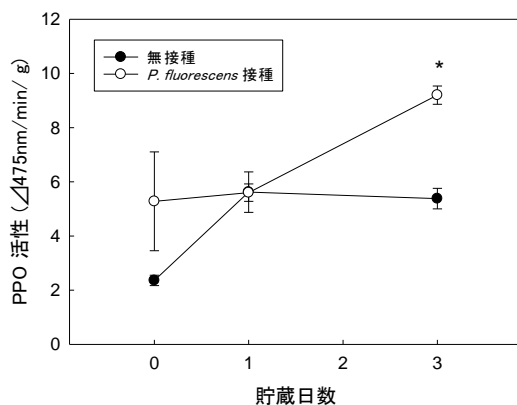


図3. *P. fluorescens* (10^3 CFU/ml) を接種し5℃に貯蔵したカットジャガイモのPPO活性

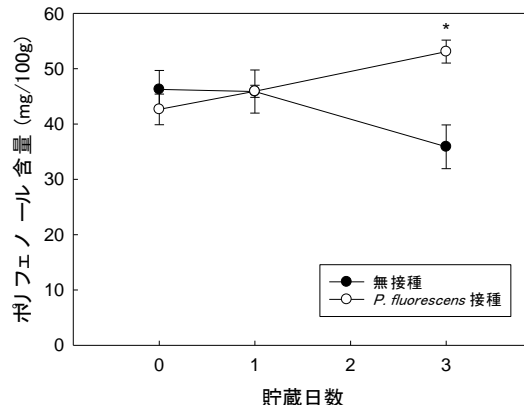


図4. *P. fluorescens* (10^3 CFU/ml) を接種し5℃に貯蔵したカットジャガイモのポリフェノール含量

P. fluorescens を接種したカットジャガイモでは、一般生菌数が 2.9 log CFU/g から 5.4 log CFU/g に増加し (図 1)、無接種サンプルに比べて、褐変が進行し (図 2)、PPO 活性の増大 (図 3) とポリフェノール含量の増加 (図 4) が認められた。PPO は植物 (ジャガイモ) だけではなく、微生物によっても生成されることが知られている⁸⁾。本研究でも、*P. fluorescens* を 30°C で培養することによって 13.4 mg/ml のタンパク質が合成され、菌体抽出液に 0.17 Δ 475 nm/min/mg タンパク質の PPO を放出することを確認した。無接種あるいは *P. fluorescens* 接種のカットジャガイモの PPO 活性 (植物 PPO) と *P. fluorescens* 菌体抽出液中の PPO 活性 (細菌 PPO) の pH 依存性をクロロゲン酸あるいはカテコールを基質として比較した。いずれの基質でも、ジャガイモ表面と同じ pH 付近では、植物 PPO の活性は非常に高いのに対して、細菌 PPO はほとんど活性を示さなかった。このことは、カットジャガイモの褐変中に増加したポリフェノールは、細菌 PPO ではなく植物 PPO を介して生成されていることを示している。ジャガイモ PPO (*stu PPO*) 遺伝子は、*PP01*~*PP09* の 9 個の isoform が存在し、それぞれ褐変に対して異なる寄与率であることが報告されている⁹⁾。本研究では、特に褐変反応に対する寄与率が高い *PP01* 遺伝子および病原体の侵入に対して誘導される *PP09* 遺伝子の発現量が、無接種区に比べて *P. fluorescens* 接種区でそれぞれ 2 倍および 5 倍高くなった。

以上から、カットジャガイモにおいて、*P. fluorescens* の存在は、微生物の侵入・増殖に対する植物の防御作用として、ジャガイモ PPO 遺伝子の発現、PPO の活性化、ポリフェノール含量の増加を誘導して、褐変を進行させるエリシターの役割を担っているものと考察した。

<引用文献>

- 1) Saltveit, M.E. 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biol. Technol.* 21, 61-69.
- 2) Toivonen, P.M.A., Brummell, D.A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 48, 1-14.
- 3) Watada, A.E., Izumi, H., Luo, Y., Rodov, V. 2005. Fresh-cut produce, in: Ben-Yehoshua, S. (Ed.), *Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 149-203.
- 4) Barros, M., Saltveit, M.E. 2013. Microbial growth in fresh-cut lettuce increases when wound-induced phenolic accumulation is suppressed. *Postharvest Biol. Technol.* 83, 34-39.
- 5) Valentines, M.C., Vilaplana, R., Torres, R., Usall, J., Larrigaudière, C. 2005. Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance. *Postharvest Biol. Technol.* 36, 227-234.
- 6) Rodov, V., Horev, B., Vinokur, Y., Sela, S., Pinto, R., Richard, G. 2015. Active MAP of ready-to-eat lettuce: Interplay between food quality and safety (the QUAFETY Approach). *Acta Hort.* 1071, 287-295.
- 7) Ramamoorthy, V., Raguchander, T., Samiyappan, R. 2002. Induction of defense-related proteins in tomato roots treated with *Pseudomonas fluorescens* Pf1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Plant Soil* 239, 55-68.
- 8) Mayer, A.M. 2006. Polyphenol oxidases in plants and fungi: Going places? A review. *Phytochemistry*. 67, 2318-2331.
- 9) Chi, M., Bhagwat, B., Lane, W.D., Tang, G., Su, Y., Sun, R., Oomah, B.D., Wiersma, P.A., Xiang, Y., 2014. Reduced polyphenol oxidase gene expression and enzymatic browning in potato (*Solanum tuberosum* L.) with artificial microRNAs. *BMC Plant Biol.* 14, 62.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- 1) Pramod V. Mahajan, Oluwafemi J. Caleb, Maria I. Gil, Hidemi Izumi, Giancarlo Colelli, Christopher B. Watkins, Manuela Zude. 2017. Quality and safety of fresh horticultural commodities: Recent advances and future perspectives. *Food Packaging and Shelf Life*, 14, 2-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.08.001> (査読有)

[学会発表] (計 6 件)

- 1) Hidemi Izumi, Natsuki Takebe, Kotoha Inui, Ayano Inoue. Influence of artificial bacterial inoculation on enzymatic browning of fresh-cut potatoes and apples. ASHS 2018 Annual Conference (Washington D.C., USA) 2018
- 2) 泉 秀実. 青果物/カット青果物の微生物制御と品質保持. テックデザイン講演会 (東京). 2018 年
- 3) Hidemi Izumi, Ayano Inoue. Interrelation between enzymatic browning and bacterial growth on fresh-cut apples and lettuce. VI ISHS Postharvest Unlimited. (Madrid, Spain) 2017

4) 井上あやの、泉 秀実. カットジャガイモ褐変部位から単離された *Pseudomonas fluorescens* が酵素的褐変に及ぼす影響. 日本防菌防黴学会第 44 回年次大会 (東京). 2017 年

5) Hidemi Izumi. Disinfectant treatments to reduce microbial food safety risks for fresh and fresh-cut produce. IV ISHS Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems. (Jeonju, Republic of Korea) 2017 (招待講演)

6) 井上あやの、木戸裕之、泉 秀実. カットジャガイモの酵素的褐変と微生物との関連性. 日本防菌防黴学会第 43 回年次大会 (大阪). 2016 年

[図書] (計 1 件)

1) Hidemi Izumi. Elsevier. Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce (Chapter 6. CA/MA requirements for spoilage microorganisms and human pathogens). 2019 (in press)

6. 研究組織

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 : 井上 あやの

ローマ字氏名 : Inoue Ayano