

## 감과실의 에틸렌 생성에 미치는 칼슘과 Galactose의 영향

김미현, 신승렬\*, 이광희\*\*, 정용진\*\*\*, 김광수  
영남대학교 식품영양학과, \*경산대학교 생명자원과학부,  
\*\*대구과학대학 식품영양과, \*\*\*경북과학대학 전통발효식품과

### Effects of Calcium and Galactose on the Ethylene Production of Persimmon Fruits

Mi-Hyun Kim, Seung-Ryeul Shin\*, Kwang-Hee Lee\*\*, Yong-Jin Jeong\*\*\*, Kwang-Soo Kim

*Department of Food and Nutrition, Yeungnam University*

*\*Faculty of Life Resources Science, Kyungsan University*

*\*\*Department of Food and Nutrition, Daegu Science College*

*\*\*\*Department of Traditional Fermented Food, Kyungpook Science College*

#### Abstract

This study was carried out to investigate the effects of calcium and galactose treatments on ethylene productions in persimmon fruits for the study on the study of persimmon fruits. Ethylene was produced in green mature persimmon fruits treated with water, calcium and galactose after 24hrs of treatment. Ethylene productions of persimmon fruits treated with galactose was very higher than those of persimmon fruits treated with water and calcium after 72hrs of treatment. Ethylene productions of persimmon fruits treated with water and calcium were similarly to that of persimmon fruit treated with calcium. The treatment of glucose was not effected on ethylene production of persimmon fruits. The ACC contents and ACC synthase activity in persimmon fruit treated with galactose were higher than those of other groups after 72hrs of storage, but the ACC contents and ACC synthase activity of persimmon fruits treated with calcium were lower than those of control and persimmon fruits treated with water.

**Key words :** persimmon, galactose, calcium, ethylene, ACC,

#### 서 론

에틸렌은 과실의 성장과 노화에 영향을 미치는 단순한 구조( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )의 가스상 호르몬으로서(1,2) 생체내에서 적절한 시기에 다량으로 생성되어 성숙을 개시함으로써 호흡상승형 과실의 성숙유도와 지속에 결정적인 역할을 한다(3,4). 성숙초기 에틸렌 생합성의 증가로 말미암아 성숙이 진행되며(5,6), 생체내 에

틸렌 농도의 점차적인 증가로 연화관련 효소의 mRNA 합성이 증진된다(7).

에틸렌 생합성 경로는 methionine이 ATP에 의해 활성화되어 S-adenosyl-methionine(SAM)을 형성하며, SAM은 1-amino-cyclopropane-1-carboxylic acid(ACC)와 5-methylthioadenosine(MTA)로 분해되고, ACC는 산소존재하에서 에틸렌을 생성한다(8). 한편 질소 존재하에서는 메티오닌은 ACC와 5-methylthioribose (MTR)로 전환됨으로써 에틸렌을 생성하지 않는다(9).

Mackeehan(10)과 Tingwa와 Young(11)은 호흡상승형 과실인 아보가도의 경우 수확전 에틸렌 함량이 극미

Corresponding author : Kwang-Soo Kim, Department of Food and Nutrition, Yeungnam University, Kyungsan, 712-749, Korea

량인 것은 잎과 가지에 존재하고 있는 성숙 저해인자가 과실로 이동함에 따라 에틸렌 생성이 저해된다고 보고했다. 이에 반해 Hoffman과 Yang(12)은 호흡상승 이전 과실에서 에틸렌 생성량이 적은 것은 ACC 생성 능력 결핍에 따른 낮은 생체내 ACC 함량과 SAM의 ACC로의 전환과 ACC의 에틸렌으로의 전환 모두가 제한적이기 때문이라고 했다. 에틸렌은 화학물질, 온도, 가뭄, 방사선 조사, 곤충침해, 질병 및 기계적 손상 등에 의해 다량으로 생성되며, 이렇게 생성된 에틸렌을 상처 에틸렌 혹은 스트레스 에틸렌이라 한다(13). Yang과 Pratt(14)는 상처 에틸렌 역시 동일한 에틸렌 생합성 경로를 통해 생성되며, SAM의 함량에는 영향을 미치지 않고, SAM에서 ACC로의 전환을 자극한다고 하였다. 상처에 의해 생성된 에틸렌은 ACC synthase의 *de novo* 합성을 촉진시켜 ACC synthase 활성을 증가시키며, cycloheximide와 같은 단백질 저해제에 의해 저해된다(15). 에틸렌 생합성의 조절단계인 SAM에서 ACC로의 전환은 ACC synthase에 의해 촉매되며(16), aminoethoxyvinylglycine (AVG), aminoxy-acetic acid(AOA)는 ACC synthase 활성을 저해하여 에틸렌 생합성을 억제한다(17). 또한 ACC로부터 에틸렌으로의 전환에 관여하는 ACC oxidase는 이산화탄소, 고온, 2,4-dinitrophenol(DNP)에 의해 저해되는 등, *in vivo*에서의 에틸렌 생성은 다양한 주변적 환경에 의해 조절된다(18,19). 과실에 에틸렌 혹은 에틸렌 유사 물질, 옥신, 세포벽 구성성분, AVG와 AOA,  $Ag^+$ , 저산소, 고 이산화탄소 등을 처리하였을 때 호흡, 에틸렌 생성, 클로로필 분해, 카로티노이드 생성, 연화 등에 미치는 영향에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(20,21).

본 연구는 galactose와 Ca이온이 에틸렌의 생성에 미치는 영향을 조사하고자 성숙중 단감을 수확하여 galactose와  $CaCl_2$ 를 처리하여 저장중에 에틸렌의 생성, ACC의 함량, ACC synthase의 활성 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험의 재료는 경남 일원에서 재배되고 있는 부유종 단감(*Diospyros kaki*, T.)을 변색기(개화 130~135일)에 수확하여 사용하였다.

### 염화칼슘과 galactose의 처리

염화칼슘과 galactose의 처리는 변색기에 수확한

감을 평균한 증류수로 세척한 후에 감압용기에 넣고 1% 염화칼슘 수용액과 0.1% galactose 수용액 일정량을 가하여 2분간 50kpa로 감압처리한 다음 5분동안 서서히 상압으로 전환함으로써 과실내로 각 성분을 침투시켰다.

### 에틸렌 생성량의 측정

에틸렌 생성량 측정은 칼슘과 galactose를 처리한 감을 실리콘이 부착된 밀폐용기에 보관하면서 24시간 간격으로 에틸렌을 1회용 주사기로 포집하여 gas chromatography(Hewlett packard, USA)로 분석하였다. 이 때 분석용 column은 SPB-1 capillary column, 컬럼 온도는 150°C, 에틸렌 정량은 검출기는 FID, 검출기 온도는 200°C, 운반기체는 질소로 하였다.

### 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid(ACC)의 정량

ACC의 정량은 Lizada와 Yang(22)의 방법에 따라 과육 5g을 80% 에탄올 10ml를 가하여 파쇄한 다음 15분간 27,000g로 원심분리한 후 상정액을 취하여 50°C 질소하에서 건조시킨 다음 잔사를 1ml 증류수로 용해시킨 것을 시료액으로 하였다. 시료액 100~200  $\mu$ l의 일정량을 시험관에 취하고 ACC 표준용액 100  $\mu$ l, 1mM  $HgCl_2$  100  $\mu$ l를 넣고 900  $\mu$ l의 증류수로 채운 다음 밀봉하여 냉각을 유지하였다. 5% NaOCl와 포화 NaCl 혼합용액(2 : 1, v/v) 100  $\mu$ l를 주사기로 주입하여 5초간 혼합한 후 3분간 ice bath에서 항온처리한 다음 시료 1ml를 포집하여 gas chromatography로 에틸렌 생성량을 측정하여 산출하였다.

### ACC synthase의 활성측정

ACC synthase의 활성 측정은 Kende와 Boller(23)와 Yu와 Yang(24)이 행한 방법에 따라 행하였다. 즉, 효소추출은 과육 20g을 5mM dithiothreitol (DTT), 0.5  $\mu$ M pyridoxal phosphate, 0.1% insoluble polyvinylpyrrolidone (PVP)을 포함하는 100mM HEPES buffer(pH 8.2)로 균질화시킨 후 7,000g에서 15분간 원심분리하였고, 상정액을 0.5mM DTT, 0.5  $\mu$ M pyridoxal phosphate를 포함한 10mM HEPES buffer(pH 8.2)용액에서 12시간 투석한 다음 1,500Xg에서 10분간 원심분리하여 상정액을 효소액으로 하였다. 효소반응은 효소액 400  $\mu$ l와 50  $\mu$ mol SAM, 1.0  $\mu$ mol pyridoxal phosphate를 포함한 50mM HEPES buffer(pH 8.2) 200  $\mu$ l를 잘 혼합한 다음 28°C에서 3시간 반응시켜 생성된 ACC를 측정하였다. ACC synthase의 활성은 생체 1g이 1시간 동안 1  $\mu$ mol ACC를 생성하는 효소량을 unit로 하였다.

결과 및 고찰

에틸렌 생성량

Fig. 1은 감에 칼슘과 galactose를 감압주입한 후 저장중 에틸렌 생성량의 변화를 나타낸 것이다. 저장 24시간 후 칼슘처리구, galactose 처리구, H<sub>2</sub>O처리구의 에틸렌 생성량은 각각 14.20, 21.52, 18.42 μmol/100g-fr.wt이었으나 galactose 처리구는 72시간 경과후 에틸렌 생성량이 84.63 μmol/100g-fr.wt로 처음의 생성량에 비해 4배 정도 높았으며, 다른 처리구에 비해서도 매우 높았다. 한편, 칼슘처리한 감의 에틸렌 생성량은 9.25~20.45 μmol/100g-fr.wt이었으며, 타 처리구와 비해 생성량이 낮았다.

에틸렌 생성은 화학물질, 온도, 기류, 방사선 조사, 곤충, 질병, 기계적 손상 등과 같은 스트레스가 원인이 된다. Yu와 Yang(25)은 상처 에틸렌이 ACC 대사경로를 통해 합성되는지를 결정하기 위한 mung bean의 Ca<sup>2+</sup>처리 연구에서 에틸렌 생성과 ACC 함량 모두 상처 직전과 직후에 매우 낮지만 시간이 경과하면 ACC 함량이 급격히 증가하는 것을 통해 endogenous SAM의 함량 변화에 영향을 주지 않고, SAM의 ACC로의 전환 단계가 상처에 의한 에틸렌 생성을 조절한다고 보고하였다.

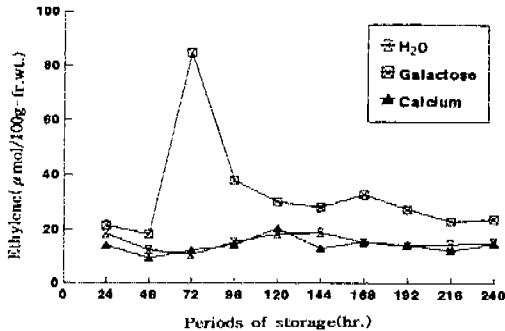


Fig. 1. Changes in the ethylene production of persimmon fruits by water, calcium and galactose treatment.

Gross(26)는 변색기의 토마토에 galactose를 처리하였을 때 에틸렌 생성을 자극하여 성숙을 촉진한다고 보고하였고, Kim(27)은 토마토에 800 μg/g-fr.wt galactose 처리시 ACC synthase의 활성화, ACC 함량 및 에틸렌 생성이 증가한다고 보고하였다. Galactosyl 잔기의 소실은 토마토 뿐만 아니라 많은 다른 과실에서 연화중에 galactan의 de novo 합성 저하와 β-galactosidase에 의한 β-1,4-galactan의 가수분해로 일

어난다는 보고(28)도 있다. 본 연구에서 저장 72시간에 galactose 처리구의 에틸렌 생성량 증가는 처리한 galactose가 에틸렌 생성성의 조절효소인 ACC synthase 활성을 자극했기 때문인 것으로 생각되며, 저장 24시간 후 에틸렌 생성이 많은 것은 감압처리에 따른 물리적 자극에 기인한 것이라고 판단된다.

Watkins 등(29)은 18°C에서 칼슘처리한 사과와 감의 경우 호흡과 에틸렌 생성이 감소한다고 보고하였고, 아보가도의 칼슘처리 역시 이산화탄소와 에틸렌 생성을 감소시킨다고 하였다(30). 그러나 Sams와 Conway(31)에 의하면 CaCl<sub>2</sub> 12%(w/v)를 처리한 사과와 감의 경우 무처리구에 비해 낮은 에틸렌 생성을 나타낸 반면, 0°C에서 5개월간 저장했을 때는 칼슘의 에틸렌 생성에 대한 효과는 미미해져서 칼슘처리후 에틸렌 생성은 과실의 칼슘 농도와는 비교적 상관관계가 적으며, 특히 호흡에는 유의적인 영향을 미치지 않는다고 하였다. 아보가도에 칼슘을 감압으로 처리했을 때 칼슘이 이산화탄소와 에틸렌 생성을 저해하지만, 호흡상승에 도달하는 시간에는 현저한 영향을 주지 않는다는 Wills와 Tirmazi(32)의 보고도 있다. 따라서 칼슘이 과실의 저장중에 에틸렌 생성을 억제하는 것으로 생각된다.

Fig. 2는 변색기의 감에 galactose와 glucose를 처리하였을 때 에틸렌 생성량을 비교한 것이다. 처리 24시간 이후의 에틸렌 생성량은 galactose 처리구와 glucose 처리구에서 각각 21.52와 26.20 μmol/100g-fr.wt으로서 H<sub>2</sub>O처리구의 18.42 μmol/100g-fr.wt로 48시간 후와 비교할 때 다소 많은 에틸렌을 생성하였다. 저장중에 에틸렌의 생성량의 변화는 galactose 처리구에서 저장 72시간에는 84.64 μmol/100g-fr.wt으로 다른 처리구에 비해 매우 많이 증가하고 이후에 계속적으로 감소하였으나 H<sub>2</sub>O처리구와 glucose 처리구에서는 뚜렷한 변화가 없었다.

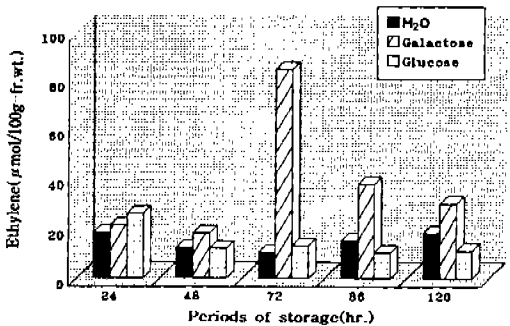


Fig. 2. Changes in the ethylene production of persimmon fruits by calcium and glucose treatment.

Krul와 Colclasure(33)는 채소조직에서 galactose, sucrose, glucose와 같은 탄수화물은 에틸렌 생성을 자극한다고 보고하였으나 본 연구에서는 감과실에 glucose와 galactose를 처리했을 때 galactose 처리구에서는 에틸렌 생성이 증가하고 glucose 처리구에서는 별다른 변화를 보이지 않았다. 처리한 galactose는 ACC synthase 활성을 자극함으로써 에틸렌 생합성을 촉진하며, 이를 통해 성숙을 진행시키는 것으로 생각된다.

#### ACC 함량 및 ACC synthase의 활성 변화

Fig. 3은 Lizada와 Yang(9)이 행한 방법에 따라 칼슘과 galactose 및 H<sub>2</sub>O 처리한 감을 에틸렌의 변화가 가장 많은 저장 72시간에 ACC 함량을 측정한 결과이다. 무처리, H<sub>2</sub>O 및 칼슘처리구의 ACC 함량은 각각 1.15, 1.27, 1.02nmol/g으로 뚜렷한 차이가 없었으나 galactose 처리구에서는 2.96nmol/g으로서 다른 처리구에 비해 뚜렷히 높았다.

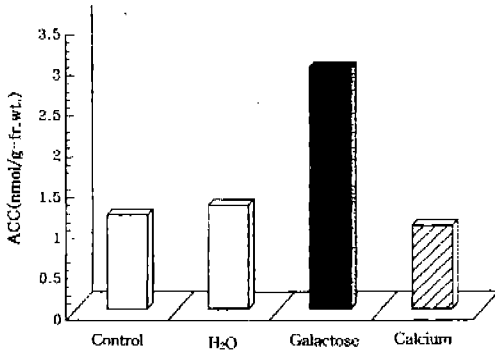


Fig. 3. ACC contents of persimmon fruits by calcium chloride and galactose treatments after 72hrs of treatment.

Cameron 등(34)은 과실, 뿌리, 줄기, 잎 등에 ACC 처리시 에틸렌 생성이 증가함을 보고하였고, screening test를 통해 ACC가 다수의 식물체나 식물기관의 에틸렌 생성을 촉진함을 보고하였다. Hoffman과 Yang(12)은 아보가도, 바나나, 토마토의 ACC 함량은 호흡상승전에는 매우 낮으며, 에틸렌 생성이 적은 것은 ACC 생성능력 결핍에 의한 생체내 ACC 함량이 낮고, methionine에서 SAM으로 전환능력은 있지만 SAM에서 ACC로의 전환과 ACC에서 에틸렌으로의 전환능력은 미미하기 때문이라고 보고하였다. ACC의 함량증가는 ACC synthase 활성의 증가에 기인하며, 처리한 galactose가 ACC synthase의 *de novo* 합성을 자극했기 때문이라 사료된다.

Fig. 4는 칼슘과 galactose 처리한 감과실의 ACC synthase 활성을 측정한 결과로서 무처리구, H<sub>2</sub>O 및 칼슘처리구에서 1.01, 1.18, 0.9nmolACC/g이었으나 galactose 처리구에는 1.80nmolACC/g으로 다른 처리구에 비해 높았고 특히 칼슘처리구에 비해 2배 정도 높았다.

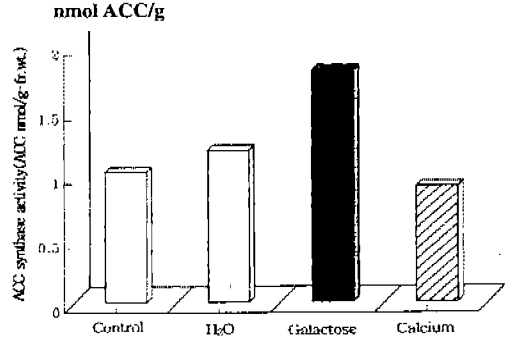


Fig. 4. ACC synthase activities of persimmon fruits by water, calcium chloride and galactose treatments after 72hrs of treatment.

Kende와 Boller(35)는 성숙단계별 토마토의 ACC 함량과 ACC synthase 활성측정 결과 녹숙기에 낮은 수준이 완숙기에 크게 증가하여 과숙기에 다시 감소하며, 수확직후의 ACC함량과 ACC synthase 활성은 과피에 비해 과육에 높다고 보고했다. 한편 Ververidis와 John(36)은 멜론의 수용성 추출물에서 행한 연구에서 ACC에서 에틸렌을 생성하는 ACC oxidase 활성에는 Fe<sup>2+</sup>와 ascorbate가 필요하며, 그후 사과와 정제된 ACC oxidase 활성을 위해서 CO<sub>2</sub>가 요구된다고 하였다(37). Avni 등(38)은 *Trichoderma viride*에서 추출한 xylanase 처리시 담배 조직의 ACC synthase 활성과 ACC 함량 증가를 보고하였고, Bailey 등(39)은 담배 잎에 에틸렌 처리시 에틸렌 생성과 necrosis가 크게 증가한다고 하였다. Boller 등(6)은 변이종 *rin* 토마토는 정상 토마토에 비해 에틸렌 수준, ACC 함량 및 ethylene forming enzyme(EFE)의 활성이 낮음을 보고했다.

따라서 galactose는 생체내에서 ACC synthase를 자극하며 ACC synthase 활성을 증가시켜 ACC의 함량을 증가시키고, ACC는 EFE의 활성을 증가시킴으로써 에틸렌의 생성을 촉진하는 것으로 생각되며 이에 대하여 구체적 연구가 요망된다.

### 감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 산학협동과제(93-06-00-02-3) 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 요 약

칼슘과 galactose가 감과실의 연화에 미치는 영향을 구명하고자 감과실에 칼슘과 galactose를 처리하였을 때 에틸렌 생성, ACC 및 ACC synthase 활성의 변화를 조사하였다. 변색기 감에 칼슘, galactose 및 H<sub>2</sub>O를 처리한 감의 에틸렌 생성은 처리 24시간 후에 일시적으로 증가하였으며, galactose 처리구에서는 72시간 후에 다량의 에틸렌을 생성하였고, 이후에도 다른 처리구에 비해 에틸렌 생성량이 높은 경향이였다. 그러나 대조구를 비롯한 칼슘과 증류수 처리구에서의 에틸렌 생성은 뚜렷한 변화가 없었으며 경향도 유사하였다. Glucose를 처리하였을 때에는 에틸렌 생성은 증류수 처리한 것과 유사한 경향이였다. 처리 72시간 후에 에틸렌의 전구체인 ACC의 함량은 다른 처리구에 비해 galactose 처리구에서 높았다. ACC synthase 활성도 다른 처리구에 비해 galactose 처리구에서 높았으며, 칼슘처리구의 ACC 함량과 ACC synthase의 활성은 다른 처리구에 비해 가장 낮았다.

### 참고문헌

1. Beyer, E.M. (1980) Ethylene action and metabolism. In: Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables. Academic Press, London, 107-121
2. Abeles, F.B. (1973) Ethylene in plant biology. Academic Press, New York, 87-125
3. Gross, K.C. (1985) Promotion of ethylene evolution and ripening of tomato fruit by galactose. *Plant Physiol.*, **79**, 306-307
4. Yang, S.F.(1985) Biosynthesis and action of ethylene. *Hortscience*, **20**, 41-45
5. Brecht, J.F. and Huber, D.J.(1988) Products released from enzymatically active cell wall stimulate ethylene production and ripening in preclimacteric tomato (*Lycopersicon esculentum*, M.) fruit. *Plant Physiol.*, **88**, 1037-1041
6. Boller, T., Herner, R.C. and Kende, H. (1979) Assay for and enzymatic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1-

- carboxylic acid. *Planta*, **145**, 293-303
7. Lincoln, J.E. and Fisher, R.L.(1988) Diverse mechanisms for the regulation of ethylene-inducible gene expression. *Mol. Gen. Genet.*, **212**, 71-75
8. Adams, D.D. and Yang, S.F. (1977) Methionine metabolism in apple tissue implication of S-adenosylmethionine as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Plant Physiol.*, **60**, 892-896
9. Lizada, M.C. and Yang, S.F. (1979) A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Analytical Biochemistry*, **100**, 140-145
10. Mackeehan, W.B.H. (1969) The mechanism of fruits. In; KV Thimann(ed), Senescence in Plants. CRC Press. Boca Raton. FL. 157-183
11. Tingwa, P.O. and Young, R.E. (1975) Studies on the inhibition of ripening in attached avocado (*Persea Americana* Mill) fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **100**, 447-451
12. Hoffman, N.E. and Yang, S.F. (1980) Changes of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid content in ripening fruits in relation to their ethylene production rates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **105**, 492-495
13. Lau, O.L. and Yang, S.F. (1976) Stimulation of ethylene production in the mung bean hypocotyls by cupric ion, calcium ion, and kinetic. *Plant Physiol.*, **57**, 88-82
14. Yang, S.F. and Pratt, H.K. (1978) The physiology of ethylene in wounded plant tissue. In; G. Kahl(eds), Biochemistry of wounded plant tissues. Walter de Gruyter, Berlin, 596
15. Kender, H. and Boller, T. (1981) Wound ethylene 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase in ripening tomato fruit. *Planta*, **151**, 476-481
16. Hyodo, H., Tanaka, K. and Yoshisaka, K. (1985) Induction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase in wounded mesocarp tissue of winter squash fruit and the effects of ethylene. *Plant Cell Physiol.*, **26**, 161-167
17. Yu, Y.B. and Yang, S.F. (1979) Auxin-induced ethylene production and its inhibition by aminoethoxyvinylglycine and cobalt ion. *Plant Physiol.*, **64**, 1074-1077
18. Yu, Y., Adams, D.O. and Yang, S.F. (1980)

- Inhibition of ethylene production by 2,4-dinitrophenol and high temperature. *Plant Physiol.*, **66**, 286-290
19. Wenzel, A.A., Schlautmann, H., Jones, C.A., Kupper, K. and Mehior, H. (1995) Aminoethoxyvinylglycine, cobalt and ascorbic acid all reduce ozone toxicity in mung beans by inhibition of ethylene biosynthesis. *Physiologia Plantarum*, **93**, 286-290
  20. Edwards, J.I., Saltveit, M.K. and Henderson, W.R. (1983) Inhibition of lycopene synthesis in tomato pericarp tissue by inhibitors of ethylene biosynthesis and reversal with applied ethylene. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **108**, 512-516
  21. Jeffery, D., Smith, C., Goodenough, P.W. and Prosser, I. (1984) Ethylene-independent and ethylene-dependent biochemical changes in ripening tomatoes. *Plant Physiol.*, **74**, 32-38
  22. Tobias, R.B., Conway, W.S., Sams, C.E., Gross, K.C. and Whitaker, B.D. (1993) Cell wall composition of calcium-treated apples inoculated with *Botrytis cinerea*. *Phytochemistry*, **32**(1), 35-38
  23. Kitagawa, Y., Kanayama, Y. and Yamaki, S. (1995) Isolation of  $\beta$ -galactosidase fractions from Japanese pear: Activity against native cell wall polysaccharides. *Physiologia Plantarum*, **93**, 545-549
  24. Colclure, G.C. and Yopp, J.H. (1976) Galactose-induced ethylene evolution in mung bean hypocotyls: A possible mechanism for galactose retardation of plant growth. *Plant Physiol.*, **37**, 288-302
  25. YU, Y.B. and Yang, S.F. (1980) Biosynthesis of wound ethylene. *Plant Physiol.*, **66**, 281-286
  26. Gross, K.C. (1982) Promotion of ethylene evolution and ripening of tomato fruit by galactose. *Plant Physiol.*, **86**, 306-307
  27. Kim, J.K., Gross, K.C. and Solomos, T. (1987) Characterization of the stimulation of ethylene production by galactose in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Plant Physiol.*, **85**, 804-807
  28. Waserman, B.P., Eiberger, L.L., McCarthy, K.J. (1986) Biotechnological approaches for controlled cell wall glucan biosynthesis in fruits and vegetables. *Food Technol.*, **40**, 90-94
  29. Watkins, C.B., Harman, J.E., Ferguson, I.B. and Reid, M.S. (1982) The action of lecithin and calcium dips in the control of bitter pit in apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **107**, 262-267
  30. Awada, M and Young, R.E. (1984) Postharvest variation cellulase, polygalacturonase and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Fuerte) fruits in reation to respiration and ethylene production. *Plant physiol.*, **64**, 306-308
  31. Sams, C.E. and Conway, W.S. (1984) Effect of calcium infiltration on ethylene production, respiration rate, soluble polyuronide content, and quality of 'Golden Delicious' apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **109**(1), 53-57
  32. Wills, R.B.H. and Tirmazi, S.I.H. (1982) Inhibition of ripening of avocados with calcium. *Scientia Horticulturatae.*, **16**, 323-330
  33. Kurl, W.R. and Colclasure, G.C. (1977) Effect of galactose and other monosaccharides on IAA treatment in been hypocotyl segments. *Physio. Plant*, **41**, 249-253
  34. Cameron, A.C., Fenton, C.A.L., Yu, Y., Adams, D.O. and Yang, S.F. (1979) *Hortscience*, **14**, 178-180
  35. Kende, H. and Boller, T. (1981) Wound ethylene and 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase in ripening tomato fruit. *Planta*, **151**, 476-481
  36. Ververidis, P. and John, P. (1991) Complete recovery *in vitro* of ethylene-forming enzyme activity. *Phytochemistry*, **30**, 725-729
  37. Dupille, E., Roques, L.A. and Pech, J.C. (1992) *In vitro* stablization and purification of the ethylene-forming enzyme from apple fruits. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **315**, 77-82
  38. AvniAdi, B.A., Bailey, B.A., Mattoo, A.K. and Anderson, J.D. (1994) Induction of ethylene biosynthesis in *Nicotiana tabacum* by a *Trichoderma viride* xylanase is correlated to the accumulation of ACC synthase and ACC oxidase transcripts. *Plant Physiol.*, **106**, 1049-1055
  39. Bailey, B.A., Dean, J.D., and Adersons, J.D. (1990) An ethylene biosynthesis-inducing endoxylanase elicits electrolyte leakage and necrosis in *Nicotiana tabacum* cv Xanthi leaves. *Plant physiol.*, **94**, 1849-1854

---

(1997년 1월 22일 접수)