

사과의 CA저장 중 에틸렌 및 이산화탄소 생성

정헌식 · 최종욱*

경북대학교 농산물가공저장유통기술연구소, *경북대학교 식품공학과

Production of Ethylene and Carbon Dioxide in Apples during CA Storage

Hun-Sik Chung and Jong-Uck Choi*

Postharvest Technology Research Institute, Kyungpook National University

*Department of Food Science & Technology, Kyungpook National University

Abstract

This study was carried out to investigate the production of C_2H_4 and CO_2 , and the change of flesh firmness and peel color in 'Fuji' apples during CA storage. ACC oxidase activity was more inhibited by the low O_2 concentration, and the low level of internal C_2H_4 in apples was maintained under the low O_2 conditions during 8 months storage. Especially, the level of internal C_2H_4 in apples was maintained below 1 ppm during storage under 1% O_2 +1% CO_2 at $0^\circ C$, and not much changed for 7 days in air at $20^\circ C$ after storage. The influence of CO_2 on the C_2H_4 production was dependent on the O_2 concentration. Increasing of CO_2 concentration with 3% O_2 decreased the C_2H_4 production during storage, but that with 1% O_2 increased. Internal C_2H_4 concentration and the rate of C_2H_4 evolution in apples showed the close correlation. Internal CO_2 concentration of apples was positively related to the rate of CO_2 evolution, and maintained the lower level in 1% O_2 +1% CO_2 than the other conditions during storage but not different in the increment after storage. The relationship between C_2H_4 and CO_2 production was exhibited in CA and the short-term air stored apples, but not in the long-term air stored apples. Loss of flesh firmness and green color in apples was more less in storage condition retarded effectively the production of C_2H_4 and CO_2 .

Key words : apple, ethylene, respiration, storage

서 론

사과는 국내에서 생산량이 가장 많은 과실로 예전부터 건강 식품으로 인식되고 있다. 주된 소비 형태가 가공하지 않은 생과실이기 때문에 신선한 과실의 장기간 유통이 요구되어 CA(controlled atmosphere) 저장장 사용하고 있다. CA 저장의 기본 원리는 온도가 제어된 상태에서 정상대기 보다 산소 농도는 낮추고

이산화탄소 농도는 높이어 일정 수준으로 유지하면서 에틸렌을 제거하는 것이다(1).

CA 저장이 과실의 에틸렌 생성 및 호흡과 같은 생리현상에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 에틸렌은 식물체내에서 생합성되는 식물 호르몬으로서 성장, 성숙 및 노화 등에 지대한 영향을 미치며, 특히 사과와 같은 climacteric형 과실에서는 에틸렌 생성이 급상승하면서 성숙이 유도되는 것으로 밝혀져 있다(2,3). 에틸렌 생합성의 주경로와 효소들의 작용 부위가 다음과 같이 구명되었다(4-6). Methionine → (S-adenosylmethionine synthase) → S-adenosylmethionine → (ACC synthase) → ACC → (ACC oxidase) →

Corresponding author : Jong-Uck Choi, Department of Food Science & Technology, Kyungpook National University, 1370 Sankyuk-dong, Puk-gu, Taegu 702-701, Korea

Ethylene. 이와 같은 경로에서 에틸렌 생합성 속도를 제어할 수 있는 효소는 ACC synthase와 ACC oxidase인 것으로 알려져 있으며, ACC synthase는 IAA(indole-3-acetic acid)의 적용, 스트레스 및 성숙 등에 의해 유도되고 AVG(aminoethoxyvinylglycine) 또는 AOA(aminoxyacetic acid) 등의 적용에 의해 억제된다고 한다. 한편 ACC oxidase는 ACC에서 에틸렌으로 전환되는 단계를 촉매하는 효소로서 과실의 성숙이나 스트레스 등에 의해 활성이 증가되고 저온, 저농도 산소, Co^{2+} 및 고온(35°C 이상) 등에 의해 억제된다(7,8). 에틸렌이 품질 변화의 원인이 되는 대사에 작용하는 기작은 아직 명확하게 구명되지 않았지만 저온, 저농도 산소 및 고농도 이산화탄소 등이 에틸렌의 작용을 저해한다고 알려져 있다. 한편 과실의 호흡은 체내에 저장된 유기물이 산화되어 에너지와 이산화탄소 등으로 전환되는 과정으로 이로 인해 노화가 일어난다고 알려져 있다(9).

저장 기체 농도가 사과와 에틸렌 생성 및 호흡에 미치는 연구로서 Meigh 등(10)은 Cox's Orange Pippin 사과 저장시 저장고내 산소 농도가 낮을수록 에틸렌 생성이 억제되었다고 하였고, Liu 등(11)은 Golden Delicious 사과를 3% 산소에서 저장시 이산화탄소 농도 증가는 에틸렌 생성을 억제한다고 보고하였다. Shipway 등(12)은 고농도의 이산화탄소가 미토콘드리아의 활성을 변화시켜 호흡을 억제한다고 하였으며, Lidster 등(13)은 McIntosh 사과 저장시 산소 농도가 낮을수록 호흡량이 적었다고 보고하였다. 이러한 생리적 현상의 억제로 인해 과육경도, 산도, 과피 녹색의 손실 억제 및 장해과 발생 억제 등의 품질 유지 측면에서도 효과를 얻을 수 있다고 한다(14). 그러나 보다 구체적인 Fuji 사과의 저장 중 과실의 생리적 변화 및 이 변화에 근거한 품질 유지 정도에 대한 연구와 생리현상을 나타내는 지표들간의 상호 연관성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Fuji 사과의 CA 저장 효과를 생리화학적으로 구명하기 위해 저장 조건에 따른 사과의 에틸렌과 이산화탄소 생성 및 이로 인한 과육경도와 과피색의 변화 그리고 에틸렌과 이산화탄소 생성량의 측정 지표들간에 연관성을 조사하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구의 재료는 1995년 11월 10일에 경북 경산시 소재 과수원에서 수확한 Fuji 사과를 사용하였으며, 수확 당일 실험실로 운반하여 외관이 건전한 중과만 선별하여 실험을 행하였다.

저장 조건 및 제어

저장조건으로 온도는 0°C , 기체 조성비는 1% O_2 +1% CO_2 , 2% O_2 +2% CO_2 , 3% O_2 +1% CO_2 및 air를 적용하였으며, 상대습도는 CA저장에서 90~95%, air저장에서 80~85%로 각각 유지하였다. 이러한 조건에서 8개월 동안 저장 한 후 20°C 의 air에서 7일간 보존 실험을 실시하였다. 한편 내부에틸렌 농도에 CO_2 가 미치는 영향을 보기 위해 1, 3% O_2 에 1, 2, 3, 5% 및 10% CO_2 로한 기체 조성비에서 3개월간 저장하였다. 저장온도는 설정 온도에서 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 범위로 유지 되도록 제어하였다. 산소와 이산화탄소 농도는 paramagnetic 분석기(Fruit control Co., Model 655, Italy) 및 infrared 분석기(Fruit control Co., Model SS305, Italy)로 각각 측정하여 설정농도에서 $\pm 0.3\%$ 범위를 유지하도록 N_2 , CO_2 및 air를 주입하여 제어하였다. 저장 초기에는 저장고를 밀봉한 후 1일 이내에 설정 기체 조성비를 조성하였으나 저장 중 분석용 시료를 채취할 경우는 개봉 후 30분 이내에 재조성하였다. 상대습도의 측정은 저장고 내부에 센스가 부착된 습도 측정기(Vaisala CO., Model HMI 38, Finland)를 사용하였으며, 인위적인 제어는 하지 않았으나 저장고의 밀폐성으로 인해 자연적으로 일정하게 유지되었다. 실험용 저장고는 이미 보고한 것(15)과 동일한 장치를 사용하였다.

ACC oxidase 활성

ACC oxidase(ethylene forming enzyme, EFE)의 활성은 *in vivo* 상태에서 ACC(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid)를 첨가하여 생성되는 에틸렌의 양으로 측정하였다(16). 즉, 직경 8 mm cork borer를 사용하여 시료의 적도 부위에서 수직 방향으로 관통시켜 과육을 원통형으로 만든 후 일정 두께로 절단하였다. 제조한 과육 절편 일정량을 용기에 넣고, 10 mM ACC와 0.4 M mannitol을 첨가하여 30°C 항온조에서 150 rpm으로 1시간 진탕한 다음 밀봉하여 1시간 더 진탕한 후 head space 기체 1 mL를 주사기로 취하여 GC(Pyeunicam Ltd., Model series 304, England)를 사용하여 분석하였다. 대조구는 ACC만 첨가하지 않고 상기와 동일한 방법으로 하였다. GC의 분석 조건으로 컬럼은 porapak Q(80~100 mesh, glass, 1.7 m \times 4 mm i.d.), 컬럼 온도는 80°C , 검출기는 FID, 그리고 운반기체는 질소를 사용하였다.

과실 내부 에틸렌 및 이산화탄소 농도

내부 에틸렌 농도(internal ethylene concentration, IEC)

와 내부 이산화탄소 농도(internal carbon dioxide concentration, ICC)는 시료를 취하여 20°C에서 하룻밤 방치한 후 Saltveit 방법(17)으로 측정하였다. 즉 septum이 달린 주사기 바늘(22G×1¼")을 꽃받침에서 중심공극까지 삽입하고 바늘 주위를 기밀제로 밀봉한 후 septum에서 주사기로 내부 기체 1 mL 각각 취하여 GC를 사용하여 에틸렌과 이산화탄소의 농도를 측정하였다. 이산화탄소 분석용 GC 조건으로 컬럼은 porapak Q(80~100 mesh, glass, 1.7 m×4 mm i.d.), 컬럼 온도는 70°C, 검출기는 TCD 그리고 운반기체는 헬륨을 사용하였다.

에틸렌 및 이산화탄소 방출량

에틸렌과 이산화탄소 방출량은 저장 조건별로 시료를 취하여 20°C에서 하룻밤 방치한 후 정지법으로 측정하였다. 즉 시료를 유리제 용기에 넣고 밀봉하고 일정 시간 방치한 다음 head space 기체 1 mL 취하여 GC를 사용하여 상기와 동일한 조건으로 에틸렌과 이산화탄소의 농도를 측정하였다.

과육경도 및 과피색

과육경도는 시료 적도 부위의 음광, 양광 및 중간 지점의 과피를 15~20 mm 직경의 원형으로 제거하고 penetrometer(Effegi, Model FT327, Italy)에 직경 11 mm probe를 부착하여 수직 방향으로 8 mm 깊이까지 압축하여 측정하였다. 과피색은 시료의 음광면인 녹색 부분을 표시하여 동일한 부위를 매번 측정하였으며, 저장 전 각 시료의 L, a 및 b값을 기준색으로 보정한 chromameter (Minolta Co., Model CR-200, Japan)를 사용하여 ΔL, Δa 및 Δb를 각각 측정하였다.

결과 및 고찰

저장 조건이 에틸렌 생성에 미치는 영향

저장 온도 0°C의 각기 다른 기체 조성비에서 8개월간 저장하면서 측정한 ACC oxidase 활성과 20°C의 air에서 7일간 보존한 후 측정한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. CA 또는 air 조건에서 8개월 동안은 산소의 농도가 낮을수록 효소의 활성이 억제되었다. 1% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 기간이 경과함에 따라 극소한 감소를 하는 것에 비해 2% O₂+2% CO₂ 조건에서는 저장 말기에 약간 증가하였으나 3% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 초기부터 8개월까지 증가를 하였다. 반면에 air 조건에서는 저장 5개월까지 급격한 증가를 한 후 감소하였다.

이러한 결과로 볼 때 Fuji 사과의 ACC oxidase 활

성을 효과적으로 억제할 수 있는 산소 농도는 1% 이하이고 3% 산소는 효소의 활성을 억제하는데 미흡하다고 판단된다. 그리고 air 조건에서 저장 중 활성 저하는 과실의 노화에 따른 기질의 감소나 세포의 변형 등과 같은 요인으로 인해 효소가 불활성화 되었기 때문이고(18) 이로 인해 조직의 에틸렌 생합성 능력은 어떤 임계점에 도달한 후 떨어진다고 생각된다. 한편 8개월 저장 후 20°C의 air에서 7일간 보존 후 효소 활성은 air 저장된 과실에서는 여전히 감소하였으나 CA 저장된 과실에서는 증가하였으며 그 증가폭은 저장한 산소 농도에 비례하여서 3% O₂+1% CO₂ 조건에서 가장 크게 나타났다. 하지만 1% O₂+1% CO₂ 조건에서 저장한 과실은 거의 변화 없는 거나 마찬가지여서 1% 산소에서 장기간 저장은 앞서 논한 노화로 인한 기질의 감소나 조직의 변형 등과 같은 요인의 발생 없이도 ACC oxidase 활성 회복 능력을 상실하게 하는 것으로 생각된다.

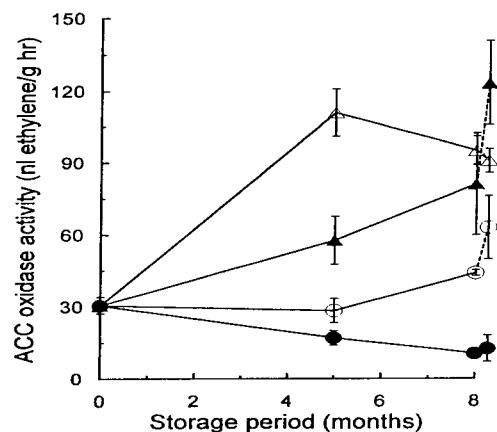


Fig. 1. Effects of storage conditions on ACC oxidase activity of 'Fuji' apples.

Values represent the mean±S.E.

● : 0°C, 1% O₂+1% CO₂, ○ : 0°C, 2% O₂+2% CO₂,
▲ : 0°C, 3% O₂+1% CO₂, △ : 0°C, air, ---- : 20°C, air.

저장 조건이 과실의 IEC(internal ethylene concentration)에 미치는 영향을 조사하기 위해 각기 다른 기체 조성비에서 8개월간 저장하면서 측정한 IEC 및 저장 시작시와 저장 8개월 후 20°C의 air에서 7일간 보존한 후 측정한 결과는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 대체적으로 ACC oxidase 활성의 결과와 거의 일치하는 경향을 나타내었다. 즉 1% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 2개월까지 약 1 ppm으로 감소한 후 저장 말기까지 1 ppm 이하로 유지되었으나 2% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 5개월까지는 1% O₂+1% CO₂ 조건과 거의 같았으나 이 후부터는 약간 증가하였다. 그런데

3% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 초기부터 저장 말기까지 점차 증가를 하였고 air 조건에서는 저장 5개월까지 급격한 증가를 한 후 감소하였다.

저장한 조건의 영향을 보기 위해 저장 시작시와 8개월 저장 후 20°C의 air에서 7일간 보존한 후 측정된 IEC 변화를 보면 저장 시작시에는 급격한 증가를 하였으나 8개월 저장한 후에는 저장한 조건의 효과가 지속되어 증가폭이 상이하였다.

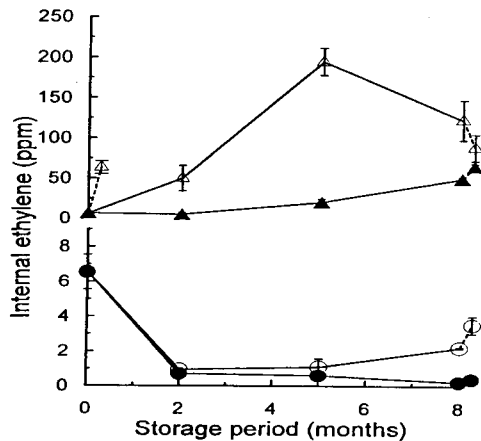


Fig. 2. Effects of storage conditions on internal ethylene concentration of 'Fuji' apples. Values represent the mean \pm S.E.
 ●, ○, ▲, △: Same as Fig. 1.

한편 IEC에 1%와 3% 산소와 고농도의 이산화탄소가 미치는 영향을 조사하기 위해 이산화탄소 농도를 1~10%로 하여 3개월 저장 후 IEC를 측정된 결과는

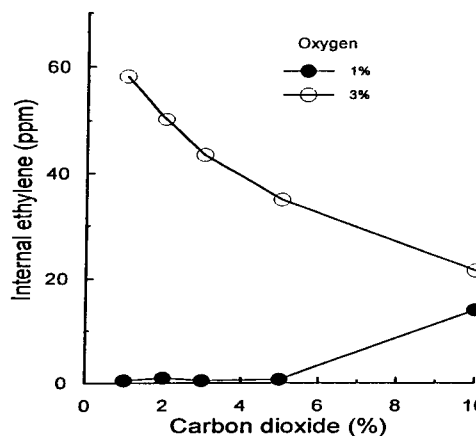


Fig. 3. Effects of storage oxygen and carbon dioxide on internal ethylene concentration of 'Fuji' apples after storage for 3 months at 0°C.

Fig. 3에 나타내었다. IEC는 3% 산소에서는 구성 이산화탄소 농도가 1%에서 10%까지 증가함에 따라 거의 선형적으로 감소하였으나, 1% 산소에서는 구성 이산화탄소 농도가 1%에서 5%까지는 거의 일정하였으며 10% 이산화탄소에서는 오히려 증가하였다.

이상과 같은 결과로 볼 때 Fuji 사과의 에틸렌 생성에는 산소와 이산화탄소가 상호 복합적으로 작용하여 영향을 미치며, 1% 산소는 ACC oxidase 활성을 강력하게 억제할 수 있으나 3% 산소는 ACC oxidase 활성을 충분히 억제하지 못해 내생 에틸렌에 의한 autocatalytic biosynthesis(19)를 방지하지 못하는 것으로 생각된다. 반면에 이산화탄소의 영향은 구성 산소의 농도에 의존적 이어서 고농도 산소에서 이산화탄소 농도의 증가는 Golden Delicious 사과(11)에서 보고된 바와 같이 에틸렌 생성 억제효과가 있지만 1% 산소에서는 아무런 효과가 없거나 생성을 증가시키는 효과가 있는 것으로 생각된다.

본 실험에서 과실의 IEC는 Fig. 4와 같이 실제적으로 과실에서 방출되는 에틸렌량과 높은 상관관계를 나타내었는데, 이는 Blanpied 등(20)의 McIntosh 사과와 Knee 등(21)의 Discovery 및 Cox's Orange Pippin 사과에 대한 보고와 유사하였다. 또한 ACC oxidase 활성과도 밀접한 관계가 있어서 Fuji 사과의 에틸렌 생성량을 나타내는 지표로 사용할 수 있다고 판단된다.

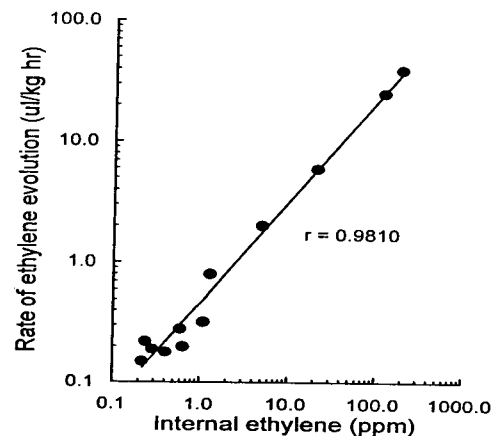


Fig. 4. Relationships between internal ethylene concentration and the rate of ethylene evolution of 'Fuji' apples.

저장 조건이 이산화탄소 생성에 미치는 영향

수확된 과실은 호흡으로 인해 노화가 촉진되어 품질 저하가 발생한다고 하지만 과실 자체적 요인이나 환경적 요인으로 어느 정도 조절되어 질 수 있다고 알려져 있다(12,13). 본 실험에서 저장 온도 0°C의 각

기 다른 기체 조성비에서 8개월간 저장하면서 측정 한 ICC(internal carbon dioxide concentration)와 20℃의 air에서 7일간 보존한 후 측정한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. ICC는 전반적으로 저장 산소의 농도가 낮을수록 낮았으나 IEC 만큼 CA 조건에 따른 차이는 크지 않았다. 저장 중 ICC는 1% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 5개월까지 거의 변화가 없었으나 이후부터 극소한 증가를 하였고, 3% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 2개월경부터 증가하였다. 한편 air 조건에서는 저장 초기부터 말기까지 거의 선형적으로 급격하게 증가하였다.

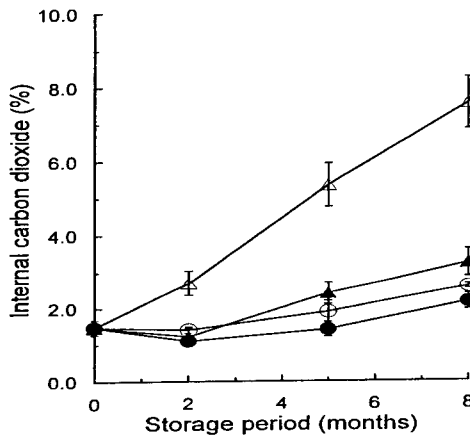


Fig. 5. Effects of storage conditions on internal carbon dioxide concentration of 'Fuji' apples. Values represent the mean \pm S.E. ●, ○, ▲, △, ----: Same as Fig. 1.

이상의 결과는 과실의 ICC에 절대적인 영향을 미치는 것은 과실 조직의 호흡 작용을 억제하는 저장 산소 농도라는 것을 의미한다고 할 수 있다. 그리고 air 조건에서 급격하게 ICC가 증가한 원인은 저장 초기 호흡을 억제하지 못한 것과 이로 인한 과도한 조직의 노화 때문이라고 생각된다. 저장한 조건의 영향을 보기 위해 각 조건에서 저장한 다음 20℃의 air에서 7일간 보존한 후 ICC는 모든 저장한 조건에서 증가하였으나 상호 유의적인 차이는 없었다. 이는 1% 산소로 인한 호흡 체계의 손상이 생기지 않았다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

과실의 ICC는 Fig. 6과 같이 호흡 활성을 나타내는 지표로 주로 활용되고 있는 이산화탄소의 방출속도와 높은 상관성을 가지는 것으로 보아 사과 과실에서 ICC도 호흡활성을 평가할 수 있는 지표로 활용 가능하다고 생각된다.

저장 조건별 IEC와 에틸렌 방출량을 근거로한 에틸렌 생성량과 ICC와 이산화탄소 방출량을 근거로한 호흡량의 양상은 CA 저장과 단기간 air 저장에서는 거의 일치하는 경향이었으나 장기간 air 저장에서 에틸렌 생성량은 감소하나 호흡량은 증가하는 경향이 있어 노화가 많이 진행된 사과에서는 이 두 특성들을 연관 지을 수 없다고 판단된다.

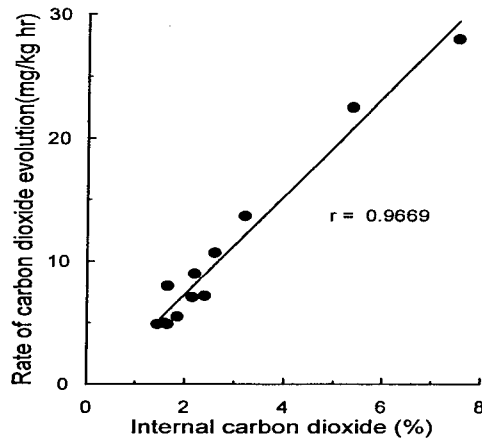


Fig. 6. Relationships between internal carbon dioxide concentration and the rate of carbon dioxide evolution of 'Fuji' apples.

저장조건이 과육경도 및 과피색에 미치는 영향

각기 다른 기체 조성비에서 8개월 동안 저장하면서와 저장 후 20℃의 air에서 7일간 보존한 후 측정 한 과육경도는 Fig. 7에 나타내었다. 과육경도는 저장 조건에 따라 저장 중 감소하는 폭이 달랐으며 이러한 조건간 차이는 저장기간이 경과함에 따라 더욱 크게 나타났다. 과육경도는 저장 산소의 농도가 낮을수록 감소가 억제되어서 1% O₂+1% CO₂ 조건에서 가장 높은 경도를 유지하였다. 2% O₂+2% CO₂ 조건에서 저장한 과실의 경도는 저장 5개월까지는 1% O₂+1% CO₂ 조건과 거의 차이가 없었으나 그후부터는 보다 빠르게 감소하였다. 반면에 3% O₂+1% CO₂ 조건에서는 저장 5개월 이전부터 이미 저농도 산소 조건들보다 빠르게 감소하였다. 저장 8개월 후 20℃의 air에서 7일간 보존한 후의 과육경도 감소폭은 저산소 조건일수록 낮았다. 과육경도 감소는 육조직의 펙틴 물질 가용화와 세포벽 성분 변화 등으로 인해 발생하는 것으로 여기에 관여하는 효소들의 활성을 저농도 산소는 억제하고 에틸렌은 증가시킨다고 한다(22). 과육경도는 에틸렌 생성을 가장 강하게 억제 한 저장조건에서 가장 높게 유지되었는데, 이러한 결

과는 0°C의 1% 산소의 에틸렌 생성뿐 아니라 작용에도 미친 억제효과 때문인 것으로 생각된다.

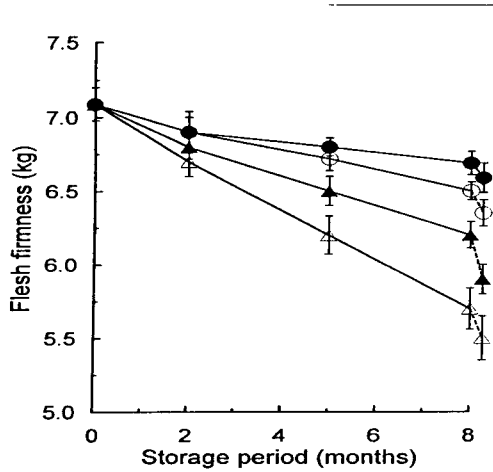


Fig. 7. Effects of storage conditions on flesh firmness of 'Fuji' apples.

Values represent the mean \pm S.E.

●, ○, ▲, △, ■: Same as Fig. 1.

과실 표면의 색은 시각적으로 성숙도와 신선미를 평가하는데 중요한 지표로 사용된다. Fuji 사과의 색은 미숙과 일 때는 chlorophyll에 의한 녹색만 피다가 성숙하면서 anthocyanin이 발현되어 완숙 단계에서는 녹색 바탕에 적색이 섞여 있는 색을 띠지만 노화가 진행되며 따라 chlorophyll이 분해되어 녹색부분이 황색으로 변하게 된다. 기체 조성비가 각기 다른 조건으로 8개월 동안 저장하면서와 저장 후 20°C의 air에서 7일간 보존한 후 측정된 녹색 과피의 ΔL , Δa 및 Δb 값은 Fig. 8에 나타내었다. 저장 중 L값은 거의 변화가 없었으며 저장조건에 따른 유의적인 차이도 없었다. 녹색의 손실을 나타내는 -a값의 감소 즉 Δa 의 변화는 산소의 농도가 낮을수록 억제되어서 1% O₂+1% CO₂ 조건에서 가장 적었다. 또한 20°C의 air에서 7일간 보존 후에도 저장한 산소의 농도가 낮을수록 변화가 적었다. 황색화 정도를 나타내는 +b값의 증가 즉 Δb 의 변화는 Δa 의 변화보다 심하였으나 저장조건에 따른 양상은 거의 유사하였다. 하지만 20°C의 air에서 7일간 보관 후에는 -a 값과는 달리 저장한 조건별 차이가 없이 급격하게 증가하였다. 과실의 황색화는 에틸렌에 의해 촉진되지만 CA 저장을 이를 억제한다는 보고(23)와 같이 본 실험에서도 에틸렌의 생성과 작용이 억제된 저산소 조건에서 과피의 녹색 손실이 적었다.

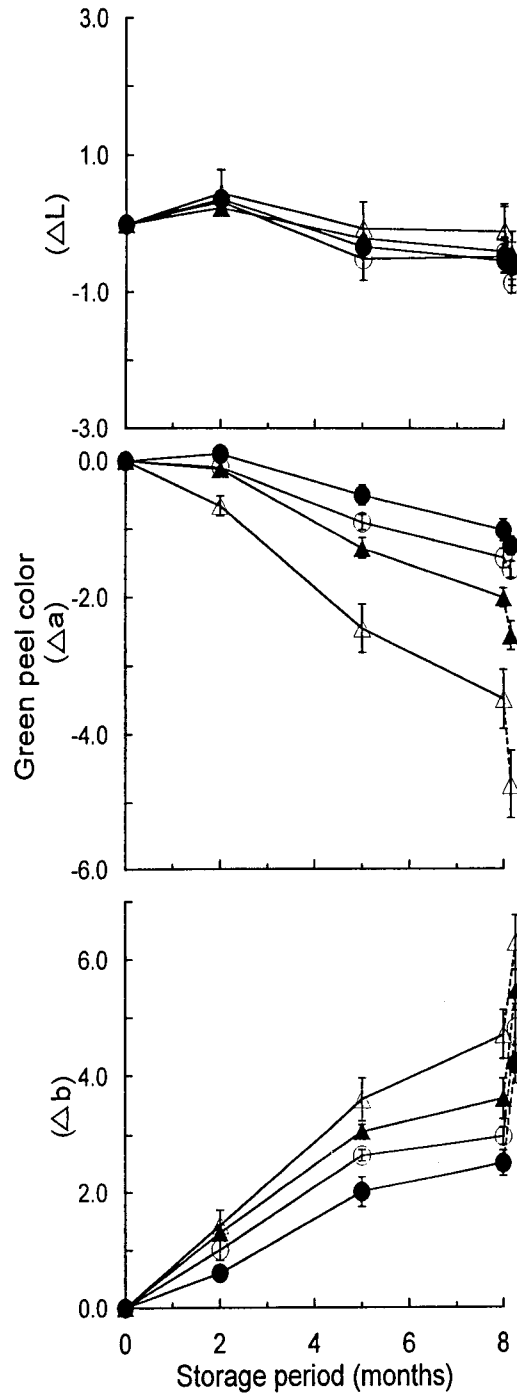


Fig. 8. Effects of storage conditions on green peel color of 'Fuji' apples.

Values represent the mean \pm S.E. Initial value: L=71.39 \pm 0.9, a=-8.7 \pm 0.8, b=+40.83 \pm 0.8.

●, ○, ▲, △, ■: Same as Fig. 1.

요약

후지 사과의 CA 저장 효과를 생리화학적으로 구명하기 위해 저장 조건에 따른 에틸렌과 이산화탄소 생성 및 이들의 연관성 그리고 과육경도와果皮색의 변화를 조사하였다. 저장 산소농도가 낮을수록 ACC oxidase 활성이 억제되어 내부 에틸렌 농도가 낮게 유지되었다. 특히 1% O₂+1% CO₂ 조건에서는 내부 에틸렌 농도가 1 ppm 이하로 유지되었으며 저장 후 20℃의 air에서도 거의 변화가 없었다. 에틸렌 생성에 고농도 이산화탄소의 영향은 구성 산소농도에 의존적 이어서 1% 산소에서는 효과가 없거나 생성 증가 효과를, 3% 산소에서는 생성 억제효과를 나타내었다. 내부 에틸렌 농도와 에틸렌 방출량은 밀접한 상관관계를 나타내었다. 내부 이산화탄소 농도도 이산화탄소 방출량과 밀접한 상관관계를 나타내었으며 저장 산소농도가 가장 낮은 조건인 1% O₂+1% CO₂에서 가장 낮게 유지되었고 저장 후의 증가폭은 다른 조건들과 차이가 없었다. 저장조건에 따른 에틸렌과 이산화탄소 생성량의 연관성은 CA 저장 사과와 단기간 air 저장 사과에서는 존재하였으나 장기간 air 저장 사과에서는 보이지 않았다. 사과의 과육경도와果皮의 녹색은 에틸렌과 이산화탄소의 생성이 억제된 저장조건일수록 손실이 적었다.

참고문헌

- Ryall, A.L. and Pentzer, W.T. (1984) Handling, transportation & storage of fruits & vegetables. Avi Publishing Co., Westport, U.S.A., p.375
- Abeles, F.B., Morgan, P.W. and Salveit, M.S. (1992) Ethylene in plant biology. Academic Press, New York, U.S.A., p11
- Yang, S.F. and Hoffman, N.E. (1984) Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **35**, 155-189
- Baur, A.H., Yang, S.F. and Pratt, H.K. (1971) Ethylene biosynthesis in fruit tissues. *Plant Physiol.*, **47**, 696-699
- Adams, D.O. and Yang, S.F. (1979) Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **76**, 170-174
- Dong, J.G., Yip, W.K. and Yang, S.F. (1988) The isolation and characterization of ACC synthase from apple tissue. *Plant Physiol.*, **86**, 60-63
- Abeles, F.B. and Wydoski, S.G. (1987) Inhibitors of ethylene synthesis and action: A comparison of their activities in a lettuce root growth model system. *J. Amer.Soc. Hort. Sci.*, **112**, 122-125
- Lieberman, M. (1979) Biosynthesis and action of ethylene. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **30**, 533-536
- Kays, S.J. (1991) Postharvest physiology of perishable plant products. AVI, New York, p.75-94
- Meigh, D.E. and Reynolds, J. (1969) Effect of low concentrations of oxygen on the production of ethylene and on other ripening changes in apple fruit. *J. Sci. Fd. Agric.*, **20**, 225-228
- Liu, Y., Wu, Y.M. and Hua, X. (1991) Effects of storage conditions on ethylene biosynthesis in apple fruits. *HortScience*, **26**, 696
- Shipway, M.R. and Bramlage, W.J. (1973) Effects of carbon dioxide on activity of apple mitochondria. *Plant Physiol.*, **51**, 1095-1098
- Lidster, P.D., Loughheed, E.C. and McRae, K.B. (1987) Effects of sequential low-oxygen and standard controlled atmosphere storage regimens on apple quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **112**, 787-793
- Kader, A.A. (1992) Modified atmospheres during transport and storage. In Postharvest technology of horticultural crops, Kader, A.A. (Editor), University of California, Division of agriculture and natural resources, Publication 3311, p.85-92
- Chung, H.S., Chung S.K., Sohn T.H. and Choi J.U. (1994) Determination on the optimal harvest date of apples for CA storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, **1**, 29-36
- Fernandez-Maculet, J.C. and Yang, S.F. (1992) Extraction and partial characterization of the ethylene-forming enzyme from apple fruit. *Plant Physiol.*, **99**, 751-754
- Saltveit, Jr.M.E. (1982) Procedures for extracting and analyzing internal gas samples from plant tissues by gas chromatography. *HortScience*, **17**, 878-881
- Makhlouf, J., Willemot, C., Arul, J., Castaigne, F. and Emond, J.P. (1989) Regulation of ethylene biosynthesis in broccoli flower buds in controlled atmospheres. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **114**, 955-958
- Riov, J. and Yang, S.F. (1982) Effects of exogenous

- ethylene on ethylene production in citrus leaf tissue, *Plant physiol.*, **70**, 136-139
20. Blanpied, G.D. and Samaan, L.G. (1982) Internal ethylene concentrations of 'McIntosh' apples after harvest. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **107**, 91-93
21. Knee, M., Smith, S.M. and Johnson, D.S. (1983) Comparison of methods for estimating the onset of the respiration climacteric in unpicked apples. *J. Hort. Sci.*, **58**, 521-526
22. Kanellis, A.K., Solomos, T. and Matto, A.K., (1989) Hydrolytic enzyme activities and protein pattern of Avocado fruit ripened in air and in low oxygen, with and without ethylene, *Plant Physiol.*, **90**, 257-266
23. Yamauchi, N. and Watada, A.E. (1993) Pigment changes in parsley leaves during storage in controlled or ethylene containing atmosphere. *J. Food Sci.*, **58**, 616-619

(1999년 4월 20일 접수)