

切断傷害によるストレスがピーマン果実のアスコルビン酸代謝に及ぼす影響

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	今堀, 義洋 上田, 悦範 周, 燕飛
巻/号	66巻1号
掲載ページ	p. 175-183
発行年月	1997年6月

切断傷害によるストレスがピーマン果実のアスコルビン酸代謝に及ぼす影響

今堀義洋・周 燕飛・上田悦範・阿部一博・茶珍和雄

大阪府立大農学部 593 堺市学園町 1-1

Effects of Wound Stress by Slicing Sweet Pepper Fruits on Ascorbic Acid Metabolism

Yoshihiro Imahori, Yan-Fei Zhou, Yoshinori Ueda,
Kazuhiro Abe and Kazuo Chachin

College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 593

Summary

The effects of wound stress by slicing sweet pepper fruits 'Golden Bell' on ascorbic acid metabolism were investigated.

1. The ascorbic acid contents in sliced tissue of mature green and ripe yellow pepper fruits stored at 20 °C were not changed by wounding; although the dehydroascorbic acid contents increased after wounding, that level was maintained constant during the subsequent storage period.

2. The level of hydrogen peroxide in sliced tissues stored at 20 °C was slightly lower than that of whole fruit; thereafter the hydrogen peroxide content in sliced tissues increased to the equal that in whole fruit within 24 hours of storage.

3. In both mature green fruit and ripe yellow fruit, the activities of ascorbate peroxidase were not influenced by wounding. The activities of monodehydroascorbate reductase in sliced yellow ripe fruit tissues stored at 20 °C increased during 12 hours after wounding, thereafter they decreased. On the other hand, the activities of monodehydroascorbate reductase in sliced mature green fruit tissues stored at 20 °C were not influenced by wounding. The activities of dehydroascorbate reductase in sliced tissue prepared from mature green fruit and ripe yellow fruit increased during 12 hours after cutting, and then decreased during the subsequent storage period.

4. The activities of catalase, glutathione reductase, and L-galactono- γ -lactone dehydrogenase in sliced tissues prepared from mature green fruit and ripe yellow fruit increased after cutting, and then decreased during subsequent storage period.

Our results suggest that wound stress by cutting activates the biosynthesis of ascorbic acid and reductases on ascorbic acid metabolism, so that the level of ascorbic acid in sweet pepper fruits remains high.

緒 言

植物体は温度、ガス、光などの外部環境から様々なストレスを受け、それらに対し応答し、外部環境に自らを適応させ生命体を維持している。青果物では収穫時において親木から切り離されるような切断傷害によるストレスを受けた場合には、呼吸の上昇(茶珍・緒

方, 1972; Kays, 1991), エチレン生成(Lougheedら, 1987), 褐変物質の蓄積(Hung, 1993)や切断面でのコルク層の形成(樽谷, 1972)などが起こることが知られている。とくに、カット野菜などは加工時に生体が切断調製された一次加工品で、呼吸の一時的増加(河野・椎名, 1989)にみられるように青果物自体が過度の切断傷害ストレスを受けている。

青果物はビタミンC(アスコルビン酸)の重要な供給源である。一般的に青果物を貯蔵した場合、アスコ

ルビン酸含量は経時的に減少することが知られており、青果物のアスコルビン酸含量の変化が青果物の鮮度指標にもなっている (伊藤, 1972)。

青果物を切断した時のアスコルビン酸含量の変化については、キャベツを切断し 30℃ に放置した場合、結球そのもので放置するよりも低下が激しいことが、一方、ジャガイモの塊茎では切断により増加することが報告されている (大羽, 1990)。また、筆者らはピーマン果実を切断した組織切片ではアスコルビン酸含量があまり変化しなかったことを報告した (周ら, 1992)。切断傷害によるストレスが青果物のアスコルビン酸代謝に及ぼす影響についてはいくつかの研究報告がみられるが、詳細な研究は少ない。

本報は青果物の中でも比較的多くアスコルビン酸を含有するピーマン果実を用いて、切断傷害によるストレスがアスコルビン酸代謝に及ぼす影響について調査したものである。

材料および方法

1. 実験材料および処理方法

大阪府中央市場より購入した大果系ピーマン果実 'ゴールデンベル' の黄色果およびその緑熟果を 70% エタノールで除菌処理した後、10 mm×10 mm の組織切片を作製し、20 g (切片数約 48 個) を滅菌シャーレに入れ、20℃ 暗所に 48 時間保存した。対照として組織切片と同様に除菌処理した無切断果実を有孔ポリエチレン袋 (厚さ 0.02 mm) に入れ、組織切片と同一条件下で保存した。

2. アスコルビン酸および酸化型アスコルビン酸含量の測定

試料 5 g を Zapata・Dufour (1992) の方法に準じて高速液体クロマトグラフィーで測定した。

3. 過酸化水素含量の測定

試料 5 g を Brennan・Frenkel (1977) の方法に準じて測定した。

4. L-ガラクトノ-γ-ラクトン脱水素酵素の抽出および活性の測定

Mapson・Breslow (1958) の方法を改良し、次の方法で行った。

試料 50 g を 0.4 M ショ糖を含む 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4) 50 ml とともにブレンダーでホモジナイズし、ホモジネートを 2 層のガーゼでろ過後、遠心分離 (13,000 g, 20 分間) した。得られた沈殿を 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4) 10 ml で懸濁させ、懸濁液を遠心分離 (13,000 g, 20 分間) し、沈殿を得た。さら

に、沈殿を 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.4) 10 ml で懸濁させ、冷アセトン 100 ml を添加してアセトンパウダーを得た。抽出は 4℃ 下で行った。アセトンパウダーは分析まで -70℃ 下で保存した。分析時にアセトンパウダー 10 mg を 0.01 M リン酸緩衝液 (pH 7.8) に溶解し、その溶解液のろ液を粗酵素液とした。活性の変化は 0.01 M リン酸緩衝液 (pH 7.8) に粗酵素液、チトクローム C (1.5 mg/ml) および L-ガラクトノ-γ-ラクトン (2 mg/ml) を含む反応液 (反応液量 3 ml) のチトクローム C の還元による 550 nm の波長での吸光度の増加を分光光度計で測定した。

酵素活性の測定は 30℃ 下で行い、酵素活性 1 Unit は 1 分間の吸光度 0.01 の変化とした。

5. アスコルビン酸の酸化還元酵素、カタラーゼおよびグルタチオン還元酵素の抽出および活性の測定

試料 5 g を 10 mM システインを含む 0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.5) 45 ml にポリクラール AT (0.5 g) を加えて、乳鉢中で乳棒で磨砕した。磨砕液を 2 層のミラクロスでろ過し、ろ液を遠心分離 (15,000 g, 20 分間) し、得られた上澄液を粗酵素液とした。なお、粗酵素の抽出は 8℃ 下で行った。

アスコルビン酸ペルオキシダーゼの活性は Nakano・Asada (1981) の方法に準じて測定した。すなわち、0.05 M リン酸緩衝液 (pH 6.0) に粗酵素液、0.5 mM アスコルビン酸ナトリウム、0.1 mM EDTA (Na 塩) および 0.1 mM 過酸化水素を含む反応液 (反応液量 2 ml) におけるアスコルビン酸の酸化による 290 nm の波長での吸光度の減少を分光光度計で測定することによった。

モノデヒドロアスコルビン酸還元酵素の活性は Marre・Arrigoni (1958) の方法に準じて、0.06 M トリス緩衝液 (pH 9.2) に粗酵素液、0.2 mM NADH、0.4 mM アスコルビン酸ナトリウム、40 μM CuSO₄ および 0.02% TritonX-100 を含む反応液 (反応液量 2.5 ml) における NADH の酸化による 340 nm の波長での吸光度の減少を分光光度計で測定した。

酸化型アスコルビン酸還元酵素の活性は Foyer・Halliwell (1976) の方法に準じて、0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.0) に粗酵素液、0.5 mM 酸化型アスコルビン酸および 5 mM 還元型グルタチオンを含む反応液 (反応液量 1 ml) の酸化型アスコルビン酸の還元による 290 nm での波長の吸光度の増加を分光光度計で測定した。

カタラーゼの活性は Beers・Sizer (1952) の方法に準じ、0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.2) に粗酵素液および 0.3% 過酸化水素を含む反応液 (反応液量 3 ml) の過酸化水素の減少による 240 nm の波長での吸光度の減少を分光光度計で測定した。

グルタチオン還元酵素の活性は Racker (1955) の方法に準じ、0.1 M リン酸緩衝液 (pH 7.2) に粗酵素液、1 mM NADPH、1% 酸化型グルタチオンおよび 1% アルブミンを含む反応液 (反応液量 2 ml) の NADPH の酸化による 340 nm の波長での吸光度の減少を分光光度計で測定した。

いずれの酵素活性の測定も 25 °C 下で行い、酵素活性 1 Unit は 1 分間の吸光度 0.01 の変化とした。

6. タンパク質の定量

タンパク質の定量は Bradford (1976) の方法に準じて行った。

結 果

1. アスコルビン酸および酸化型アスコルビン酸含量の変化

ピーマンの緑熟果はアスコルビン酸を約 60 mg/100 gf.w. 含有しており、20 °C 保存中は含量に変化はなかった。また、組織切片ではその含量において無切断果実との差異はなく、しかも 20 °C 保存中においても含量に変化はなかった。また、黄色果はアスコルビン酸を緑熟果の 2.3 倍の 140 mg/100 gf.w. 含有しており、

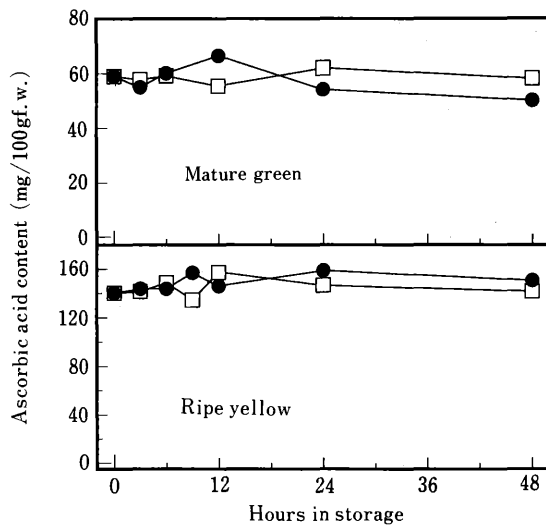


Fig. 1. Effect of wound stress by cutting on ascorbic acid contents of sweet pepper fruits stored at 20 °C.

●-● whole □-□ sliced tissue

緑熟果と同様に保存中含量の変化はなかった (第 1 図)。

一方、酸化型アスコルビン酸含量は緑熟果の無切断果実では約 3 mg/100 gf.w. であり、アスコルビン酸含量と同様に 20 °C 保存中も変化はなかった。しかし、組織切片では酸化型アスコルビン酸含量が保存 12 時間で急増し、無切断果実の約 4 倍の 12 mg/100 gf.w. にまで達し、その後はその含有レベルを維持した。また、黄色果の酸化型アスコルビン酸含量は緑熟果と同様に無切断果実では貯蔵中変化はなく、約 4 mg/100 gf.w. のレベルを維持したのに対し、組織切片では切断後直ちに酸化型アスコルビン酸含量は増加し、保存 3 時間で無切断果実の約 2.7 倍の 11 mg/100 gf.w. にまで達し、その後は少し減少傾向を示したが、無切断果実より高い値を示した (第 2 図)。

2. 過酸化水素含量の変化

ピーマンの緑熟果の過酸化水素含量は 20 °C 保存中幾分変化したが、一定のレベルであった。一方、組織切片の含量は保存 24 時間まで無切断果実より低い過酸化水素含量であったが、その後は無切断果実と同一の含有レベルを示した。黄色果の過酸化水素含量は緑熟果と同様に保存中はほぼ一定のレベルであった。組織切片では保存 24 時間まで無切断果実より低い含量であったが、その後は無切断果実と同一の含有レベルを

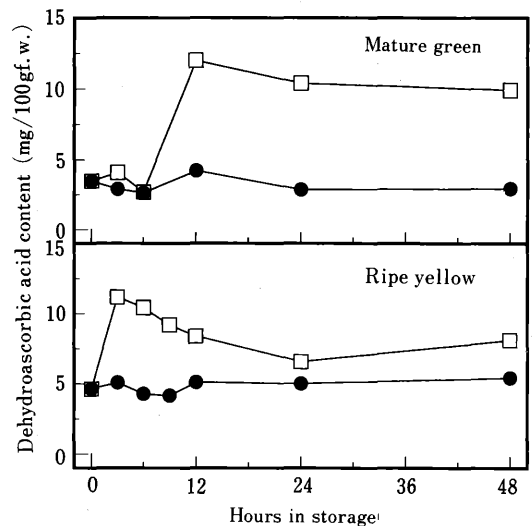


Fig. 2. Effect of wound stress by cutting on dehydroascorbic acid contents of sweet pepper fruits stored at 20 °C.

●-● whole □-□ sliced tissue

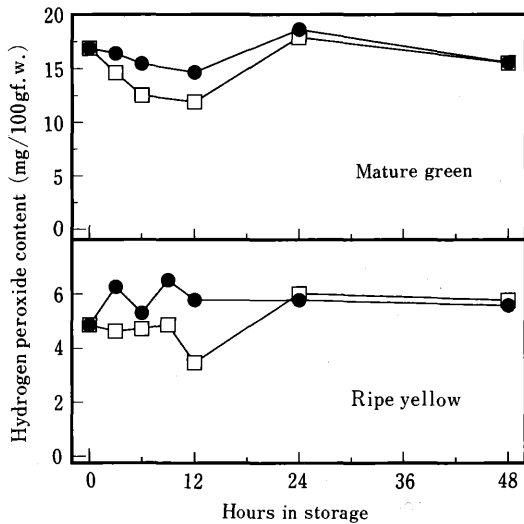


Fig. 3. Effect of wound stress by cutting on hydrogen peroxide contents of sweet pepper fruits stored at 20 °C.
●-● whole □-□ sliced tissue

示した (第3図).

3. L-ガラクトノ-γ-ラクトン脱水素酵素の活性変化

ピーマンの緑熟果のL-ガラクトノ-γ-ラクトン脱水素酵素の活性は20°Cの保存中緩やかに増加する傾向であったが、組織切片ではその活性が保存3時間で急激に約5倍まで増加した後、保存12時間で元のレベルまで減少し、その後は低い活性のレベルを維持した。また、黄色果では保存中酵素活性は一定レベルを維持したのに対し、組織切片の酵素活性は保存開始後直ちに増加し、保存6時間で無切断果実の約2.5倍となり、その後は無切断果実と同様な傾向であった (第4図)。

4. アスコルビン酸の酸化に関する酵素の活性変化

ピーマンの緑熟果のアスコルビン酸ペルオキシダーゼの活性変化は無切断果実、組織切片とも20°C保存12時間で一時上昇があるものの両者において活性の程度には差はなかった。また、黄色果も緑熟果と同様に無切断果実と同様の活性レベルで、保存中ほとんど変化しなかった (第5図)。

5. アスコルビン酸の還元に関する酵素の活性変化

無切断果実の酸化型アスコルビン酸還元酵素の活性は20°C保存中変化が少ないのに対し、組織切片の酵素活性は保存開始後直ちに増加し、保存12時間で最

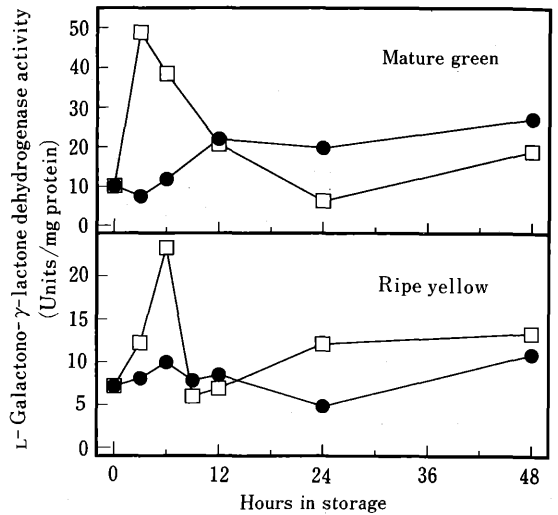


Fig. 4. Effect of wound stress by cutting on L-galactono-γ-lactone dehydrogenase activity of sweet pepper fruits stored at 20 °C.
●-● whole □-□ sliced tissue
One unit is defined as a change of 0.01 in absorbance per minute.

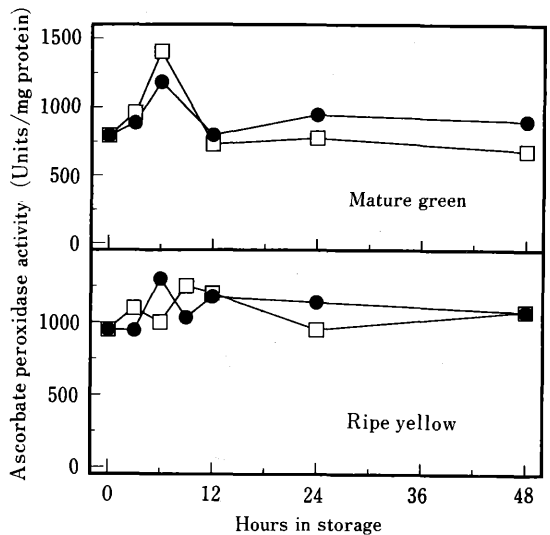


Fig. 5. Effect of wound stress by cutting on ascorbate peroxidase activity of sweet pepper fruits stored at 20 °C.
●-● whole □-□ sliced tissue
One unit is defined as a change of 0.01 in absorbance per minute.

大になり、その活性は無切断果実の約2倍に達した。しかし、その後は酵素活性は急減した (第6図)。ま

た、黄色果でも緑熟果と同様に無切断果実では保存中酵素の活性変化が少ないのに対し、組織切片の酵素活性は保存開始後直ちに増加し、保存12時間で最大となり、その活性が無切断果実の約1.4倍に達した。その後は無切断果実と同じレベルであった(第6図)。一方、モノデヒドロアスコルビン酸還元酵素の活性は緑熟果では無切断果実、組織切片とも20°C保存中は一定レベルを維持し、両者の活性には差がなかった(第7図)。しかし、黄色果では無切断果実の酵素活性は一定レベルを維持したのに対し、組織切片の酵素活性は保存開始後直ちに活性が増加し、保存12時間で最大となり、その活性が無切断果実の約2.8倍に達し、その後は無切断果実と同じレベルであった(第7図)。

6. カタラーゼの活性変化

緑熟果の無切断果実のカタラーゼの活性は20°C保存中緩やかに増加したが、組織切片の酵素活性は保存開始後直ちに増加し、保存3時間で無切断果実の約2倍になり、その後はそのレベルを維持した。しかし、黄色果では無切断果実の活性は保存中増加傾向であるのに対し、組織切片で活性は保存開始後直ちに増加し、保存12時間で無切断果実の約4倍になり、その後は減少した(第8図)。

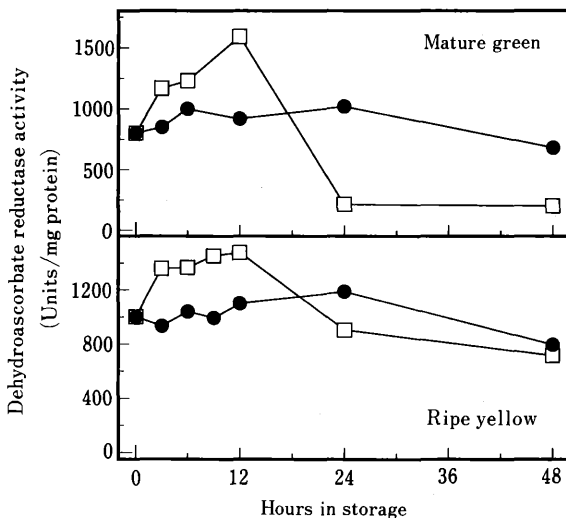


Fig. 6. Effect of wound stress by cutting on dehydroascorbate reductase activity of sweet pepper fruits stored at 20°C.

●-● whole □-□ sliced tissue
One unit is defined as a change of 0.01 in absorbance per minute.

7. グルタチオン還元酵素の活性変化

緑熟果の無切断果実のグルタチオン還元酵素の活性は20°C保存中ほぼ一定レベルを維持しているのに対

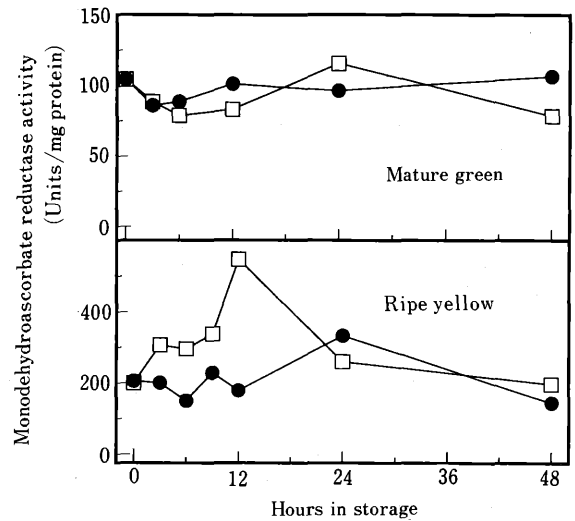


Fig. 7. Effect of wound stress by cutting on monodehydroascorbate reductase activity of sweet pepper fruits stored at 20°C.

●-● whole □-□ sliced tissue
One unit is defined as a change of 0.01 in absorbance per minute.

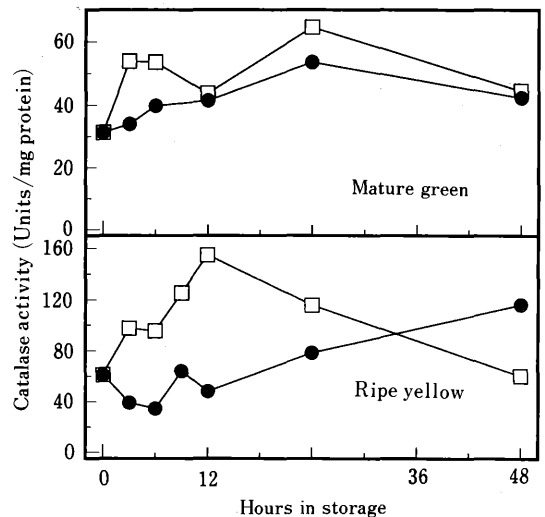


Fig. 8. Effect of wound stress by cutting on catalase activity of sweet pepper fruits stored at 20°C.

●-● whole □-□ sliced tissue
One unit is defined as a change of 0.01 in absorbance per minute.

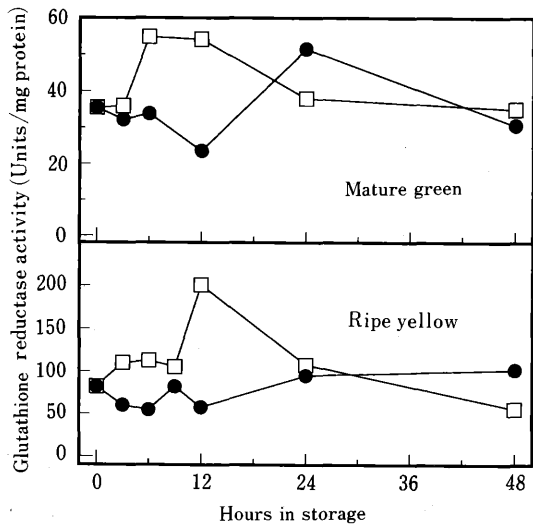


Fig. 9. Effect of wound stress by cutting on glutathione reductase activity of sweet pepper fruits stored at 20 °C.
 ●-● whole □-□ sliced tissue
 One unit is defined as a change of 0.01 in absorbance per minute.

し、組織切片の酵素活性は保存6時間で無切断果実の約2倍に増加し、その後保存48時間で無切断果実と同じレベルまで活性が減少した。一方、黄色果でも無切断果実では保存中ほぼ一定レベルを維持しているのに対し、組織切片ではその活性は保存12時間で無切断果実の約4倍に増加し、その後無切断果実と同一レベルまで活性が減少した(第9図)。

考 察

切断傷害によるストレスを受けたピーマン果実ではアスコルビン酸が生合成され、酸化型アスコルビン酸を含めた総アスコルビン酸含量が増加した(第1, 2図)。ジャガイモの塊茎を切断し、放置した実験でも同様に総アスコルビン酸含量が増加することが報告されている(大羽, 1990)。高等植物のアスコルビン酸の生合成経路はまだ明らかにされていないが、L-ガラクトノ-γ-ラク톤を前駆物質とし、L-ガラクトノ-γ-ラク톤脱水素酵素が関与する経路が有力視されている(Mapson・Breslow, 1958)。Ôbaらはジャガイモの塊茎(1994)およびサツマイモの塊根(1995)を切断し、放置することによりL-ガラクトノ-γ-ラク톤脱水素酵素が誘導され、その活性が増大し、アスコルビン酸が生合成されることを見出している。本実験においても、切断後3時間でL-ガラクトノ-γ-ラク톤

脱水素酵素の活性が増大し(第4図)、酸化型アスコルビン酸を含む総アスコルビン酸含量が増加した(第1, 2図)。

また、アスコルビン酸の酸化還元に関する系において、アスコルビン酸がアスコルビン酸ペルオキシダーゼによりモノデヒドロアスコルビン酸に酸化され、酸化されたモノデヒドロアスコルビン酸2分子は不均化反応によりアスコルビン酸へとさらに酸化されて酸化型アスコルビン酸へと変化する。一方、酸化型アスコルビン酸は酸化型アスコルビン酸還元酵素により、モノデヒドロアスコルビン酸はモノデヒドロアスコルビン酸還元酵素により、それぞれアスコルビン酸へと再び還元される(重岡, 1992)。

ピーマン果実に切断傷害によるストレスを与えた場合、緑熟果で酸化型アスコルビン酸還元酵素の活性が直ちに増加し(第6図)、また、黄色果でも酸化型アスコルビン酸還元酵素およびモノデヒドロアスコルビン酸還元酵素の活性が直ちに増加した(第6, 7図)。さらに、酸化型アスコルビン酸還元酵素と共役的に反応し、還元型グルタチオンを生成するグルタチオン還元酵素の活性も両熟度において増加した(第9図)。

これらの結果は、ピーマン果実が切断傷害によるストレスを受けると、熟度にかかわらず、アスコルビン酸の生合成系が誘導され、一方アスコルビン酸の還元反応が活性化されたことを示し、ピーマン果実において生体内のアスコルビン酸プールを維持する機構が働くものと考えられる(第10図)。

高等植物は、乾燥(Smirnoff・Colombe, 1988)、低温障害(Kurodaら, 1991)、病害虫の侵害(Grantzら, 1995)および切断傷害(Thompsonら, 1987)などの種々の環境ストレスを受けると、植物体の過酸化水素含量が増加する。過酸化水素は生体にとって有毒な活性酸素の一つであり、植物体は過酸化水素の消去機構を有し、生体を有毒な過酸化水素から守っている(重岡, 1992)。

ピーマン果実に切断傷害によるストレスを与えて20 °Cで保存した場合、緑熟果、黄色果とも過酸化水素含量は直ちに無切断果実の含有レベルより低いレベルとなった(第3図)。これは、ピーマン果実において切断傷害ストレスによって生成された有毒な過酸化水素を積極的に消去し、生体を維持させようとする過酸化水素消去機構が活発に作用した結果、過酸化水素含有量が減少したと考えられる。

高等植物における過酸化水素を消去する酵素作用に

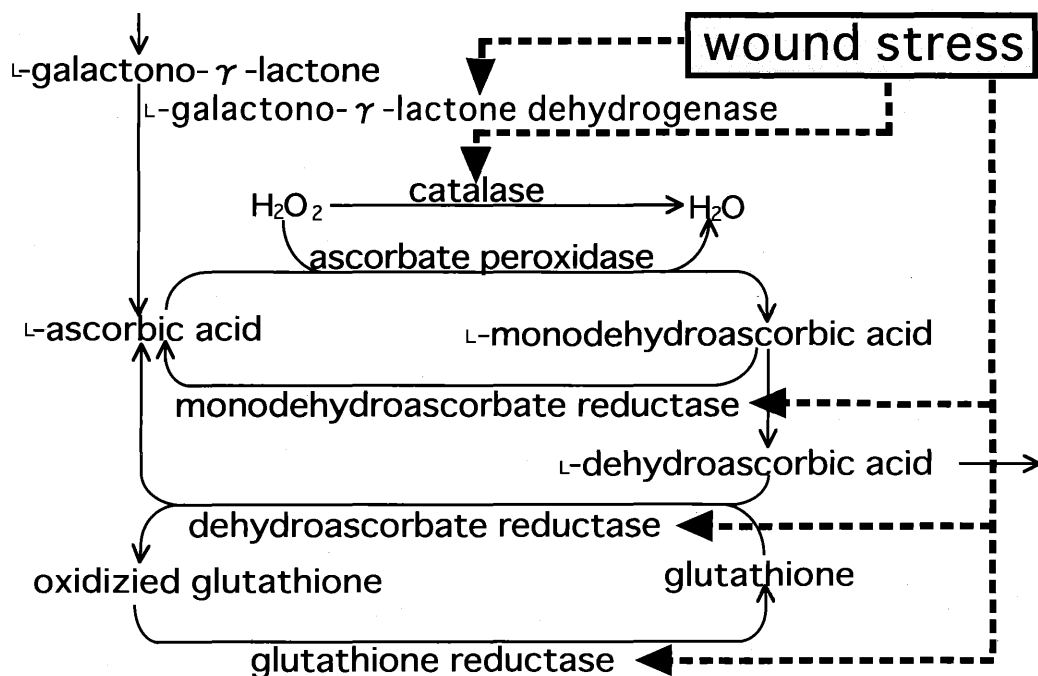


Fig. 10. Pathways of ascorbic acid metabolism and enzyme pathway for scavenging hydrogen peroxide in sweet pepper fruit 'Golden Bell' as proposed to be regulated by wound stress.

←--- activation

はカタラーゼによる作用とアスコルビン酸ペルオキシダーゼによる作用が知られている (重岡, 1992). 切断傷害によるストレスを受けたサツマイモの塊根ではマイクロボディが発達し, カタラーゼの活性が増加したという報告がなされている (Esaka ら, 1983). 同様に, ピーマン果実でも切断傷害によるストレスを与えて 20°C に保存すると直ちにカタラーゼの活性が増加した (第 8 図). その増加は緑熟果より黄色果で著しかった. 一方, アスコルビン酸ペルオキシダーゼの活性は両熟度とも切断傷害によるストレスによって, その活性が変化することはなかったが, 高い活性が維持された (第 5 図).

ところで, カタラーゼは過酸化水素に対する K_m が非常に高く, 1 M 以上である (Yamaguchi ら, 1995) のに対し, アスコルビン酸ペルオキシダーゼのそれは低く約 30~80 μ M であり (Yamaguchi ら, 1995), アスコルビン酸ペルオキシダーゼは過酸化水素に対し非常に高い親和性を有している. さらに, カタラーゼは細胞内においてマイクロボディにだけに局在しているのに対し (重岡, 1992), アスコルビン酸ペルオキシダーゼはハウレンソウの葉緑体にも存在することが

認められており (浅田, 1993), また, さらに細胞質型 (重岡, 1992), ミトコンドリア型 (重岡, 1992) およびマイクロボディ型 (Yamaguchi ら, 1995) のアイソザイムが存在することも確認されている. このことは, 植物体においてこの酵素が細胞内で広く分布していることを意味する. これらのことより, 'ゴールデンベル' ピーマン果実では熟度に関係なく, 切断傷害によるストレスで生成される過酸化水素の除去にはカタラーゼとともにアスコルビン酸に対し特異性が高いアスコルビン酸ペルオキシダーゼが大きくかかわっているものと考えられる.

以上のことから, ピーマン果実では切断傷害によるストレスを受けると, そのストレスにより生成される過酸化水素はカタラーゼとともにアスコルビン酸ペルオキシダーゼが除去しており, その際に用いられるアスコルビン酸は, アスコルビン酸生合成系の誘導あるいはアスコルビン酸還元反応の活性化により維持され, アスコルビン酸代謝の活性化が切断傷害によるストレスから生体を保護しているものと考えられる (第 10 図).

摘 要

切断傷害によるストレスが青果物のアスコルビン酸代謝に及ぼす影響について'ゴールドンベル'ピーマン果実を用いて 20℃ 保存中の変化について検討した。

1. アスコルビン酸含量は 20℃ に保存した緑熟果および黄色果の両熟度とも切断傷害による影響はなかったが、酸化型アスコルビン酸含量は切断傷害により増加し、保存中も高いレベルを維持した。
 2. 過酸化水素含量は両熟度とも切断傷害により保存 24 時間まで幾分低いレベルを示し、その後無切断果実のレベルまで回復した。
 3. アスコルビン酸ペルオキシダーゼ活性は両熟度とも切断傷害による影響はなかったが、モノデハイドロアスコルビン酸還元酵素活性は黄色果では切断傷害により一時増加し、緑熟果では影響されなかった。しかし、酸化型アスコルビン酸還元酵素活性は両熟度とも切断傷害により一時増加した。
 4. カタラーゼ活性、グルタチオン還元酵素活性および L-ガラクトノ- γ -ラクトン脱水素酵素活性は両熟度とも切断傷害により一時増加した。
- 以上の結果から、切断傷害のストレスによってアスコルビン酸合成系の誘導あるいはアスコルビン酸還元反応の活性化がなされ、アスコルビン酸が高いレベルで維持されることが示唆される。

引用文献

- 浅田浩二. 1993. 葉緑体での活性酸素の生成と消去の分子機構. 農化. 67 : 1255-1263.
- Beer, R. F. and I. W. Sizer. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *J. Biol. Chem.* 195 : 133-140.
- Brennan, T. and C. Frenkel. 1977. Involvement of hydrogen peroxide in the regulation of senescence in pear. *Plant Physiol.* 59 : 411-416.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem.* 72 : 248-254.
- 茶珍和雄・緒方邦安. 1972. 呼吸生理. p. 34-56. 緒方邦安編. 青果保蔵汎論. 建帛社. 東京.
- Esaka, M., M. Maeshima and T. Asahi. 1983. Mechanism of the increase in catalase activity through microbody development in wounded sweet potato root tissue. *Plant Cell Physiol.* 24 : 615-623.
- Foyer, C. H. and B. Halliwell. 1976. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. *Planta* 133 : 21-25.
- Grantz, A. A., D. A. Brummell and A. B. Bennett. 1995. Ascorbate free radical reductase mRNA levels are induced by wounding. *Plant Physiol.* 108 : 411-418.
- Hung, Y. C. 1993. Latent damage: a systems perspective. p. 211-224. In: R. L. Shewfelt and S. E. Prussia (eds.). *Postharvest handling*. Academic Press, New York.
- 伊藤三郎. 1972. 青果物のビタミン. p. 14-16. 緒方邦安編. 青果保蔵汎論. 建帛社. 東京.
- 河野澄夫・椎名武夫. 1989. カット野菜の加工・流通過程における品質保持技術. *日食工誌.* 364 : 159-167.
- Kays, S. T. 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. p. 115. An AVI Book. New York.
- Kuroda, H., S. Sagisaka, M. Asada and K. Chiba. 1991. Peroxide-scavenging systems during cold acclimation of apple callus in culture. *Plant Cell Physiol.* 32 : 635-641.
- Lougheed, E. C., D. P. Murr and P. M. A. Toivonen. 1987. Ethylene and nonethylene volatiles. p. 255-276. In: J. Weichmann (ed). *Postharvest physiology of vegetables*, Marcel Dekker, New York.
- Mapson, L. W. and E. Breslow. 1958. Biological synthesis of ascorbic acid: L-galactono- γ -lactone dehydrogenase. *Biochem. J.* 68 : 395-406.
- Marre, E. and O. Arrigoni. 1958. Ascorbic acid and photosynthesis monodehydroascorbic acid reductase of chloroplasts. *Biochem. Biophys. Acta.* 30 : 453-457.
- Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22 : 867-880.
- 大羽和子. 1990. 野菜の切断・放置, 生食調理に伴うビタミンC量およびアスコルビン酸オキシダーゼ活性の変化. *家政誌.* 41 : 715-721.
- Ôba, K., M. Fukui, Y. Imai, S. Iriyama and K. Nogami. 1994. L-Galactono- γ -lactone dehydrogenase: Partial characterization, induction of activity and role in the synthesis of ascorbic acid in wounded white potato tuber tissue. *Plant Cell Physiol.* 35 : 473-478.
- Ôba, K., S. Ishikawa, M. Nishikawa, H. Mizuno and T. Yamamoto. 1995. Purification and properties of L-galactono- γ -lactone dehydrogenase, a key enzyme for ascorbic acid biosynthesis, from sweet potato roots. *J. Biochem.* 117 : 120-124.
- Racker, E. 1955. Glutathione reductase. p. 722-725. In: S. Colowick and N. O. Kaplan (eds.). *Methods in enzymology II*, Academic press, New York.
- 重岡 成. 1992. 活性酸素代謝の分子機作の解明. 農化. 66 : 1739-1747.
- 周 燕飛・阿部一博・岩田 隆. 1992. カットピーマンの品質変化に及ぼす切断形状の影響. *日食工誌.* 39 : 161-166.

- Smirnoff, N. and S. V. Colombe. 1988. Drought influences the activity of enzymes of the chloroplast hydrogen peroxide scavenging system. *J. Exp. Bot.* 39 : 1097-1108.
- 樽谷隆之. 1972. 組織構造と生理. p. 62-68. 緒方邦安編. 青果保蔵汎論. 建帛社. 東京.
- Thompson, J. E., R. L. Legge and R. F. Barber. 1987. The role of free radicals in senescence and wounding. *New Phytol.* 105 : 317-344.
- Yamaguchi, K., H. Mori and M. Nishimura. 1995. A novel isoenzyme of ascorbic peroxidase localized on glyoxysomal and leaf peroxisomal membranes in pumpkin. *Plant Cell Physiol.* 36. 1157-1162.
- Zapata, S. and J. P. Dufour. 1992. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic acid simultaneous determinations by reverse phase ion interacton HPLC. *J. Food Sci.* 57 : 506-511.