

## Aminoethoxyvinylglycine 침지처리가 ‘쓰가루’ 사과의 저온저장중 에틸렌발생과 세포벽성분들의 변화에 미치는 영향

강인규<sup>1</sup>·최 철<sup>2</sup>·최동근<sup>3</sup>

<sup>1</sup>상주대학교 환경원예학과, <sup>2</sup>경북대학교 원예학과, <sup>3</sup>전북대학교 생물자원과학부(원예학전공)

### Effect of Aminoethoxyvinylglycine Dipping Treatment on Ethylene Production and Cell Wall Composition of ‘Tsugaru’ Apple Fruits during Cold Storage

In-Kyu Kang<sup>1</sup>, Cheol Choi<sup>2</sup>, and Dong Geun Choi<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Horticulture, Sangju National University, Sangju 742-711, Korea

<sup>2</sup>Division of Plant Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>3</sup>Division of Biological Resources Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

**Abstract.** This study was conducted to determine the influence of postharvest dipping treatment with aminoethoxyvinylglycine (AVG) on ethylene production and composition of non-cellulosic neutral sugars in cell walls of ‘Tsugaru’ apple fruits during storage. Fruits were harvested on August 20, soaked in AVG 50 and 75 mg · L<sup>-1</sup> solution for 5 minutes, and stored in cold storage chamber at 0 ± 1°C for 60 days. Fruit quality factor, ethylene productions, and cell wall component changes were investigated at 20 days interval. As a result, the fruit firmness and acid content were much higher in AVG treated fruits than those of untreated one during 60 days of cold storage. Ethylene production of AVG treated fruits was reduced to the level of 1/10 compared with untreated one. As to the change of non-cellulosic neutral sugars in the cell walls of ‘Tsugaru’ fruits, the major sugar was arabinose and galactose in water, CDTA and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> soluble fractions. The content of arabinose and galactose in untreated fruits increased as the softening of fruits was in progress, but the fruits treated with AVG showed a little change during storage, so it is predicted that these two cell wall compositional sugars were not solubilized by the treatment of AVG. Accordingly, the marketability of ‘Tsugaru’ fruits could remarkably increase when soaking the fruits in AVG solution after harvest.

**Key words :** arabinose, β-galactosidase, cell wall hydrolase, ethylene, galactose

\*Corresponding author

## 서 언

조생종 사과인 ‘쓰가루’ 품종은 그 품질은 우수하나 수확전 낙과가 심하고 특히, 수확후 저장력이 급격히 저하되는 문제가 있다. 이러한 이유로 이 품종의 생리적인 완숙기가 8월 하순임에도 불구하고 대부분의 농가에서는 수확전 낙과 개시전인 7월 하순 혹은 8월 초순에 조기수확하거나 관행수확기 무렵에 수확하는 경우에도 수확 직후에 바로 출하함으로써 저장을 기피하고 있다. 그럼에도 불구하고 추석 무렵에 수확되는 우수한 품질의 사과가 부족한 현 시점에서는 저장을 통하여 ‘쓰가루’의 공급기간을 확대하는 일은 ‘쓰가루’의 홍수출하를 억제하여 소득을 향상시키는데 매우 중요하다. 그리고 이를 위해서는 ‘쓰가루’ 과실의 저장력을 향상시킬 수 있는 방법의 확립이

필요하다.

최근에 사과의 수확전 낙과방지제로서 aminoethoxy- vinylglycine(AVG)가 개발되었고(Abbott Lab. 1996, 1998), 이 AVG의 역할은 에틸렌 생합성 과정에서 ACC synthase의 활성 억제를 통하여 에틸렌 생성을 억제하는 것이다(Boller 등, 1979). 이는 과실 수확전 낙과를 방지하는 목적으로 개발되어 사용되고 있지만 처리된 과실은 에틸렌 발생량이 줄어들고, 경도 저하 및 산 함량의 감소가 억제되어 저장력을 증진시키는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Chun 등, 1997; Park 등, 1999) 그리고 수확한 과실을 AVG 용액에 침지하여 저장하였을 때에도 저장력 증진 효과가 있다(Kang과 Byun, 2002).

일반적으로 과실의 연화는 세포벽 구성성분의 변화에 기인하며, 그 중에서도 펙틴질의 가용화 및 분해와 특히 밀접한 관련이 있는 것으로 알려지고 있다. 특히 많은 과실들은 과실이 연화되면서 과육 세포벽으로부터 galactosyl 잔기가 감소하면서 세포내에는 free galactose가 증가하게 된다(Gross와 Wallner, 1979; Knee, 1978). 이 같은 현상은 galactosyl기를 가진 세포벽 고분자들이  $\beta$ -galactosidase에 의하여 가수분해된 결과 세포벽의 분해가 일어나는 것으로 추정하는 등(Bartley, 1977; Kim 등, 1987; Kang 등, 1999) 세포벽성분의 변화들에 대한 연구들이 이루어져 왔다.

따라서 본 연구에서는 관행수확기에 수확한 ‘쓰가루’ 과실을 AVG용액에 침지처리하여 저장하였을 때 AVG가 과실의 에틸렌 발생량과 세포벽 비섬유성중성당류의 분해에 어떠한 영향을 미치는지를 알고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

‘쓰가루’(*Malus domestica* cv. Tsugaru) 사과를 관행수확일인 8월 20일에 수확하여 AVG를 50 및 75 mg  $\text{L}^{-1}$  농도로 5분 동안 침지처리한 후 무처리 과실과 더불어 온도  $0 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도 85~90%의 저온저장고에 60일 동안 저장하여 20일 간격으로 과신품질을 조사하였다.

### 저장기간별 경도, 가용성 고형물 및 산 함량

과실 경도는 fruit tester(FT011, Italy,  $\phi 8\text{mm}$  plunger)를, 가용성고형물 함량은 Atago 디지털 굴절당도계(DBX-55, Japan)를 사용하여 측정하였고, 총산 함량은 0.1 N NaOH로 적정하여 사과산으로 환산하여 표시하였다.

### 에틸렌 발생량

에틸렌 발생량은 1.8L 용기에 과실 1개를 넣고 밀봉하여  $20^\circ\text{C}$  항온실에서 2시간 방치한 후 head space에서 1mL gas를 채취하여 FID를 장착한 GC (HP 6990)를 이용하여 분석하였다. 시험규모는 처리당 3반복으로 하였다.

### 세포벽물질의 추출

세포벽물질의 추출은 Rose 등(1998)이 행한 방법을 이용하였다. 즉, ‘쓰가루’ 과실로부터 과피를 제거한 과육 100g에 80% 에탄올 250mL를 가하여 균질화한 후  $80^\circ\text{C}$ 에서 10분간 가열처리하여 효소를 불활성화 시켰다. 그리고 80% 에탄올로 3회 여과시켜 세척한 후 동결건조한 것을 세포벽물질(alcohol insoluble substance: AIS)로 하였다. 여기에  $\alpha$ -amylase(3-5units/mg)와 protease(6-8units/mg) 가하여 전분과 단백질을 제거하였다.

#### 세포벽물질의 분획

Redgwell 등(1990)이 행한 방법에 준하여 세포벽물질 1g에서 펙틴 및 헤미셀룰로스를 증류수, 0.05M CDTA, 0.05M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 및 8M KOH를 사용하여 각각의 용매에 의하여 추출된 세포벽물질들을 분획하였다. 각각의 분획들은 증류수로 투석하고 동결건조하여 분석시료로 이용하였다.

#### 세포벽 비섬유성 중성당의 조성 및 정량

각 세포벽 다당류의 비섬유성 중성당의 정량은 Blakeney 등(1983)의 방법에 따라 실시하였다. 중성당은 gas chromatograph[Hewlett Packard 5890, column: capillary column SP-2380 (30m × 0.32mm), injection temp.: 270°C, column temp.: 220°C, detector temp.: 270°C, carrier gas: He 24.5mL/min.]로 측정하였으며, 표준단당류에 해당하는 alditol acetate의 chromatogram과 비교한 후 internal standard인 myo-inositol과의 비율에 의해 각각의 함량을 구한 후 mol %로 환산하였다.

### 결과 및 고찰

#### 과실의 품질변화

과실의 경도를 보면 무처리 과실은 저장기간이 경과됨에 따라 빠른 속도로 감소하여 60일 후에는 3.17kg에서 1.57kg으로 심하게 저하한 반면 AVG 처리 과실에서는 저장기간이 길어질수록 다소 감소하는 경향을 보였으나 저장 60일 후에도 2.22와 2.24kg으로 무처리 과실에 비하여 높은 경도를 유지하였다(Table 1). AVG 처리 과실들 간에는 처리 농도에 따른 경도의 차이는 없었다. 가용성고형물 함량은 무처리와 처리간에 큰 차이를 보이지 않았고, 산 함량은 무처리에 비해 AVG처리 과실이 훨씬 높았다(Table 1). 따라서 수확 후 비교적 낮은 농도의 AVG 침지처리는 ‘쓰가루’ 과실의 저장기간동안 경도 및 산 함량 감소의 억제를 통하여 과실의 저장력을 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

#### 에틸렌 발생량

에틸렌 발생량( $\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ )은 무처리 과실의 경우 수확시 0.9에서 저장 40일 후에 33.4로 급격히 증가되었다가 60일 후에는 23.7로 다소 감소하였다(Table 2). 그러나 AVG 침지처리에서는 저장 60일 후의 에틸렌 발생량이 무처리 과실에 비하여 1/10 수준인 1.4~2.9에 불과하였다. AVG 처리 농도에 따른 에틸렌 발생량의 차이는 크지 않았다. 이러한 결과는 ‘쓰가루’ 과실에 AVG를 수확전 수체 살포한 결과(Chun 등, 1997; Park 등, 1999)와 기체상태의 에틸렌 작용억제제인 1-methylcyclopropene(MCP)를 사과 및 바나나 과실(Fan 등, 1999; Roh 등, 2000)에 처리하여 저장하였을 때 에틸렌 발생량이 억제되어 과실의 저장력을 향상시켰다는 보고와 일치하는 경향을 보였다.

#### 세포벽 비섬유성 중성당들의 변화

AVG침지처리 후 저장기간에 따라 ‘쓰가루’ 사과의 세포벽물질로부터 water, 0.05M CDTA, 0.05M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 8M KOH 및 불용성물질을 사용하여 이들 용매에 가용성인 물질들과 불용성물질을

분획하여 각각의 중성당 함량의 변화를 조사하였다. 측정된 중성당들은 rhamnose, arabinose, galactose, glucose, xylose 및 mannose로서 이들의 함량변화는 다음과 같다. 일반적으로 AIS의 대부분은 세포벽물질인 것으로 알려져 있고(Shewfelt 등, 1971), 또한 water, CDTA 및  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  분획에서 가용화된 다당류들은 주로 세포벽의 중층에서 기인된 것이며(Cutillas-Ilturralde 등, 1993), 그리고 일차세포벽을 구성하고 있는 헤미셀룰로오스의 구성성분은 xylose와 glucose로 구성되어 있다(Huber, 1983; Redgwell 등, 1990, 1991).

‘쓰가루’ 과실의 펙틴물질로 구성된 water와 CDTA 가용성물질에서의 중성당들의 변화를 보면(Table 3, 4), 주요 구성당은 galactose, arabinose 및 glucose로 이루어져 있었다. 그리고 무처리 과실들의 arabinose와 galactose의 함량은 과실이 연화가 진행되면서 증가하는 경향을 보였으나 AVG를 처리한 과실들은 그 함량 변화가 저장전과 비교해서는 다소 증가하였지만 무처리구에 비해 미미한 증가를 보여 세포벽으로부터 이들 당들이 분해되지 않고 세포벽에 결합되어 있는 것으로 추정되고 이는 AVG처리가 과실세포벽의 분해를 지연시키는 것으로 추정할 수 있다. 현재까지 보고된 바에 따르면 과실에서 에틸렌 발생량이 증가하면 세포벽분해효소의 활성도 증가하게 되어 이들 효소가 세포벽 중층을 구성하고 있는 비성유성 다당류들을 분해하여 세포벽을 붕괴시킴으로서 과실의 연화과정이 진행된다고 하였다(DeVeau 등, 1993; Gross와 Sams, 1984; Kang 등, 1988). 따라서 AVG처리는 에틸렌발생량을 급격히 감소시키므로서(Table 2) 세포벽의 중층을 붕괴시키는 세포벽분해효소들의 활성을 감소시켜 세포벽의 붕괴를 억제시키는 기작을 갖는 것으로 이해되었다(Kang 등, 1988).

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  가용성물질(Table 5)은 CDTA 가용성물질과 마찬가지로 주로 펙틴으로부터 유래하는 것으로 추정되며, 주요 구성당은 arabinose와 galactose로 이루어져 있었다. 그리고 galactose의 함량변화는 무처리의 경우 과실의 연화가 진행되면서 수확시보다 감소하는 경향을 보였고 AVG 처리 과실들은 그 함량이 증가하는 경향을 보였다. 무처리 과실들에 비하여 AVG 처리과실들의 함량이 오히려 증가한 것은 water와 CDTA 가용성분획에서 상대적으로 적게 분해되어 세포벽에 결합되어 남아있던 물질들이 분해되어 그 함량이 증가되었던 것으로 추정된다.

8M KOH 가용성 물질은 주로 hemicellulose로부터 유래하는 것으로 알려져 있다(Huber, 1983; Redgwell 등, 1990, 1991). 과실 연화단계별로 이 분획에 존재하는 중성당의 변화를 보면(Table 6), 주요 구성당은 galactose, xylose 및 glucose로 이루어져 있었다. 무처리의 경우 galactose와 xylose의 함량은 과실의 연화가 진행되면서 증가하는 경향을 보였으나, glucose의 함량은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 AVG를 처리한 과실들에서는 galactose, xylose 및 glucose의 함량이 과실연화단계에서 무처리 과실에 비하여 높은 함량을 보여 이들 물질들이 여전히 과실의 세포벽에 많이 결합되어 있어 세포벽의 구조적 안정성을 뒷받침해주고 있는 것으로 추정되었다.

8M KOH로서 추출하고 남은 불용성 물질에서의 중성당 변화를 보면(Table 7), 주요 구성당 대부분이 glucose로 이루어져 있었다. 그리고 다른 중성당들은 과실의 연화가 진행되면서 감소하는 경향을 보였으며 저장 60일 후에는 그 함량이 급격한 감소를 보였다. 그러나 AVG를 처리한 과실들에서는 무처리 과실에 비하여 높은 함량을 보여 이들 물질들이 여전히 과실의 세포벽에 많이 결합되어 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과들을 종합해 볼 때, AVG를 처리한 과실들은 저장기간이 증가할수록 무처리 과실들에 비하여 에틸렌발생량이 감소하였고(Table 2) 과실의 경도저하를 억제할 수 있었다(Table 1). 이러한 에틸렌 발생량 감소가 ‘쓰가루’ 과실의 세포벽을 견고히 하는 비성유성 중성당들이 세포벽으로부터 분해되는 것을 억제할 수 있었던 것으로 추정된다. 특히 펙틴의 주요 구성당인 galactose의 함량이 과실의 연화가 진행되면서 무처리 과실의 경우 많은 증가를 보였는데 이는

$\beta$ -galactosidase의 역할(DeVeau 등, 1993; Kang 등, 1999)이 가장 큰 것으로 생각이 된다. 그리고 이 효소는 펙틴질에서 주사슬인 rhamnagalacturonan과 측쇄결합을 하고 있는 galactan과 arabinogalactan으로부터 galactose를 유리시키므로서 과실의 연화를 촉진시키는 것으로 보고(Bartley, 1977; Bartley와 Knee, 1982; Pressey, 1983; Wallner, 1978)되고 있고, 또한 유리된 galactose는 ACC synthase의 합성을 촉진시켜 에틸렌의 생성을 증가시킬 수 있어(Brecht와 Huber, 1988) 과실의 연화에 아주 밀접한 관련이 있는 효소인 것으로 알려져 있다(Gross, 1983; Kang 등, 1998, 1999). 따라서 AVG처리 과실들은 저장기간 동안 쓰가루 과실의 에틸렌 발생량을 감소시키므로서 세포벽가수분해효소로부터 세포벽이 붕괴되는 것을 지연시켜 과실의 저장력을 향상시킨 것으로 생각이 된다.

## 적 요

본 연구는 ‘쓰가루’ 사과를 AVG용액에 침지하여 저장하였을 때 과실의 에틸렌 발생량과 세포벽을 구성하고 있는 비섬유성 중성당들의 분해에 어떠한 영향을 미치는지를 알고자 실시하였다. 관행수확기인 8월 20일에 과실을 수확하여 AVG 50 및 75mg  $\cdot$  L<sup>-1</sup>용액에 5분간 각각 침지처리하여 무처리 과실과 함께 0  $\pm$  1°C의 저온저장고에 60일 동안 저장하면서 시기별로 과실의 품질, 에틸렌 발생량 및 세포벽구성 물질들의 변화를 조사하였다. 그 결과 저온저장 60일 동안의 과실의 경도와 산 함량은 무처리 과실에 비하여 AVG 처리 과실에서 현저히 높았다. 에틸렌 발생량은 AVG 처리 과실이 무처리 과실에 비하여 1/10 수준으로 감소되었다. AVG 침지처리 후 저장기간에 따른 ‘쓰가루’ 과실의 세포벽 비섬유성 중성당들의 변화를 보면 water, CDTA 및 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 가용성분획에서의 주요 구성당은 arabinose와 galactose이었고, 특히 galactose 함량의 변화가 가장 컸다. 특히 water-soluble fraction에서 무처리 과실들의 arabinose와 galactose의 함량은 과실이 연화가 진행되면서 증가하였지만 AVG를 처리한 과실들은 그 함량 변화가 미미한 증가를 보여 세포벽으로부터 이들 당들이 분해되지 않고 세포벽에 결합되어 있음을 추정할 수 있었다. 따라서 수확후 쓰가루 과실을 AVG용액에 침지처리하였을 때 ‘쓰가루’ 과실의 저장력을 현저히 향상시킬 수 있었다.

주제어 : 세포벽분해효소, 에틸렌, arabinose,  $\beta$ -galactosidase, galactose

## 인 용 문 헌

1. Abbott laboratory technical report. 1996. ReTain<sup>TM</sup>, plant growth regulator soluble powder.
2. Abbott laboratory technical report. 1998. ReTain<sup>R</sup>, plant growth regulator harvest the potential.
3. Bartley, I.M. 1977. A further study of  $\beta$ -galactosidase activity in apple ripening in storage. J. Exp. Bot. 28:943-948.
4. Bartley, I.M. and M. Knee. 1982. The chemistry of textural changes in fruit during storage. Food Chem. 9:47-58.
5. Blakeney, A.B., P.J. Harris, R.T. Henry, and B.A. Stone. 1983. A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. Carbohydr. Res. 113:291-299.
6. Boller, T., R.C. Hener, and H. Kende. 1979. Assay for and enzymatic formation of an ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. Planta 145:293-303.
7. Brecht, J.K. and D.J. Huber. 1988. Products released from enzymatically active cell wall stimulate ethylene production and ripening in preclimacteric tomato fruit. Plant Physiol. 88:1037-1041.

8. Chun, J.P., M.S. Park, Y.S. Hwang, and J.C. Lee. 1997. Effect of AVG on preharvest drop and fruit quality in 'Tsugaru' apple. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:147-152.
9. Cuillas-Iturralde A., I. Zarra, and E.P. Lorences. 1993. Metabolism of cell wall polysaccharides from persimmon fruit. Pectin solubilization during fruit ripening occurs in apparent absence of polygalacturonase activity. *Physiol. Plant.* 89:369-375.
10. DeVeau E., K.C. Gross, D. Huber, and A. Watada. 1993. Degradation and solubilization of pectin by  $\beta$ -galactosidase purified from avocado mesocarp. *Physiol. Plant.* 87:279-285.
11. Fan X., S.M. Blankenship, and J.P. Mattheis. 1999. 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(6):690-695.
12. Huber, D.J. 1983. The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Hort. Rev.* 5:169-219.
13. Gross, K.C. 1983. Changes in free galactose *myo*-inositol and other monosaccharides in normal and non-ripening mutant tomatoes. *Phytochem.* 22:1137-1139.
14. Gross, K.C. and C.E. Sams. 1984. Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening: a species survey. *Phytochem.* 23:2457-2461.
15. Gross, K.C. and S.J. Wallner. 1979. Degradation of cell wall polysaccharides during tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* 63:117-120.
16. Kang, I.K., K.H. Chang, and J.K. Byun. 1998. Solubilization and depolymerization of pectic and neutral sugar polymers during ripening and softening in persimmon fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:51-54.
17. Kang, I.K., H.Y. Kim, H.J. Kweon, and J.K. Byun. 1999. Changes in ethylene production, respiration rates and cell wall hydrolase activities during storage of apples. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:451-454.
18. Kang I.K. and J.K. Byun. 2002. Effect of aminoethoxy- vinylglycine dipping treatment on storability of 'Tsugaru' apple fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 33:306-308.
19. Kim J.K., K.C. Gross, and T. Solomos. 1987. Characterization of the stimulation of ethylene production by galactose in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Plant Physiol.* 85:804-807.
20. Park, M.Y., H.J. Kweon, I.K. Kang, and J.K. Byun. 1999. Effects of AVG application on harvest time extension and storability improvement in 'Tsugaru' apple. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:577-580.
21. Pressey, R. 1983.  $\beta$ -Galactosidase in ripening tomato. *Plant Physiol.* 71:132-135.
22. Redgwell, R.J., L.D. Melton, and D.J. Brasch. 1990. Cell wall changes in kiwifruit following postharvest ethylene treatment. *Phytochem.* 29:399-407.
23. Redgwell, R.J. 1991. Cell wall polysaccharides of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*): effect of ripening on the structural features of cell wall materials. *Carbohydrate Res.* 209:191-202.
24. Roh, K.A., K.C. Son, B.C. In, and E.C. Sisler. 2000. Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene on the action mechanism and ripening in banana. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:526-530.
25. Rose, J.K.C., K.A. Hadafield, J.M. Labavitch, and A.B. Bennett. 1998. Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit. *Plant Physiol.*, 177:345-361.
26. Shewfelt, A.L., V.A. payter, and J.J. Jen. 1971. Textural changes and molecular characteristics of pectin constituent in ripening peaches. *J. Food Sci.* 36:573-575.
27. Wallner, S.J. 1978. Apple fruit  $\beta$ -galactosidase and softening in storage. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103:364-366.

**Table 1.** Effects of AVG dipping treatment on fruit quality of 'Tsugaru' apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	Treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Flesh firmness (kg/Φ8 mm)	Soluble solids (°Brix)	Acidity (%)
At harvest	Untreated	3.17 d <sup>2</sup>	12.6 b	0.33 d
20	Untreated	2.44 b	12.7 bc	0.27 c
	50	2.85 c	12.3 a	0.29 c
	75	2.80 c	12.4 a	0.29 c
40	Untreated	2.10 b	12.7 bc	0.22 b
	50	2.60 c	12.8 bc	0.26 c
	75	2.72 c	12.6 b	0.27 c
60	Untreated	1.57 a	12.8 c	0.15 a
	50	2.24 b	12.9 c	0.22 b
	75	2.22 b	12.6 b	0.21 b

<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P=0.05$

**Table 2.** Effects of AVG dipping treatment on ethylene production of ‘Tsugaru’ apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	Treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Ethylene production (μL kg <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup> )
At harvest	Untreated	0.87 a <sup>2</sup>
20	Untreated	16.6 c
	50	1.1 a
	75	1.8 a
40	Untreated	33.4 e
	50	2.4 b
	75	2.8 b
60	Untreated	23.7 d
	50	1.4 a
	75	1.9 ab

<sup>2</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P=0.05$

**Table 3.** Changes in non-cellulosic neutral sugar contents of water-soluble material(WSM) extracted from cell wall materials on AVG dipping treatment of ‘Tsugaru’ apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	AVG treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Non-cellulosic neutral sugars (10 mg-WSM)					
		Rham <sup>2</sup>	Ara	Gal	Man	Xyl	Glu
(mol %)							
At harvest	Untreated	4.37	42.13	30.28	2.70	2.25	78.05
20	Untreated	7.11	51.78	56.58	2.34	6.15	76.22
	50	4.74	40.53	37.48	3.06	3.75	87.41
	75	5.10	43.98	39.37	2.52	3.30	67.58
40	Untreated	6.01	58.88	58.56	2.16	2.40	31.44
	50	6.74	48.93	40.18	3.24	5.70	34.24
	75	8.20	49.23	38.20	3.96	6.30	36.67
60	Untreated	8.38	51.88	52.08	2.70	5.85	40.55
	50	8.20	45.33	38.92	3.42	5.10	29.91
	75	10.02	48.84	39.10	3.60	6.45	23.07

<sup>2</sup>Rham, Rhamnose; Ara, Arabinose; Gal, Galactose; Glc, Glucose; Xyl, Xylose; Man, Mannose

**Table 4.** Changes in non-cellulosic neutral sugar contents of CDTA-soluble material (CSM) extracted from cell wall materials on AVG dipping treatment of 'Tsugaru' apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	AVG treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Non-cellulosic neutral sugars (10 mg-CSM)					
		Rham <sup>z</sup>	Ara	Gal	Man	Xyl	Glu
(mol %)							
At harvest	Untreated	1.09	10.66	6.67	0.36	1.50	49.21
20	Untreated	3.46	21.31	11.53	0.90	2.25	50.10
	50	3.28	18.71	8.79	1.08	2.40	50.65
	75	4.01	17.62	9.00	1.26	3.00	46.42
40	Untreated	3.83	22.97	15.86	0.90	2.40	26.31
	50	3.64	20.72	13.50	1.08	3.45	26.22
	75	6.01	21.57	12.40	1.08	4.50	19.64
60	Untreated	5.28	25.82	16.22	0.90	3.75	22.53
	50	3.46	19.06	12.79	1.62	3.90	12.43
	75	4.19	19.66	10.09	1.44	2.25	9.37

<sup>z</sup>Rham, Rhamnose; Ara, Arabinose; Gal, Galactose; Glc, Glucose; Xyl, Xylose; Man, Mannose

**Table 5.** Changes in non-cellulosic neutral sugar contents of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-soluble material (SSM) extracted from cell wall materials on AVG dipping treatment of 'Tsugaru' apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	AVG treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Non-cellulosic neutral sugars (10 mg-SSM)					
		Rham <sup>z</sup>	Ara	Gal	Man	Xyl	Glu
(mol %)							
At harvest	Untreated	16.03	45.46	41.63	1.26	8.26	10.01
20	Untreated	18.40	53.29	31.17	0.90	10.81	11.60
	50	14.39	45.61	37.57	0.72	11.26	25.95
	75	17.13	43.98	41.99	1.08	10.36	27.39
40	Untreated	17.86	47.62	34.42	0.90	10.51	8.11
	50	17.67	39.69	41.81	1.26	13.21	12.43
	75	19.31	35.58	39.09	0.54	13.81	9.69
60	Untreated	21.14	47.78	35.86	0.90	13.51	9.55
	50	16.58	38.13	38.02	11.89	12.16	6.49
	75	19.86	32.82	33.52	7.39	13.21	7.21

<sup>z</sup>Rham, Rhamnose; Ara, Arabinose; Gal, Galactose; Glc, Glucose; Xyl, Xylose; Man, Mannose

**Table 6.** Changes in non-cellulosic neutral sugar contents of 8M KOH-soluble material (PSM) extracted from cell wall materials on AVG dipping treatment of 'Tsugaru' apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	AVG treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Non-cellulosic neutral sugars (10 mg-PSM)					
		Rham <sup>z</sup>	Ara	Gal	Man	Xyl	Glu



		(mol %)					
At harvest	Untreated	0.60	6.35	13.98	6.19	21.07	43.90
20	Untreated	0.68	7.03	14.50	4.45	22.41	38.36
	50	0.48	10.72	19.21	3.04	25.15	78.29
	75	0.35	15.26	17.50	3.14	24.54	80.12
40	Untreated	0.63	10.48	15.53	3.48	24.42	32.31
	50	0.56	17.67	14.98	4.79	26.76	71.35
	75	0.59	14.38	13.81	6.61	27.14	78.35
60	Untreated	0.78	19.77	17.41	4.09	26.89	24.48
	50	0.58	14.76	10.20	4.92	26.65	71.87
	75	0.61	13.74	17.23	5.26	27.63	62.23

<sup>2</sup>Rham, Rhamnose; Ara, Arabinose; Gal, Galactose; Glc, Glucose; Xyl, Xylose; Man, Mannose

**Table 7.** Changes in non-cellulosic neutral sugar contents of insoluble materials(ISM) extracted from cell wall materials on AVG dipping treatment of ‘Tsugaru’ apple fruits during cold storage.

Storage periods (days)	AVG treatment (mg L <sup>-1</sup> )	Non-cellulosic neutral sugars (10 mg-ISM)					
		Rham <sup>2</sup>	Ara	Gal	Man	Xyl	Glu
		(mol %)					
At harvest	Untreated	0.36	4.65	1.98	0.90	1.50	86.32
20	Untreated	0.18	3.00	1.62	0.54	2.40	77.31
	50	0.18	3.00	1.44	0.54	2.25	81.27
	75	0.18	2.85	1.44	0.36	2.10	69.74
40	Untreated	0.55	3.15	1.26	0.54	1.65	71.72
	50	0.91	7.51	4.51	1.44	6.45	90.28
	75	0.55	5.85	1.62	0.90	4.65	89.92
60	Untreated	0.36	3.45	1.44	0.54	2.25	54.42
	50	0.55	3.15	1.62	0.54	3.15	61.45
	75	0.36	2.25	1.26	0.54	2.10	79.65

<sup>2</sup>Rham, Rhamnose; Ara, Arabinose; Gal, Galactose; Glc, Glucose; Xyl, Xylose; Man, Mannose