

특집

원예산물과 에틸렌

홍 윤 표

원예연구소 저장이용과

1. 에틸렌

에틸렌은 2개의 탄소 원자가 불포화결합되어 있는 매우 단순한 구조의 탄화수소로 이루어져 있으며 기체 성분에 의한 식물 생장의 조절 현상에 관한 최초의 학술적 보고는 1884년 독일의 Girardin에 의해서이다. 그는 시내의 가로등이 가스등이었을 당시 가스관 주위에 심겨진 가로수에서 조기 낙엽 현상을 관찰하고 이는 가스관에서 누출된 에틸렌에 의한 영향으로 보고하였고, 그후 1901년 Neljubow는 석탄가스에 포함되어 있는 여러 기체 성분을 체계적으로 조사하여 완두콩의 유식물에 3중 반응(triple response), 즉 신장억제, 비대생장, 수평생장을 유발하는 요인이 에틸렌임을 밝혀내었다. 1932년 Kidd와 West는 익은 사과 과실에서 일발생된 기체가 인접해 있는 미성숙 사과 과실의 성숙을 촉진시킨다고 보고하였고, 1934년 Gane은 성숙 사과 과실에서 에틸렌이 발생됨을 화학적인 방법을 통하여 증명함으로써 에틸렌이 식물에 의해서도 합성된다는 최초의 증거를 제시하였다.

식물에서 에틸렌에 의해 유발되는 대부분의 생리적 작용은 이미 1930년대 중반에 알려졌으나 에틸렌 생합성 기작에 대한 연구는 1960년대에 들어서 시

작되었으며 1979년에 에틸렌의 전구물질로서 ACC(1-aminocyclopropane acid)가 발견됨에 따라 식물체에서 에틸렌 생합성과정의 구체적인 경로가 밝혀지게 되었다.

2. 에틸렌의 생합성

고등식물에서 식물 호르몬으로서의 에틸렌은 종자의 발아, 과실의 성숙, 이층의 형성, 노화 등의 특정 발육단계나 옥옥신의 처리, 상처, 스트레스 등의 특정조건에서 다량으로 생성되어지며 에틸렌의 생성은 그 원인이 어디에 있든 모두 동일한 생합성 경로를 거치며, 그 과정은 다음과 같이 요약된다(그림 1). 즉 Methione → SAM → ACC → Ethylene의 과정을 거친다.

에틸렌은 분자의 화학적 구조가 단순한 관계로 매우 다양한 종류의 유기화합물의 산화(예: 지방산, 에탄올) 또는 연소(예: 자동차 배기가스, 담배 연기)과정에서 쉽게 생성되어질수 있다. 따라서 식물에 존재하는 여러가지 화합물이 에틸렌의 생합성 재료 물질로 가정되어 오기도 하였으나, 식물에서는 Methione만이 유일하게 에틸렌 생합성의 재료로서 이용되며, 에탄올로부터 에틸렌을 생성하는

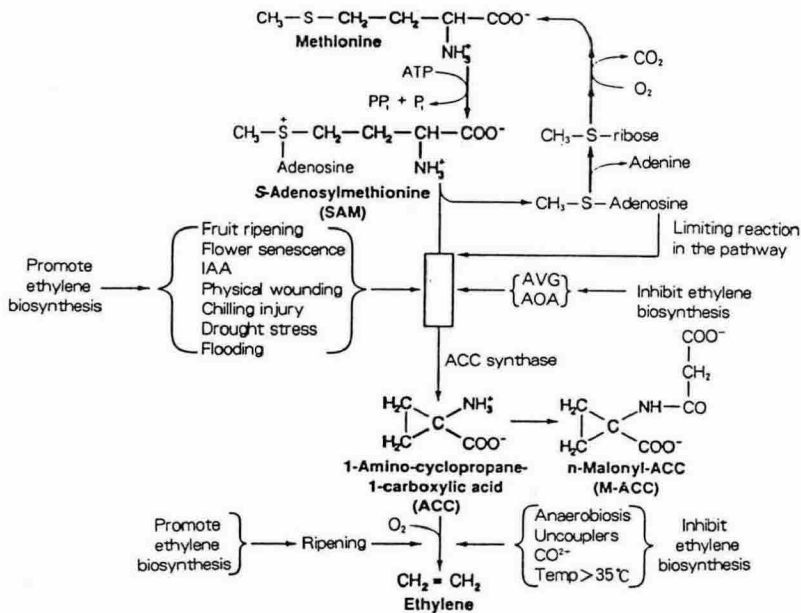


그림 1. 식물조직의 에틸렌 생합성 경로

곰팡이와는 생합성 경로에 차이가 있다. 1964년에 Lieberman과 Mapson은 생체내의 조건을 시험관에 인공적으로 갖추고 이에 methionine을 가하면 에틸렌이 발생됨을 관찰한 후 사과 과실 조직에 방사성 동위원소 ¹⁴C로 표시된 methionine을 공급한 결과 methionine의 3번과 4번 탄소에서 에틸렌이 생성됨을 발견함으로써 식물에서 에틸렌의 재료 물질이 methionine임을 밝혀내었다. 에틸렌 생합성 과정에서 methionine의 1번과 2번 탄소는 각각 CO₂와 HCN으로 전환되어 소모되는 반면, methyl thio기(CH₃-S-group)는 재생 회로에 재이용된다. 식물조직중의 methionine의 함량은 에틸렌 생성이 왕성한 조직에서도 비교적 낮는데, 이러한 methyl thio기의 재이용에 의한 methionine 함량이 매우 낮을 경우에도 에틸렌이 지속적으로 왕성하게 생성될 수 있는 원인이 된다. 에틸렌의 생합성 경로 첫 단계에서 methionine는 methionine adenosyl transferase의 작용으로 ATP에 의해 활성화되면서 SAM(S-adenosylmethionine)으로 전환된다. 이때 생성된 SAM은 에틸렌 생성의 중

간물질(intermediate)로서 뿐만 아니라, 생체내 methyl화 반응(methylation)에서 methyl 공여체(methyl donor)로도 이용되는 한편, polyamine 합성의 중간물로 쓰여지기도 한다. 그러나 인위적으로 에틸렌 생성을 증가 또는 억제시켜도 식물조직내의 SAM함량이 변화하지 않는다는 사실에 비추어 볼때, methionine으로부터 SAM이 생성되는 단계는 조직의 에틸렌 생성의 조절기작과 직접적으로 연계되어 있지 않은 것으로 생각된다. SAM은 ACC synthase의 작용에 의해 ACC(1-aminocyclopropane-carboxylic acid)와 MTA(5-methyl thioadenosine)로 분해되며, MTA(methyl thioribose)는 다시 MTA nucleosidase의 작용에 의해 즉시 MTR과 adenine으로 가수분해되어진다. 한편, adenine은 ADP 및 ATP의 합성에 이용되어 MTR은 MTR kinase의 작용으로 ATP의 존재아래 MTR-1-P(5-methyl thioribose-1-phosphate)로 활성화 된 후 KMB(2-keto-4-methyl thiobutyrate)를 거쳐 methionine으로 전환한다.

아미노산의 일종인 ACC는 SAM으로부터 ACC synthase의 촉매 작용으로 형성되는 에틸렌의 전구물질(precursor)로서 이미 1957년에 사과 과실에서의 존재가 알려져 있었으나 이러한 ACC가 에틸렌생합성 과정에서 에틸렌의 전구물질로서 중요한 역할을 한다는 사실은 1979년에 미국(Adams and Yang 1979)과 독일(Lurssen et al. 1979)에서 독자적으로 알려지게 되었다. 에틸렌 전구물질로서의 ACC의 발견은 에틸렌 재료 물질로서의 에틸렌 생합성경로의 규명에 기여한 바가 크다. 식물 조직에서 SAM이 ACC로 전환되는 과정은 AVG(aminethoxyvinyl glycine) 또는 AOA(aminooxyacetic acid)의 처리에 의해 억제된다. AVG는 Rhizobium 박테리아에 의해 생성되는 물질(phytoalexin)로서 AOA와 마찬가지로 pyridoxal enzyme의 활성을 특이적으로 억제하는 것으로 알려져 있다. 따라서 SAM으로부터 ACC를 생성하는 효소인 ACC synthase는 일종의 pyridoxal 효소임을 알 수 있으며 이 효소는 보조소로서 pyridoxal phosphate를 필요로 한다.

식물조직의 에틸렌 생성량의 변화는 조직내 ACC의 함량의 변화와 밀접한 상관이 있으며 에틸렌 생성량이 낮은 영양조직에 ACC를 처리하면 에틸렌 생성의 증가가 관찰된다. 따라서 이는 조직의 에틸렌 생성능력이 ACC의 합성능력과 밀접하게 연계되어 있음을 의미하며 조직의 에틸렌 생성 속도는 SAM이 ACC로 전환되는 반응의 속도에 의해 결정된다. SAM으로부터 ACC의 형성을 촉매하는 ACC synthase는 조직의 에틸렌 생성 속도를 제한하는 효소(rate-limiting enzyme)로서 식물은 ACC synthase의 새로운 합성 또는 활성화를 통하여 에틸렌 생성을 조절한다. 따라서 ACC synthase에 대한 이해는 식물의 에틸렌 생성기작을 연구하는데 있어서 중요한 의미를 지니고 있다.

분자량이 약 55,000인 ACC synthase는 조직내에 미량으로 존재하며 (전체 단백질 함량의 0.00001%), 토마토 과실에서는 세포질에 분포되어 있는 수용성 효소로 간주되지만(Boller et al.

1979), 사과 과실의 경우에는 세포막(cell membrane)에 결합되어 있는 효소를 분리하기 위하여 흔히 사용되는 Triton X-100 등의 지질 용해제(detergent)의 처리에 의해서만 추출되어진다는 보고(Bufler and Bangerth 1983, Bufler 1984)가 있어 ACC synthase는 세포막에 존재할 것으로 추측되기도 한다.

대부분의 식물조직은 ACC를 에틸렌으로 전환하는 능력이 있으며, 이 과정에서 관여하는 효소를 EFE(ethylene forming enzyme)이라 한다. ACC의 에틸렌 전환은 산소를 필요로 하는 일종의 산화 과정으로서의 이 반응은 식물의 종류에 따라 차이가 있으나 대략 1%의 산소 농도에서 50% 포화(half maximal saturation)된다. ACC synthase의 경우는 조직으로부터의 추출 및 활성의 in vitro 측정이 가능한 반면 EFE는 현재까지 조직으로부터의 추출이 불가능하기 때문에 EFE의 활성 측정은 조직에 직접 ACC를 공급(feeding)하여 에틸렌 생성능력을 측정하는 방법(in vivo assay)으로 행하여지고 있다. 이는 EFE가 세포막에 구조적으로 결합되어 있어서 추출과정에서 세포막의 파괴와 함께 EFE의 활성이 소실되기 때문으로 Tween 20이나 Triton X-100 등과 같이 세포막의 지질을 용해시키는 물질의 처리에 의해서도 EFE는 활성을 잃는다. 식물세포에서 EFE는 대부분 액포막에 존재하나 원형질막에도 일부 존재하는 것으로 알려져 있으며 EFE에 의한 ACC로부터 에틸렌의 생성 기작은 구체적으로 밝혀져 있지 않으나 다음의 과정을 경유 할 것으로 추측되어진다.(Yang and Hoffman 1984).

즉, ACC는 효소(ACC Hydroxylase)의 작용으로 일단 N-hydroxyl ACC로 산화된 후 이로부터 에틸렌과 cyanoformic acid가 형성되고 cyanoformic acid는 즉시 HCN과 CO₂로 분해되는 과정을 거치는 것으로 생각된다. Cyanide(CN⁻)는 호흡과정에서 전자 전달계에 포함되어 있는 Cytochrome oxidase의 구리 이온과 강하게 결합하여 산소 호흡을 억제하는 작용을 하지만 에틸렌 생성

표 1. 저온저장중 사과에 에틸렌 발생량('93~'94 과수연구소) (단위:ul/kg/h)

구 분	쓰가루	몰리스델리셔스	홍 로	홍 월	추 광	조나골드	후 지
수확당시	37.4	45.3	27.6	10.2	8.2	3.2	0.6
저장 30일후	41.9	43.4	38.3	24.6	17.2	8.2	1.5

의 부산물로 형성되는 CN^- 는 곧 Cyanoalanine으로 전환되어 asparagin의 합성에 이용되어 곧 제거되므로 실제로는 유기호흡 억제에 관여하지 않는다. 한편 EFE는 막구조의 변경에 매우 민감하며, 과실에서는 일반적으로 성숙후기(postclimacteric)에는 막구조의 변경 또는 파괴가 일어나며 과실의 성숙후기에 나타나는 ACC함량의 증가는 막구조의 파괴로 인해 EFE활성이 감소되어 ACC의 에틸렌으로의 전환이 원활하지 못함으로써 ACC가 축적되어 나타나는 현상으로 해석된다. 비록 대부분의 영양 조직에서 EFE는 구성 성분으로서 세포막에 존재하는 것으로 알려져 있으나 미성숙 과실에서의 EFE화설은 매우 낮으며 외생 에틸렌의 처리에 의해 또는 성숙중에 내생 에틸렌의 증가와 더불어 급속히 증가하여 과실의 EFF활성은 조직의 에틸렌 농도와 밀접한 관련이 있는데 EFE활성의 증가 또는 ACC synthase의 경우와 마찬가지로 효소의 새로운 합성에 의존하는 것으로 알려져 있다.

에틸렌을 제외한 다른 모든 식물 호르몬은 당, 아미노산 또는 그밖의 저분자 화합물과 결합하여 conjugate화합물을 형성하나, 에틸렌의 경우는 ACC가 이러한 conjugate형성에 참여한다. 즉 ACC는 ACC malonyl transferase의 작용으로 malonyl CoA와의 결합에 의해 MACC(1-(malonylamino)cyclopropane - 1 - carboxylic acid)를 형성하며, ACC malonyl transferase는 일반적으로 에틸렌의 작용에 의해 활성화되는 특성이 있다.

에틸렌 전구 물질로서의 ACC가 발견된 이후 독일의 Amrhein등(1981)은 식물에서의 ACC대사 과정을 조사하던중에 ACC의 대사물질로서

MACC를 발견하였다. 한편 이와 동일한 시기에 미국에서 Apelbaum과 Yang은 스트레스 처리에 의해 식물 조직내 ACC의 함량이 초기에는 증가하나 조직의 실제 에틸렌 생성량에 비해 조직 내의 ACC함량이 급격히 감소하는 사실을 발견하고 ACC는 에틸렌으로 뿐만 아니라 또다른 대사 물질로 전환되어질 것임을 가정한 바 있으며 이 대사 물질은 그후 MACC임이 밝혀졌다. 다른 식물 호르몬의 경우 conjugate화합물은 일종의 호르몬 저장 수단으로 이용되기도 하여서 분해되면 호르몬으로 재차 활성화되기도 하나, MACC의 경우는 일단 형성되면 불활성인 상태로 세포의 액포내에 축적된다. 비록 MACC의 가수분해 현상이 보고된 바도 있으나, 실제 MACC가 ACC의 저장 수단으로 이용되어지는 것으로 생각되지는 않으며 MACC의 형성은 단지 조직 내 과잉의 ACC를 불활성화시키는 수단으로 이용되는 것으로 생각된다. 그러나 식물은 ACC synthase의 활성을 매우 미묘하게 조절하는 기능을 갖추고 있음에도 불구하고 왜 과잉의 ACC를 생성하는지는 분명치 않다.

한편, 식물에 존재하는 아미노산 L-enantiomer이며 D-아미노산은 대개 식물에 유해하므로 malonylation에 의한 D-아미노산의 제거 반응은 식물에서 보편적으로 나타나는 현상인데, ACC의 malonylation에 의한 MACC의 형성 또한 식물의 D-아미노산 제거 반응의 일환으로 생각된다. 즉, 분자내에 부제 탄소를 갖고 있지 않은 아미노산으로서의 ACC는 식물의 D-아미노산 제거 반응에서 일종의 D-enantiomer로 인식되는 것으로 보이며, 식물 조직에 D-아미노산을 처리하면 MACC형성의 감소로 인해 에틸렌 생성이 증가한다(Satoh and Easshi 1981).

3. 에틸렌의 영향

에틸렌은 식물의 노화를 촉진시키는 호르몬으로서 chlorophyllase의 활성화에 따른 엽록소의 파괴와 polygalacturonase의 활성화에 따른 조직의 연화 또는 탈리등이 작물의 저장중에 에틸렌의 의해 유발될 수 있는 대표적인 현상이다. 또한 작물의 저장중에 발생될 수 있는 생리적 장애, 즉 CO₂장애 또는 저온 장애 등의 피해 증상은 에틸렌에 의해 더욱 심화되기도 한다. 예를 들어 양배추를 5ppm의 에틸렌 농도에서 1개월 또는 1ppm에서 5개월 저장하면 엽록소의 분해에 의한 황백화현상이 관찰되며, 5ppm의 에틸렌의 수일간 노출된 오이, 수박등에서는 과육 또는 과피의 연화 현상이 나타난다. 또한 식물 조직은 0.01ppm정도의 낮은 에틸렌 농도에도 반응하며, 특히 과실류의 경우 에틸렌 발생량이 많기 때문에 밀폐된 공간에 장기간 저장할 경우 과실로부터 발생된 에틸렌이 축적됨으로써 생리적으로 여러가지 영향 또는 피해를 입을 수 있다. 예를 들어 0.01ul/kg/hr의 에틸렌 생성 속도를 가지고 있는 작물을 작물 부피의 3배가 되는 공간에 밀폐할 경우 24시간 이내에 공기 중의 에틸렌 농도는 0.12ppm에 이르게 되는데, 실제로 과실의 저온 또는 CA 저장의 경우 저장고의 장기간 밀폐 상태가 유지되기 때문에 저장고 내의 에틸렌 농도는 수백 내지 수천 ppm의 매우 높은 수준에까지 이를 수 있다. 또한 대부분의 과실은 상처 또는 병해, 충해를 입거나 부적절한 환경적 조건으로 인해스트레스를 받게 될 경우 스트레스 에틸렌의 발생이 증가하며, 이러한 과실은 주위의 건전한 과실에 불리한 영향을 미칠 수 있다.

과실이 에틸렌에 반응하는 정도는 과실의 종류 및 주변 조건에 따라 서로 다르게 나타나고 있는데 사과와 에틸렌 생성량은 매우 높으나 저온조건에서는 에틸렌의 영향을 받지 않는 반면 배는 에틸렌 생성량은 비교적 낮지만 에틸렌에 쉽게 영향을 받아 과육의 연화가 일어나며 최근에 '신고'품종에서 과피가 쉽게 벗겨지는 현상이 일어나는데 이러한

현상이 에틸렌과 밀접한 관련이 있을 것으로 추정하고 있고 조생종 사과인 '쓰가루'에 과피 얼룩현상이 나타나는 것도 에틸렌과 관련이 있을 것으로 추정하고 있다.

또한 3-7%의 CO₂에서 저장된 참다래는 CO₂장애의 대표적 현상으로서 내부 조직의 변색 및 붕괴 현상을 보이는데, 이러한 증상은 0.5ppm의 에틸렌의 의해 더욱 심화 된다(Arpaia al. 1985)

4. 에틸렌의 이용

에틸렌은 식물의 노화를 촉진하여 일반적으로 작물의 저장성을 약화시키나, 과실에 대한 에틸렌의 성숙 촉진 작용은 또한 작물에 유리하게 이용되기

표 2. 에틸렌의 농업적 이용(Konze and lussen 1982)

작 용	이용 가능 분야
이층 형성 촉진	과실의 기계적 수확, 적엽 및 적과제
성숙 및 노화촉진	과실 성숙 및 착색 촉진제, 담배잎 노화 촉진제
개화 유도	파인애플, 아나나스등의 개화 유도
암꽃 발생 유도	오이, 호박등의 암꽃 발생 유도
발아 촉진	보조 제초제
신장 성장 억제	곡류의 왜화제
고무유액 생성촉진	고무나무의 고무 수확 증진제

도 한다. 예를 들어 에틸렌은 엽록소의 분해 촉진과 아울러 antocyanins 또는 carotenoids색소의 합성을 유도하므로 조생종 감귤류, 고추, 토마토 등 과실의 착색 증진이나 delicious등의 조생종 사과의 성숙 촉진을 위해 실용적으로 에틸렌 또는 ethephon의 처리가 이루어지기도 한다.

또한 붉은감을 탈삼시키는 과정에서 현재 보건면에서 문제시 되는 '카바이트'처리로서 탈삼된 연시를 유통시키고 있는데 이를 ethephon + KOH처리로 탈삼된 연시를 만들수 있는 연구가 진행되고 있다. Ethephon은 과실의 숙기를 촉진시키는 약제로 pH5이상에서 에틸렌을 발생시켜 붉은감을 효과적

으로 탈삼시킨다.

5. 에틸렌의 작용의 억제

현재 농업적으로 볼 때 작물에 대한 에틸렌의 효과적인 이용이 많이 이루어지고 있지만 과실류의 수확후 관리기술면에서는 에틸렌에 대한 이용이라기 보다는 생성 및 작용을 억제하여 과실의 효과적인 저장을 유도하고 있다.

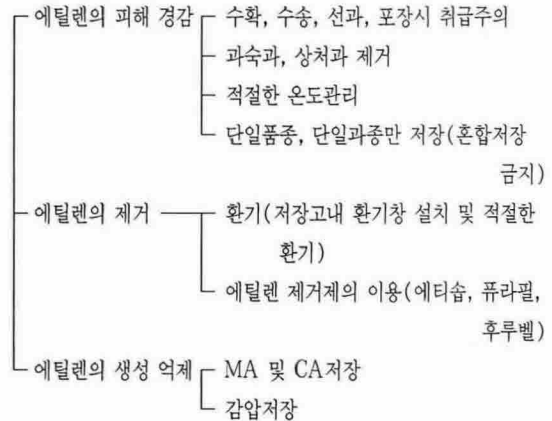
과실의 에틸렌 생성량은 과실 수확후 호흡과 밀접한 관련이 있고 품종에 따라서도 다양하게 나타나고 있다. 과실은 성숙하면서 호흡의 변화양상이 두가지로 나누어지는데 성숙전 과실의 호흡량이 최소점에 이르렀다가 성숙후 호흡의 증가가 갑자기 이루어지는 급등형(Climacteric type)과실과 성숙전, 후 호흡량의 변화가 뚜렷하지 않는 비급등형(None-Climacteric type)과실로 나뉜다. 급등형 과실에는 사과, 배, 복숭아, 참다래, 감, 토마토, 아보카도등이 있으며 비급등형 과실에는 포도, 감귤, 오렌지, 딸기 등이 속한다. 이러한 과실의 성숙과정에서 호흡량의 변화는 에틸렌의 생성량 변화와 일치한다. 따라서 호흡량이 낮은 비급등형 과실은 에틸렌 생성량이 낮으며, 호흡의 급격한 증가를 가져오는 급등형 과실의 에틸렌 생성은 호흡의 증가와 동시 또는 그 이후에 나타난다. 또한 과종간에도 에틸렌 생성량은 차이가 있는데 배보다는 사과에서 에틸렌 생성량이 현저히 많으며 같은 과종에서도 숙기의 조만에 따라 크게 차이가 나서 조생종 품종 보다는 만생종 품종이 에틸렌 생성이 낮은 경향이다.

이러한 에틸렌 생성량의 차이는 과실의 저장성과 밀접한 관련이 있어서 만생종 품종이 저장성이 좋은 것이 에틸렌 생성량이 상대적으로 낮기 때문이라고 볼 수 있다.

한편 에틸렌은 생성이 개시되는 시점을 지나면 사실상 인위적으로 생성 및 작용을 억제한다는 것이 불가능하므로 적절한 수확시기의 선택과 아울러 효과적인 저장수단을 통하여 에틸렌의 생성 및 작

용을 억제하는 것이 효과적이다. 화훼작물의 경우 AOA나 STS등의 약제를 직접 처리하여 에틸렌 생성 및 작용을 억제하여 절화 수명을 연장시키는 방법으로 많이 실용화 되어 있다. 그러나 식용을 목적으로 하는 과실류는 직접약제 처리가 불가능하므로 에틸렌 생성을 최대한 제한하거나 생성된 에틸렌의 적극적인 제거가 이루어져야 한다.

표 3. 에틸렌에 대한 대책



대부분의 과실은 상처 또는 병해, 충해를 입거나 부적절한 환경적 조건으로 인해 스트레스를 받게 될 경우 스트레스 에틸렌의 발생이 증가하며 이러한 과실은 주위의 건전한 과실에 불리한 영양을 미칠 수 있으므로 저장시 상처과, 병충해과, 과숙과는 선별제거해야 한다. 또한 사과와 배를 혼합저장하게 되면 에틸렌 생성이 상대적으로 적은 배는 에틸렌에 의해 피해를 받기 때문에 혼합저장을 피하는 것이 좋고 원예산물의 생리적인면을 고려할 때, 장기간 저장을 위해서는 단일품종, 단일과종만 저장하는 것이 효과적이다.

과실저장시 저장고내 환기는 필수요인 중의 하나이다. 밀폐된 저장고내에서는 유해한 가스가 축적되어 과실에 불리하게 작용하는 요인이 되는데 특히, 사과의 경우 밀병(꿀들이, Water core)이 많이 있는 과실을 장기간 밀폐된 저장고에 저장할 경우 유해한 가스와 밀병이 복합적으로 작용해서 과육갈변, 과육의 섬유질화, 과육붕괴 현상이 일어난

다. 또한 배의 경우 밀폐된 저장고에서는 에틸렌의 축적에 따라 과실의 연화, 과피의 벗김현상이 나타날 수 있다. 따라서 저장고는 일정한 시간을 두고 환기를 시켜주는 것이 효과적이다.

과중에 따라 에틸렌에 반응하는 양상은 매우 다르는데 특히, 참다래는 에틸렌에 매우 민감하여 저장고내 0.5ppm정도만 축적되어도 참다래에 연화에 촉진적인 역할을 하는 것으로 알려져 있는데, 이를 방지하기 위한 적극적인 에틸렌 제거 방법으로 상업적으로 판매되는 에틸렌 흡착제인 '퓨라필'을 사용할 수 있다. 이는 천연제올라이트나 알루미늄에 과망간산칼륨을 도포한 것으로 재생하지 못하는 것이 단점이다.

일반적으로 CO₂는 에틸렌 작용의 억제제로 알려져 있으며 O₂는 에틸렌 작용의 보조요인으로 알려져 있다. 따라서 CA(Controlled Atmosphere)조건에서는 높은 CO₂ 농도와 낮은 O₂농도로 인하여 에틸렌 생성억제 및 작용억제에 효과적이므로 CA저장이 과실의 선도유지에 보다 효과적인 저장방법임을 알 수 있다. 그러나 이러한 CA저장도 식물 조직으로부터 나오는 에틸렌을 근원적으로 차단시키지는 못하는데, 식물조직에서 발생된 에틸렌의 확산은 주위의 공기 밀도를 감소시킴으로서 증가되는데 낮은 산소분압을 갖는 감압저장(hypobaric storage)에서는 에틸렌의 생성이 억제될 뿐만 아니라 확산에 의한 제거가 촉진되므로 에틸렌의 영향을 배제하는 매우 효과적인 저장방법이다. 또 MA 저장방법도 에틸렌 생성억제 및 수확 후 신선도 유지에 선진국에서 가장 널리 쓰이고 있는 방법이다.

참 고 문 헌

1. Adams, D. O. and S. F. Yang. 1979. Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 76, 170-174.
2. Arpaia, M. L., F. G. Mitchell, A. A. Kader,

- and G. Mayer. 1985. Effect of 2% O₂ and varying cocentrations of CO₂ with or without C₂H₄ on the storage performance of kiwifruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110, 200-203.
3. Boller, T., R. C. Herner, and H. Kende. 1979. Assay for and enzymatic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-carboxylic acid. Planta 145, 193-303.
4. Bufler, G. and F. Bangerth. 1983. Effects of propylene and oxygen on the ethylene producing system of apples. Physiol. Plant. 48, 485-492.
5. Bufler, G. 1984. Ethylene-enhanced 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase activity in ripening apples. Plant Physiol. 75, 192-195.
6. Lurssen, K., K. Neumann, and R. Schroder. 1979. 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid an intermediate of the ethylene biosynthesis in heigher plants. Z. Pflanzphysiol. 92, 285-294.
7. Satoh, S. and Y. Esashi. 1981. D-amino-acid stimulated ethylene production: Molecular requirement for the stimulation and a possible receptor site. Phytochem. 20, 947-949.
8. Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. Cha. 19, 472-487.
9. Yang, S. F. 1980. Regulation of ethylene biosynthesis. HortSci. 15, 238-243.
10. Yang, S. F. and N. E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in Heigher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 35, 155-189.
11. Yang, S. F. and Y. Liu. 1986. Regulation of ethylene biosynthesis in ripening apple fruits. Acta Horti. 197, 711-720.