

国内産及び北米産リンゴ果肉の酵素的褐変における 速度論的研究

宇野 和 明

Kinetic Study of Enzymatic Browning in Domestic and
the North American Apple Pulps

Kazuaki Uno

1. はじめに

わが国において、リンゴ (*Malus pumila*) はミカンなどのカンキツ類について生産・消費されている主要な果物である (総務庁統計局 2005)。また、リンゴの品種育成は盛んで、現在多くの品種が市場に出回っている。1993年 (平成5年) にリンゴの輸入が解禁され、米国产リンゴをはじめとする外国産リンゴも市場でみられるようになってきた。

リンゴは調理や加工時に褐変することがよく知られている。これはリンゴに含まれているポリフェノール類がポリフェノールオキシダーゼの作用によりキノンを形成し、これに引き続く褐色物質への重合により生じる現象である (村田・本間 1998)。この酵素的褐変の制御は食品加工・貯蔵において重要な課題となっている。近年、リンゴ栽培において褐変の少ない品種の育成や栽培方法の研究が行われている (山王丸ら、1998)。これまで褐変の程度 (褐変度) とポリフェノールオキシダーゼ活性及びその基質となるポリフェノール含量との関係については種々報告されている (Harel *et al.*, 1966; Coseteng and Lee, 1987; Amiot *et al.*, 1992; Murata *et al.*, 1995; 山王丸ら、1998)。リンゴの調理加工においては褐変度とともに褐変の速度も重要な要因となる。Saper and Douglas (1987) が米国产リンゴ、Lozano *et al.* (1994) がスペイン産リンゴの褐変速度について報告している。国内産リンゴに関しては、著者ら (宇野ら、2000) が主要な6品種 (ふじ、むつ、王林、つがる、ジョナゴールド及び紅玉) における色差の経時変化について速度論的解析 (速度論的褐変評価法) を行い、それらの褐変速度及び褐変度を求めて褐変の品種特性を評価した。そこで本報では、この速度論的褐変評価法をさらに国内産リンゴ8品種及び北米産リンゴ6品種の褐変評価への適用を試みた。加えて、褐変速度及び褐変度に影響を与える因子についても若干の検討を行った。

2. 実験方法

2-1. 試料

国内産供試リンゴとして、青森県産の国光、印度、ゴールドデン・デリシャス、スターキング・デリシャス、金星、世界一、北斗及び秋田県産の千秋を用いた。北米産供試リンゴとして、米国ワシントン州産のゴールドデン・デリシャス (Golden Delicious)、レッド・デリシャス (Red Delicious)、グラニースミス (Granny Smith) 及びガラ (Gala) 並びにカナダブリティッシュコロンビア州産のマッキントッシュ (McIntosh) 及びスパータン (Spartan) を用いた (図1)。実験



ゴールドデン・デリシャス (Golden Delicious)



レッド・デリシャス (Red Delicious)



グラニースミス (Granny Smith)



ガラ (Gala)



マッキントッシュ (McIntosh)



スパータン (Spartan)

図1 本研究に用いた北米産リンゴの品種

には品種ごとにそれぞれ3個体を用いた。8分割したリンゴを剥皮除芯して各分析に用いた。褐変、水分、糖度、及びpHの測定については個体別に行った。国内産リンゴについては酸度、アスコルビン酸含量、クロロゲン酸含量及びポリフェノールオキシダーゼ活性の分析を行った。それらの測定には細断した果肉を等量ずつ混和、均一化した後、その一定量を実験に供した。

2 - 2 . 褐変の測定

リンゴを剥皮除芯後、おろし金で直ちにすりおろし、測定セルに入れ、測色色差計ZE-2000（日本電色工業社製）でハンターL値、a値及びb値並びに色差（E）の経時変化を測定した。なお、測定温度を20℃とした。

2 - 3 . 褐変速度定数および褐変度の算出

Eの経時変化データを次式により表し、非線形最小二乗法による曲線あてはめを行った。解析ソフトとしてKaleida Graph Version. 3.6（Synergy Software, USA）を用いた。

$$E = B(1 - \exp(-kt))$$

ここで、kは褐変速度定数（ min^{-1} ）、tは時間（min）、Bは褐変度とする。

2 - 4 . 水分、糖度及びpHの測定

果肉の水分を赤外線水分計FD-600（ケット科学研究所製）により測定した。果肉をすりおろして搾汁し、その果汁の糖度をデジタル糖度計PR-100（アタゴ社製）により測定した。すりおろした果肉に脱イオン水を等量加えて、そのpHをpHメータHM-12P（東亜電波工業社製）により測定した。

2 - 5 . 酸度の測定

果肉25gに脱イオン水を25mL加えてホモジナイズし、12,000rpmで15分間遠心分離を行って得た上澄液を脱イオン水で50mLに定容した。この試料溶液についてフェノールフタレイン溶液を指示薬として0.1M-水酸化ナトリウムによるアルカリ滴定法により測定し、リンゴ酸量として酸度を求めた。

2 - 6 . L-アスコルビン酸の測定

果肉25gに4%メタリン酸を30mL加えて、乳鉢で磨碎抽出し、12,000rpmで15分間遠心分離した。得られた上澄液を2%メタリン酸で50mLに定容した。この試料溶液についてHPLC法（三木1981）でL-アスコルビン酸含量を測定した。測定条件は、カラム：YMC Pack C18 A303（ワイエムシー社製）、移動相：1%リン酸、流量：0.8mL/min、カラム温度：室温、測定波長：254nmとした。

2 - 7 . クロロゲン酸の測定

果肉25gに冷メタノールを30mL加えてホモジナイズし、4℃で10分間攪拌抽出した。ホモジネートを12,000rpmで15分間遠心分離した。残渣をメタノールで2回抽出し、得られた上澄液をメタノールで100mLに定容した。このメタノール溶液についてジアゾ法（中林・鶴飼1963）によりクロロゲン酸含量を測定した。

2 - 8 . ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性の測定

大村・尊田 (1970) の方法に準じ、リンゴ果肉からアセトンパウダーを調製した。このアセトンパウダー 0.3 g を McIlvaine 緩衝液 (pH 6.0) 20 mL で乳鉢において磨砕抽出後、4 で 12,000 rpm、30 分間遠心分離して得られた粗酵素液を PPO 活性測定試料とした。PPO 活性の測定を Fujita and Tono (1988) の方法に準じて行った。すなわち、0.4 mM クロロゲン酸溶液 0.5 mL に McIlvaine 緩衝液 (pH 4.0) 1 mL、酵素液 0.5 mL を加えて、30 で 5 分間反応させた。ついで、2 % メタリン酸 3 mL を加えて反応を停止させ、325 nm で比色し、コントロール液との吸光度差を求めた。活性単位は酵素液 1 mL における 1 分間当たりの吸光度 0.01 の減少を 1 単位として表した。なお、タンパク質含量は牛血清アルブミンを標準として、Lowry 法 (1951) により測定した。

3 . 実験結果

3 - 1 . 褐変の速度論的解析

国内産リンゴにおける L 値、a 値及び b 値の経時変化を図 2 に示した。明度を示す L 値はいずれのリンゴ果肉とも時間経過とともに減少した。それらの減少曲線は 3 つのグループに分けられた。すなわち、国光、印度、スターキング・デリシャス及び北斗では、L 値が最も急速に減少した。金星、ゴールデン・デリシャス及び世界一における減少はそれらに比べてやや緩やかであった。千秋の L 値は最も緩やかな減少を示した。一方、赤みの度合いを示す a 値は L 値とは逆の傾向を示した。国光、印度、スターキング・デリシャス及び北斗ではすりおろし直後から a 値は直線的に増加し、約 10 分間で平衡状態となった。それらに比べて金星、ゴールデン・デリシャス及び世界一における a 値の増加は若干緩やかであった。千秋の a 値は最も緩やかに増加した。黄色の程度を示す b 値はいずれの品種とも緩やかな減少傾向を示した。北米産リンゴにおける L 値、a 値及び b 値の経時変化を図 3 に示した。L 値の減少はレッド・デリシャスが最も速く、グラニースミスが最

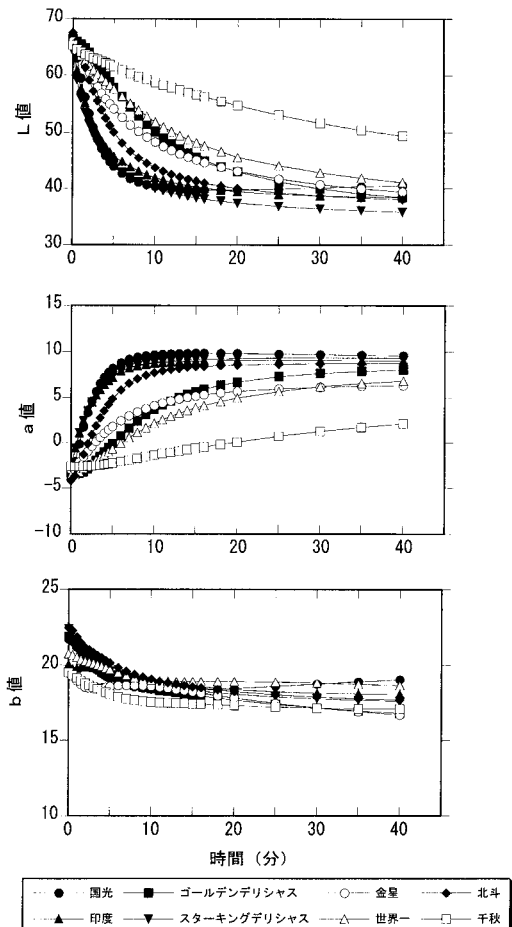


図 2 国内産リンゴ果肉における L 値、a 値及び b 値の経時変化

も緩やかであった。a 値の増加はスパータンが最も遅く、その他の品種には大きな差異はなかった。b 値はスパータンで若干増加傾向を示したが、他の品種では緩やかな減少傾向を示した。

国内産及び北米産リンゴにおける色差 (E) の経時変化を図 4 及び図 5 に示した。国内産リンゴでは L 値及び a 値と同様に、 E の増加速度は国光、印度、スターキング・デリシャス及び北斗の順で速く、ついで金星、ゴールデン・デリシャス及び世界の順であった。千秋では E の増加速度が他の品種に比べてかなり緩やかであった。北米産リンゴではゴールデン・デリシャス、レッド・デリシャス、ガラ、マッキントッシュ及びスパータンが約 5 分まで同様な増加傾向を示したが、その後、レッド・デリシャス及びスパータンは平衡状態となった。グラニースミスにおける E は約 10 分まで他の品種に比べて最も緩やかな増加を示した。

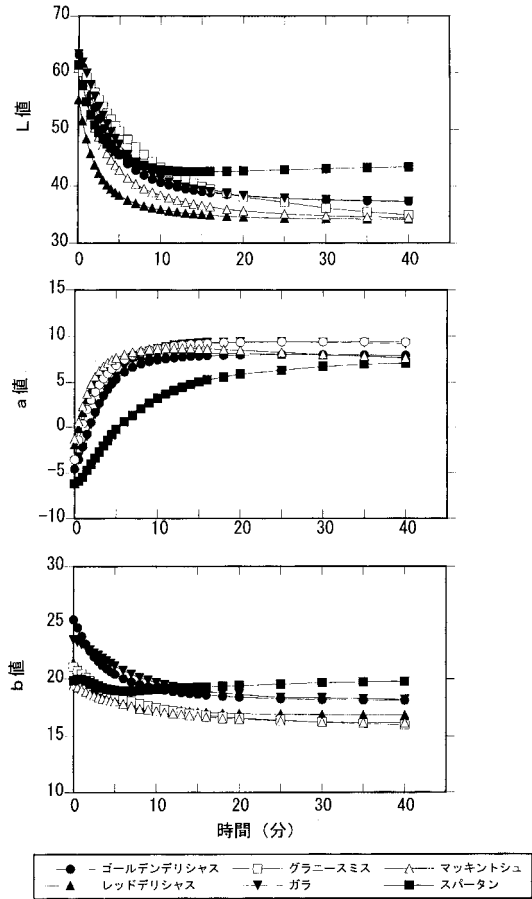


図 3 北米産リンゴ果肉における L 値、a 値及び b 値の経時変化

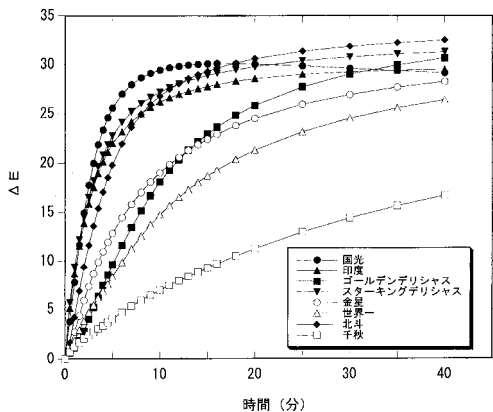


図 4 国内産リンゴ果肉における色差 (E) の経時変化

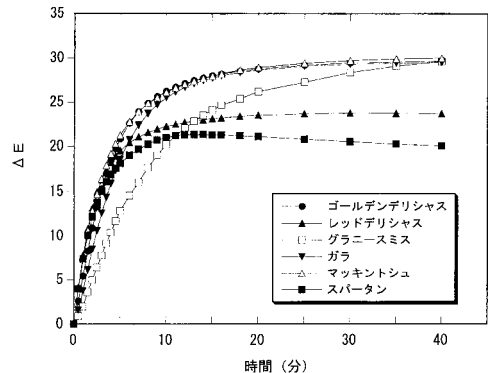


図 5 北米産リンゴ果肉における色差 (E) の経時変化

すべてのリンゴ品種において E の経時変化はべき乗型曲線を示した。そこで、前報（宇野ら、2000）と同様に、E の経時変化データを $E = B(1 - \exp(-kt))$ (k は褐変速度定数 (min^{-1})、 t は時間 (min)、 B は褐変度) により表し、非線形最小二乗法による曲線あてはめを行った。いずれの品種とも E の経時変化データは上式によく適合した。算出された国内産及び北米産リンゴ品種の褐変速度定数及び褐変度を表 1 及び表 2 に示す。国内産リンゴの褐変速度は、国光 > 印度 > スターキング・デリシャス > 北斗 > 金星 > ゴールデン・デリシャス > 世界一 > 千秋の順であった。北米産リンゴの褐変速度は、レッド・デリシャス > スパータン > マッキントッシュ > ゴールデン・デリシャス > ガラ > グラニースミス の順であった。一方、褐変度については国内産リンゴで、ゴールデン・デリシャス > 北斗 > 世界一 > 国光 > スターキング・デリシャス > 印度 > 金星 > 千秋の順で高かった。北米産リンゴの褐変度はグラニースミス > ガラ > ゴールデン・デリシャス > マッキントッシュ > レッド・デリシャス > スパータンの順で高かった。

表 1 国内産リンゴ果肉の褐変速度定数及び褐変度

品 種	褐変速度定数 (k) ($10^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	褐変度 (B)
国光	3.41 ± 0.61	30.4 ± 0.7
印度	3.35 ± 0.55	28.0 ± 0.5
ゴールデン・デリシャス	0.79 ± 0.17	34.8 ± 0.7
スターキング・デリシャス	3.31 ± 0.25	29.2 ± 1.3
金星	1.26 ± 0.34	27.6 ± 2.4
世界一	0.77 ± 0.54	31.8 ± 1.7
北斗	1.77 ± 0.39	32.4 ± 0.7
千秋	0.39 ± 0.09	20.9 ± 0.3

表 2 北米産リンゴ果肉の褐変速度定数及び褐変度

品 種	褐変速度定数 (k) ($10^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	褐変度 (B)
ゴールデン・デリシャス	2.50 ± 0.52	29.2 ± 0.9
レッド・デリシャス	3.61 ± 0.31	23.2 ± 2.2
グラニースミス	0.72 ± 0.13	31.4 ± 2.4
ガラ	1.95 ± 0.39	29.7 ± 2.7
マッキントッシュ	2.88 ± 0.68	28.8 ± 2.9
スパータン	3.31 ± 0.47	21.2 ± 0.5

3 - 2 .水分、糖度、pH及び酸度

国内産リンゴの水分、糖度、pH及び酸度を表 3 に示した。国光及び印度は水分が少なく、糖度が高かった。一方、千秋及びゴールデン・デリシャスは水分が多く、酸度が高かった。印度、金星及び世界一は pH が高く、酸度も低いという特性が認められた。北米産リンゴの水分、糖度

及びpHを表4に示した。北米産リンゴの水分は86.9～89.1%であり、国内産品種より水分を多く含む傾向があった。一方、糖度は10.6～13.4%の範囲で、国内産品種のものより概ね低かった。グラニースミスのpHは3.38と実験に供したリンゴのなかで最も低かった。

表3 国内産リンゴ果肉の水分、糖度、pH及び酸度

品 種	水分 (%)	糖度 (Brix %)	pH	酸度 (%)
国光	84.8±1.2	14.4±1.0	3.76±0.06	0.39
印度	83.8±0.2	14.8±0.6	4.49±0.06	0.13
ゴールドデン・デリシャス	87.1±0.4	12.2±0.7	3.58±0.02	0.30
スターキング・デリシャス	86.8±0.7	13.0±0.8	3.87±0.08	0.17
金星	86.2±0.3	12.6±0.6	4.22±0.23	0.15
世界一	87.6±0.5	14.4±0.8	4.10±0.11	0.19
北斗	87.2±0.2	13.2±0.2	3.80±0.10	0.23
千秋	88.3±0.3	11.8±0.3	3.64±0.06	0.32

表4 北米産リンゴ果肉の水分、糖度及びpH

品 種	水分 (%)	糖度 (Brix %)	pH
ゴールドデン・デリシャス	89.1±0.7	10.6±0.7	3.92±0.20
レッド・デリシャス	86.2±0.5	13.3±0.2	4.01±0.15
グラニースミス	87.1±0.5	12.7±0.7	3.38±0.07
ガラ	87.0±1.0	12.3±0.5	3.70±0.04
マッキントッシュ	88.0±0.6	12.4±0.5	3.80±0.09
スパータン	85.9±0.7	13.4±0.9	3.85±0.09

3 - 3 . アスコルビン酸含量

国内産リンゴ果肉のアスコルビン酸含量を図6に示した。アスコルビン酸は、最も褐変速度が遅く、褐変度も低かった千秋において高含量を示した。一方、褐変速度が非常に速かった国光、印度及びスターキング・デリシャスにおけるアスコルビン酸含量は低値を示した。したがって、アスコルビン酸含量がリンゴ果肉の褐変速度及び褐変度に影響を与えているの

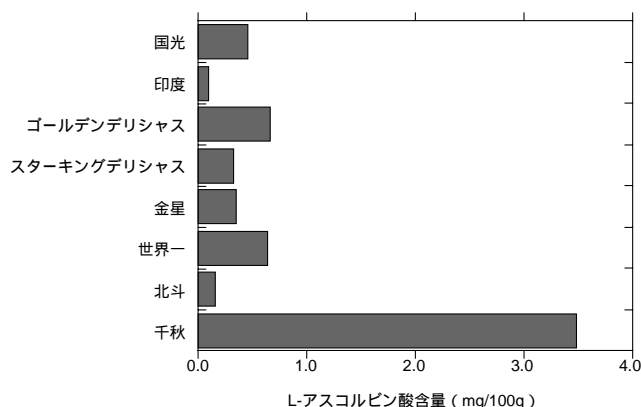


図6 国内産リンゴ果肉におけるL-アスコルビン酸含量

ではないかと考えられた。品種間におけるアスコルビン酸含量と褐変速度及び褐変度との相関係数 (r) はそれぞれ -0.55 及び -0.75 と算出され、負の相関が認められた。また、アスコルビン酸含量は褐変速度よりも褐変度との相関が強かった。

3 - 4 . クロロゲン酸含量

国内産リンゴ果肉のクロロゲン酸含量を図7に示した。クロロゲン酸は、褐変度が高い国光、ゴールデン・デリシャス、スターキング・デリシャス、世界一及び北斗に多く含まれていた。クロロゲン酸含量と褐変速度 ($r = 0.25$) とは明瞭な相関が品種間で認められなかったが、褐変度 ($r = 0.64$) とは弱い相関が認められた。

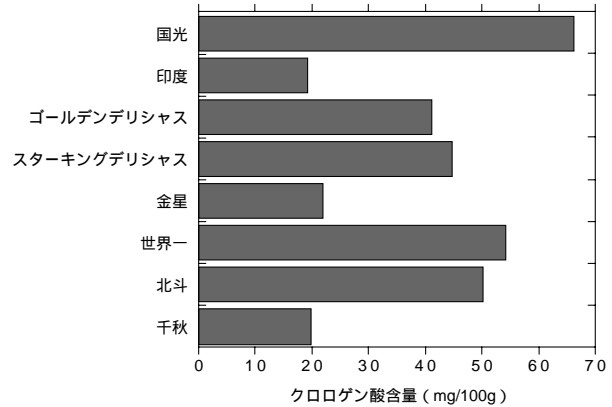


図7 国内産リンゴ果肉におけるクロロゲン酸含量

3 - 5 . ポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性

国内産リンゴ果肉におけるPPO活性を図8に示した。PPO活性は、北斗及び印度で高く、褐変度の低い千秋及び金星で低値を示した。PPO活性と褐変速度 ($r = 0.46$) 及び褐変度 ($r = 0.63$) には弱い相関が品種間で認められた。

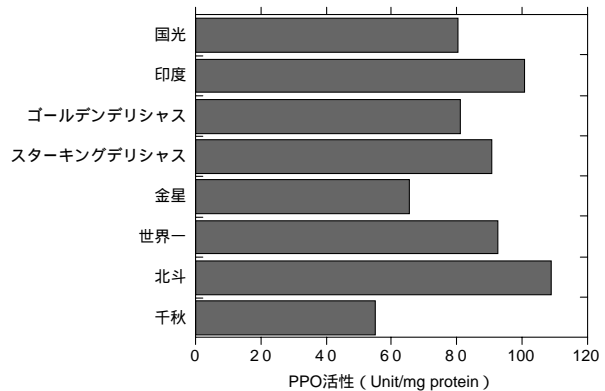


図8 国内産リンゴ果肉中のポリフェノールオキシダーゼ (PPO) 活性

4 . 考 察

Saper and Douglas (1987) 及び Lozano *et al.* (1994) は果肉の切断面についてL値の減少曲線における直線部分の傾きから褐変速度を評価している。しかし、この方法では品種により直線部分が複数認められるなど、品種間の比較には問題があるとしている。一方本研究では、国内産リンゴ8品種及び北米産リンゴ6品種の褐変現象について $E = B(1 - \exp(-kt))$ (k は褐変速度定数 (min^{-1})、 t は時間 (min)、 B は褐変度) をモデル式とする速度論的褐変評価法により褐変速度及び褐変度を評価することができた。すでに、著者は本法を用いて主要な国内産リンゴ6品種の褐変速度及び褐変度を品種間で評価している(宇野ら、2000)。したがって、本褐変評価法はリンゴ品種における褐変を評価するツールとして非常に有用であると考えられた。

本研究に用いた国内産リンゴの品種では、褐変速度が非常に速く、褐変度も高い品種(国光、印度、スターキング・デリシャス)、褐変速度が遅く、褐変度も低い品種(千秋)、褐変速度は

やや遅いが、褐変度は高い品種（ゴールドデン・デリシャス、世界一、金星、北斗）の3タイプが認められた。一方北米産リンゴでは、褐変速度が速く、褐変度も高い品種（ゴールドデン・デリシャス、マッキントッシュ、ガラ）褐変速度は速いが、褐変度が低い品種（レッド・デリシャス、スパータン）褐変速度は遅いが、褐変度が低い品種（グラニースミス）の3タイプが認められた。ゴールドデン・デリシャスは国内産と北米産のものでは褐変速度が大きく異なるという興味ある結果となった。山王丸ら（1998）は同一品種でも栽培条件の違いが褐変に影響を与えると報告している。ゴールドデン・デリシャスは国内産と北米産では果皮の色や大きさがかなり異なっていた。すなわち、国内産のものでは果皮の色が黄色で大玉であるのに対し、北米産のものでは、果皮の色は緑色で小玉であった。したがって、国内産と北米産のものでは栽培条件が大きく異なると考えられ、その差異が褐変速度に影響を与えたのではないかと推察された。これまで褐変に及ぼす要因については、クロロゲン酸やカテキンなどのポリフェノール含量に依存するという報告がある一方で、ポリフェノールオキシダーゼ（PPO）活性が大きく関与するという報告もある。Coseteng and Lee（1987）は、褐変度がポリフェノール含量に依存する品種とPPO活性に依存する品種があり、それらの品種特性によると報告している。Murata *et al.*（1995）及び山王丸ら（1998）も同様に、リンゴ果肉の褐変は品種の特性に依存すると報告している。Murata *et al.*（1993）はウエスタンプロットニング分析により、リンゴでは品種の違いに関わらず、分子量が65 kDaである同一のPPO酵素が褐変に関与すると報告している。本研究で用いた品種のなかで、最も褐変速度が遅く、褐変度も低い千秋では、クロロゲン酸含量は少なく、PPO活性も低かった。さらに、千秋は還元剤としてのアスコルビン酸を多く含み、酸度が高く、pHも低かった。また、Murata *et al.*（1992）はふじからPPOを精製し、その至適pHは4であり、pH 3ではその活性が約60%に低下すると報告している。本研究に用いた北米産のグラニースミスの褐変速度が遅いのは果肉の低いpHによるものと考えられる。同様な結果は国内産紅玉においても報告されている（宇野ら、2000）。一方、褐変速度が速く、褐変度も高い国光及びスターキング・デリシャスではPPO活性が高く、クロロゲン酸含量も多かった。しかし、褐変速度が速く、褐変度も高い印度ではPPO活性は高いが、クロロゲン酸含量は少なかった。以上のように褐変速度及び褐変度は品種により異なり、品種の果肉特性に大きく依存しているものと考えられた。すなわち、褐変における品種特性はPPO活性の強弱及びクロロゲン酸含量の差異に加えて、酸度、pHの高低及びアスコルビン酸含量の差異によって定まるのではないかと推察される。

育種的観点から、本研究に用いた国内産リンゴ8種と既報（宇野ら、2000）で用いた6種について、褐変速度及び褐変度について表5にまとめた。我が国のリンゴ品種育成の親となっている第一世代の品種では、褐変速度が速い品種として国光、印度及びスターキング・デリシャス、褐変速度が遅い品種として紅玉及びゴールドデン・デリシャスとに分けられた。それらの子である第二世代の品種では、褐変速度の遅い品種同士を交雑して得られたつがる及びジョナゴールドではやはり褐変速度が遅く、褐変度も低い品種となっている。褐変速度が速い品種を両親とするふじでは褐変速度は速いが、その速度は両親のものより遅かった。むつ、王林及び金星では花粉親

表5 国内産リンゴ品種における交雑組合せと褐変速度定数及び褐変度

登録・発表年	品 種	交雑組合せ	褐変速度定数 ($10^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	褐変度
1871 (明治4)	国光 (英名 Ralls Janet)	不明	3.41	30.4
	紅玉 (英名 Jonathan)	不明	0.23	34.0
1884 (明治17)	印度	不明	3.35	28.0
1923 (大正12)	ゴールドデン・デリシャス	不明	0.79	34.8
1929 (昭和4)	スターキング・デリシャス	デリシャスの枝変わり品種	3.31	29.2
1948 (昭和23)	むつ	ゴールドデン・デリシャス× 印度	1.56	31.6
1952 (昭和27)	王林	ゴールドデン・デリシャス× 印度	1.33	31.3
1958 (昭和33)	ふじ	国光×デリシャス	2.58	33.4
1968 (昭和43)	金星	ゴールドデン・デリシャス× 国光	1.26	27.6
1970 (昭和45)	つがる	ゴールドデン・デリシャス× 紅玉	0.52	21.1
	ジョナゴールド	ゴールドデン・デリシャス× 紅玉	0.27	21.5
1974 (昭和49)	世界一	デリシャス× ゴールドデン・デリシャス	0.77	31.8
1978 (昭和53)	千秋	東光 (ゴールドデン・デリシ ヤス×印度) ×ふじ	0.39	20.9
1981 (昭和56)	北斗	ふじ×むつ	1.77	32.4

品種の影響を受けて、褐変速度は両親の中間となっていると推察される。世界一でもかなり花粉親の性質を受け継いでいると考えられた。したがって、褐変速度は母本よりも花粉親遺伝子の影響を受けやすいのではないかと考えられた。第一世代の孫に当たる第三世代の北斗における褐変速度は花粉親のむつと同程度であった。一方、千秋の褐変速度は遅く、花粉親のふじの影響を受けていないようであった。また、千秋の果肉に含まれるアスコルビン酸は他品種より高含量であり、それが褐変速度の遅い因子のひとつであると考えられた。リンゴ果肉におけるアスコルビン酸含量の遺伝は両親に準ずるが、両親よりも高含量となる場合が2割程度あると報告されている(今、1973)。しかし、本研究では母本である東光について調べていないため、東光からの影響が否かを判断することができなかった。今後リンゴ栽培において、千秋のようなアスコルビン酸高含量品種の育成が可能となれば、褐変の少ない果肉をもつ新品種が期待される。

謝 辞

本稿を査読審査していただき、貴重なご示唆を賜りました査読者に謝意を表します。

文 献

- Amiot, M.J., Tacchini, M., Aubert, S. and Nicolas, J. (1992) Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science* 57, 958-962.
- Coseteng, M.Y. and Lee, C.Y. (1987) Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science* 52, 985-989.
- Fujita, S. and Tono, T. (1988) Purification and some properties of polyphenoloxidase in eggplant (*Solanum melongena*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 46, 115-123.
- Harel, E., Mayer, A.M. and Shain, Y. (1966) Catechol oxidases, endogenous substrates and browning in developing apples. *Journal of Science of the Food and Agriculture* 17, 389-392.
- 今喜代治 (1973) リンゴの品種育成に関する研究, 秋田県果樹試験場研究報告 6, 1-82.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. (1951) Protein measurement with folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193, 265-275.
- Lozano, J.E., Drudis-Biscarri, R. and Ibarz-Ribas, A. (1994) Enzymatic browning in apple pulps. *Journal of Food Science* 59, 564-567.
- 三木 登 (1981) 高速液体クロマトグラフィーによるトマト製品中のアスコルビン酸の分析, 日本食品工業学会誌 28, 264-268.
- 村田容常, 本間清一 (1998) ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御, 日本食品科学工学会誌 45, 177-185.
- Murata, M., Kurokami, C. and Homma, S. (1992) Purification and some properties of chlorogenic acid oxidase from apple (*Malus pumila*). *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 56, 1705-1710.
- Murata, M., Kurokami, C., Homma, S. and Matsushashi, C. (1993) Immunochemical and immunohistochemical study of apple chlorogenic acid oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41, 1385-1390.
- Murata, M., Noda, I. and Homma, S. (1995) Enzymatic browning of apples on the market: relationship between browning, polyphenol content and polyphenol oxidase, *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 42, 820-826.
- 中林敏郎, 鶴飼暢雄 (1963) 酸化酵素による桃果肉のかっ変現象, 日本食品工業学会誌 10, 211-216.
- 大村浩久, 尊田民善 (1970) 食品の変色とスペクトルとの関係 (), 栄養と食糧 23, 367-373.
- 山王丸靖子, 片山 脩, 櫻村芳記, 金丸勝芳 (1998) リンゴの褐変に及ぼすポリフェノール成分とポリフェノールオキシダーゼ活性の影響, 日本食品科学工学会誌 45, 28-36.
- Saper, G.M. and Douglas Jr. F.W. (1987) Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in juice of raw apple and pear fruits. *Journal of Food Science* 52, 1258-1285.

総務庁統計局(2005)「日本の統計2005」, <http://www.stat.go.jp/data/nihon/index.htm>

宇野和明, 宇野良子, 前田 巖, 加田静子(2000)リンゴ果肉の酵素的褐変における速度論的研究, 日本調理科学会誌 45, 28-36.

宇野和明

〒489 - 8086 愛知県江南市

高屋町大松原172番地

愛知江南短期大学

生活科学科