

## Effects of Ultrasound and Ascorbic acid Cotreatment on Browning of Fresh-cut 'Tsugaru' Apples

Jeong-Seok Cho<sup>1</sup>, Moon Cheol Jeong<sup>2</sup> and Kwang-Deog Moon<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2</sup>Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

<sup>3</sup>Food and Bio-Industry Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

### 초음파 및 Ascorbic acid 병용처리가 신선절단 '쓰가루' 사과의 갈변에 미치는 영향

조정석<sup>1</sup> · 정문철<sup>2</sup> · 문광덕<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 식품공학부, <sup>2</sup>한국식품연구원, <sup>3</sup>경북대학교 식품생물산업연구소

#### Abstract

The effects of ultrasound and ascorbic acid cotreatment on the browning inhibition and microbial growth of fresh-cut Tsugaru apples were investigated. The prepared samples were dipped in distilled water (Cont) or 1% (w/v) ascorbic acid solution (AA) and were then ultrasonicated in distilled water (US) or 1% (w/v) ascorbic acid solution (AA+US). The samples were then packed in a 0.04mm polypropylene bag (20×15 cm) and were stored at 10°C for eight days. The AA+US treated samples showed high L\* and low a\*, b\* values as well as inactivated PPO activity. The growth of the total aerobic bacteria also inhibited the AA+US treated samples more. The physicochemical properties were not different among all the samples. It was demonstrated in this paper that the ultrasonication treatment with ascorbic acid prevented the enzymatic browning of and microbial growth in fresh-cut Tsugaru apples.

Key words : Fresh-cut, 'Tsugaru' apple, browning inhibition, ascorbic acid, ultrasound

#### 서 론

'쓰가루' 사과는 골든 델리셔스와 다른 품종을 교배하여 육성한 품종이며(1), 과실의 저장성과 가공 적합성이 나빠서 비교적 단기간에 생과로만 소비되고 있다(2). 최소가공(minimally processed)이란 과실 및 채소류의 가공 공정을 최소화하여 신선함을 그대로 제공 할 수 있는 가공 기술로(3), 이러한 기술을 이용한 신선 편이(fresh-cut)제품은 신선함과 편리함에 있어 소비자들의 욕구를 충족시키는 새로운 형태의 시장을 형성하였으며(4), 최근에는 건강에 대한 관심의 증가와 더불어 그 소비가 늘어나고 있는 추세이다(5). 사과의 최소 가공 시 노출되는 절단면은 제품 열화의 주된 요인으로 알려진 효소적 갈변 반응이 빠르게 진행되는 데(6), 이를 해결하기 위한 방법으로는 alginate 코팅과 같은

물리적인 방법(7,8), sodium chlorite를 이용한 화학적인 방법(9), 그리고 ultrasound, ascorbic acid의 물리화학적 병용 처리(10)에 의한 갈변 방지 기술이 최근에 많이 보고되고 있다. 하지만 '쓰가루' 사과에 대한 연구로는 생과 유통용 신선도 유지를 위한 MA포장 방법(11), 수확 전 낙과 방지에 대한 연구(12) 등이 수행되었지만 신선 편이 제품의 품질 유지를 위한 기술에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최소 가공 '쓰가루' 사과의 품질 유지를 위한 방법으로서 초음파와 ascorbic acid의 단용 처리 효과를 확인하고, 병용 처리에 의한 시너지 효과를 검토하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 실험 재료

실험에 사용한 사과는 '쓰가루(Tsugaru)' 품종으로 2011

\*Corresponding author. E-mail : kdmoon@knu.ac.kr  
Phone : 82-53-950-5773, Fax : 82-53-950-6772

년에 경북의 한 농가에서 생산된 것을 구입하여 4°C에서 저장 후 다음 날 시료로 이용하였다.

### 절단 및 갈변저해 처리와 포장

모양이 균일한 사과를 선별 후 8조각으로 사과 슬라이스를 이용하여 절단하였다. 절단된 사과를 1분간 증류수 5 L에 침지한 것을 대조구(이하 Cont), 1% ascorbic acid(w/v) 용액 5 L에 1분간 침지(이하 AA), 증류수 5 L를 채운 초음파 발생기(40 kHz, Daihan Scientific Co, Ltd, Korea)에 1분간 초음파 처리(이하 US)하였고, 병용처리(이하 AA+U.S)는 초음파 발생기에 1% ascorbic acid(w/v) 용액 5 L를 채우고 US구와 같은 방법으로 실시하였다. 갈변저해 처리를 한 절단 사과는 종이 타월로 물기를 제거하고 0.04 mm 두께의 polypropylene bag (20×15 cm)에 넣고 열접합 포장 후 10°C에서 8일 동안 저장하면서 품질 변화를 측정하였다.

### 색도 측정

사과 절단면의 색도는 백색판( $L^* = 97.79$ ,  $a^* = -0.38$ ,  $b^* = 2.05$ )을 이용하여 보정을 한 colorimeter (CR-400, Minolta, Japan)로  $L^*$ (lightness),  $a^*$ (redness),  $b^*$ (yellowness) 값의 변화를 각각 측정하였다.

### PPO 활성 측정

Polyphenol oxidase 활성은 Arias 등(13)의 방법을 응용하여 측정하였다. 절단 사과에 polyvinylpyrrolidone (PVPP, 50 g/L)을 첨가한 50 mM의 potassium phosphate buffer (pH 5)를 가하여 균질화한 후 원심분리(18,000 g, 4°C, 30분)해서 얻은 상등액을 조효소액으로 사용하였다. 50 mM potassium phosphate buffer 1.5 mL에 조효소액 0.3 mL을 가하고, 100 mM catechol 용액 0.2 mL을 넣어 혼합한 즉시 spectrophotometer (Optizen 2120UV, Mecasys, Korea)로 420 nm에서 5분간 흡광도의 변화를 측정하였다. PPO 활성은 1분당 흡광도가 0.001 변하는 것을 1 unit (U)으로 하였다.

### 총균수 측정

총균수의 측정은 사과 절단면을 얇게 자른 1 g에 0.1% peptone(Difco, Detroit, USA) 9 mL를 가하여 1분간 마쇄시킨 후 단계별로 희석한 액 1 mL를 건조필름(PAC, 3M Center, St Paul, MN, USA)의 내부에 접종 후 35°C에서 48시간 동안 배양하였다. 배양 후 생성된 colony를 계수한 총균수를 log cfu/g으로 나타내었다. 실험에 사용된 모든 기구는 121°C에서 1시간 동안 건열멸균 한 것을 사용하였다.

### 포장 내부의 가스 분석

포장 내부 산소와 이산화탄소의 농도는 DualTrak oxygen/carbon dioxide analyzer (Model 902D, Quantek

Instruments, Northboro, MA, USA)를 이용하여 측정하였다.

### 총 가용성 고형분 함량, 적정산도 및 pH 측정

가용성 고형분 함량은 절단 사과를 착즙하고 여과한 액을 굴절당도계(Master-α, Atago Co, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 적정산도는 절단 사과를 증류수와 함께 균질화 한 후 100 mL로 정용하여 여과한 액을 0.1 N NaOH로 pH 8.3이 될 때까지 적정하였다. 소비된 0.1 N NaOH의 양을 사과산(malic acid)으로 환산하여 나타내었다. pH는 시료와 증류수를 동일 비율로 혼합 후 마쇄하여 그 여과액을 pH meter (Delta 320, Mettler-Toledo, Inc, Shanghai, China)로 측정하였다.

### 통계처리

실험 결과는 색도만 30 반복하였고, 그 외 모든 실험 결과는 3 반복하였다. 결과 값을 SPSS software(19.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 분산분석과 Duncan's multiple range test( $p < 0.05$ )를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 색도 변화

저장 기간 중 초음파와 ascorbic acid를 처리함에 따른 색도의 변화를 Table 1에 나타내었다. 저장 기간이 길어짐에 따라 모든 처리구에서  $L^*$ 값이 감소하는 경향을 보였다.

**Table 1. Changes in color of apple slices in relation to ascorbic acid and ultrasound treatments during storage at 10°C**

	storage period (day)	treatment <sup>1)</sup>			
		Cont	AA	US	AA+US
$L^*$	0	81.37±0.92 <sup>2)</sup>	80.42±1.53 <sup>b</sup>	81.03±0.97 <sup>a</sup>	81.44±1.31 <sup>a</sup>
	2	78.19±2.00 <sup>c</sup>	79.97±1.4 <sup>ab</sup>	79.34±0.81 <sup>b</sup>	80.26±1.30 <sup>a</sup>
	5	78.23±1.18 <sup>b</sup>	79.42±1.58 <sup>a</sup>	78.05±1.27 <sup>b</sup>	80.02±1.55 <sup>a</sup>
	8	75.89±1.37 <sup>c</sup>	77.22±1.79 <sup>b</sup>	76.20±2.39 <sup>c</sup>	78.22±1.36 <sup>a</sup>
$a^*$	0	-4.26±0.21 <sup>a</sup>	-5.06±0.60 <sup>c</sup>	-4.66±0.59 <sup>b</sup>	-4.84±0.88 <sup>bc</sup>
	2	-2.35±0.53 <sup>a</sup>	-3.72±0.59 <sup>c</sup>	-3.28±0.39 <sup>b</sup>	-4.05±0.53 <sup>d</sup>
	5	-2.07±0.80 <sup>a</sup>	-2.82±0.66 <sup>c</sup>	-2.34±0.40 <sup>b</sup>	-2.84±0.56 <sup>a</sup>
	8	-0.58±0.85 <sup>a</sup>	-1.57±0.85 <sup>b</sup>	-1.50±0.60 <sup>b</sup>	-2.10±0.78 <sup>c</sup>
$b^*$	0	13.53±1.12 <sup>a</sup>	13.44±1.09 <sup>a</sup>	13.06±0.94 <sup>a</sup>	13.38±1.97 <sup>a</sup>
	2	18.97±1.70 <sup>a</sup>	15.75±1.34 <sup>b</sup>	17.50±1.96 <sup>ab</sup>	15.79±1.42 <sup>b</sup>
	5	20.96±2.64 <sup>a</sup>	17.99±1.20 <sup>c</sup>	20.30±1.67 <sup>b</sup>	16.66±1.57 <sup>c</sup>
	8	21.18±1.48 <sup>a</sup>	19.28±1.23 <sup>b</sup>	19.87±1.53 <sup>b</sup>	18.46±1.34 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Cont, control; AA, dipped 1% ascorbic acid; US, treated ultrasound at 40kHz in distilled water; AA+US, treated ultrasound at 40kHz in 1% ascorbic acid.

<sup>2)</sup>Means±SD(n=30) with different letters are significantly different at 5% level.

데, AA 단일 처리구와 AA+US 처리구에서는 보다 높은 L\*값이 유지되었고, AA+US 처리구는 저장 마지막 날까지 유의적으로 가장 높은 L\*값과 가장 낮은 a\*값을 유지하였다. 다른 품종인 '홍옥' 사과로 실험한 논문에서도 저장 기간이 늘어남에 따라 AA+US 처리구에서 가장 높은 L\*값을 보인다고 보고 된 바 있다(14). 신선 편이 사과의 관능적 품질 변화의 중요한 원인은 절단 표면의 갈변인데(15), 신선 편이 과실과 채소류에서는 갈변이 진행됨에 따라 절단 표면의 L\*값이 감소하고 a\*값이 증가하는 것으로 알려져 있다(16). 따라서 본 연구에서 실시한 ascorbic acid와 초음파 병용처리는 '쓰가루' 품종에서도 품질 유지에 효과적인 것으로 사료된다.

### PPO 활성 변화

신선 절단 사과의 저장 기간에 따른 PPO 활성 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 저장 초기부터 갈변 저해 처리 방법에 따라서 PPO활성이 다른 것으로 나타났는데, 특히 AA+US 처리구는 저장 마지막 날인 8일째까지 유의적으로 활성이 가장 낮은 것으로 확인되었고, AA 처리구는 저장 기간이 길어짐에 따라 활성이 조금씩 증가하였지만 병용 처리구 보다는 높은 활성을 보였다. 대조구와 US 처리구는 모든 저장 기간동안 가장 높은 PPO활성을 보였다. PPO는 갈변 반응의 초기단계인 monophenols이 o-diphenols로, o-diphenols이 o-quinones으로 변하는 과정에 관여하는 산화 효소로 알려져 있다(17,18). PPO활성이 가장 억제 된 AA+US 처리구의 L\*값(lightness)이 저장 기간 동안 가장 높은 것으로 확인된 것과 비교 해 볼 때(Table. 1), 두 데이터 사이에 연관성이 높은 것으로 판단된다.

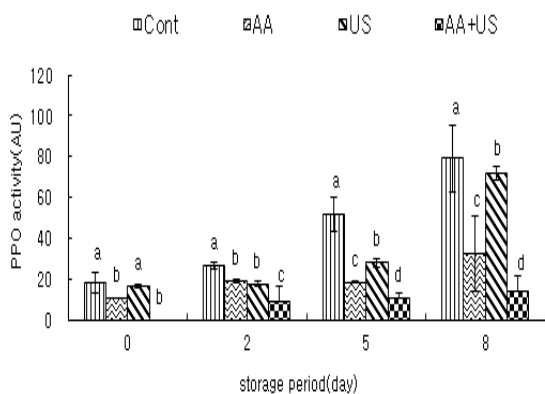


Fig. 1. Changes in polyphenol oxidase activity of apple slices in relation to ascorbic acid and ultrasound treatment during storage at 10°C.

The samples are same as Table 1  
Means±SD(n=3) with different letters are significantly different at 5% level.

### 총균수 변화

최소 가공 방법에 따른 미생물의 성장저해 효과를 Fig.

2에 나타내었다. 모든 시료에서 저장 후기로 갈수록 log cfu/g 값이 증가하는 경향을 보였으며 AA+US 처리구는 저장 초기부터 마지막 날 까지 가장 낮은 값을 보였다. AA 처리구는 AA+US 처리구 다음으로 미생물 성장저해에 효과적인 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 신선편이 제품의 미생물 성장 저해 방법으로 유기산, 유기산과 초음파의 병용 처리가 효과적인 것으로 보고된 논문과 유사한 경향을 나타낸다(19,20). 따라서 ascorbic acid와 초음파의 병용처리는 안전성이 문제가 되고 있는 신선편이 식품에서 미생물 성장 억제에 효과적인 방법이 될 것으로 기대된다.

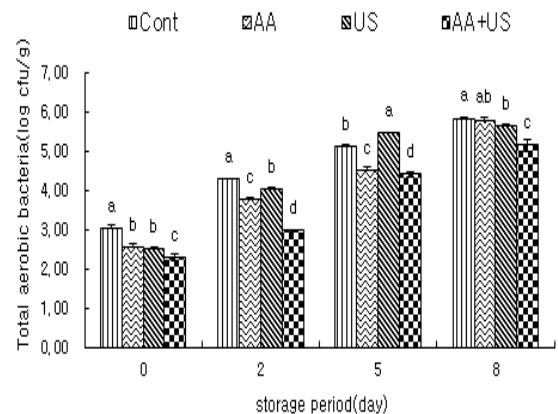


Fig. 2. Changes in total aerobic bacteria of apple slices in relation to ascorbic acid and ultrasound treatment during storage at 10°C.

The samples are same as Table 1  
Means±SD(n=3) with different letters are significantly different at 5% level.

### 포장 내 가스농도 변화

저장 중 포장 내 가스 농도 변화를 Table 2에 나타내었다. O<sub>2</sub>의 농도는 저장 기간이 지남에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 보였다. CO<sub>2</sub> 농도가 감소하는 정도는 AA+US

Table 2. Changes in oxygen and carbon dioxide concentration in the packaging during storage at 10°C

	storage period (day)	treatment <sup>1)</sup>			
		Cont	AA	US	AA+US
Oxygen (%)	0	21.00±0.00 <sup>a2)</sup>	21.10±0.10 <sup>a</sup>	20.50±0.50 <sup>b</sup>	21.00±0.00 <sup>a</sup>
	2	12.60±0.70 <sup>a</sup>	11.00±1.10 <sup>b</sup>	11.50±0.30 <sup>ab</sup>	11.70±0.40 <sup>ab</sup>
	5	8.80±0.50 <sup>a</sup>	9.30±0.30 <sup>a</sup>	8.10±0.10 <sup>b</sup>	7.30±0.40 <sup>c</sup>
	8	7.30±0.20 <sup>ab</sup>	7.40±0.90 <sup>ab</sup>	8.00±0.70 <sup>a</sup>	6.70±0.50 <sup>b</sup>
	0	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.30±0.10 <sup>a</sup>	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.30±0.10 <sup>a</sup>
Carbon dioxide (%)	2	5.50±0.70 <sup>b</sup>	8.40±0.40 <sup>a</sup>	7.80±0.20 <sup>a</sup>	8.30±0.20 <sup>a</sup>
	5	7.50±0.30 <sup>b</sup>	8.20±0.40 <sup>a</sup>	7.60±0.30 <sup>b</sup>	7.80±0.20 <sup>ab</sup>
	8	5.90±0.10 <sup>b</sup>	6.40±0.40 <sup>b</sup>	5.90±0.30 <sup>b</sup>	7.20±0.30 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>same as Table 1

<sup>2)</sup>Means±SD(n=3) with different letters are significantly different at 5% level.

처리구에서 가장 낮았으며 저장 마지막 날인 8일째 CO<sub>2</sub> 농도는 대조구와 US 처리구가 5.90%로 가장 낮았으며, AA+US 처리구가 7.20%로 가장 높은 유의적인 차이를 보였다. 포장 내 CO<sub>2</sub> 농도가 높을수록 미생물 성장 저해에 효과가 있다고 보고 된 바 있는데(21), 본 연구에서도 비슷한 결과가 나타났다. 포장 내 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>의 농도 변화는 사과 절단면에서 발생하는 호흡 작용의 결과로 생각되지만, 처리구에 따라서 CO<sub>2</sub> 농도 변화가 다른 이유에 대해서는 추가적인 연구가 요망 된다.

### 가용성 고형분 함량, 적정산도 및 pH 변화

저장 중 절단사과의 가용성 고형분, 적정산도 및 pH의 변화를 측정된 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다. 가용성 고형분 함량과 적정산도의 변화는 저장 기간에 따라 미미하게 감소하는 경향을 보였지만 시료 간 유의적인 차이를 보이지는 않았다. pH는 저장 5일째까지 시료 간 차이를 보였지만, 저장 마지막 날에는 유의적인 차이를 보이지 않았다.

**Table 3. Changes in physicochemical properties of apple slices in relation to ascorbic acid and ultrasound treatment during storage at 10°C**

	storage period (day)	treatment <sup>1)</sup>			
		Cont	AA	US	AA+US
Total soluble solids (°Brix)	0	10.50±0.20 <sup>a</sup>	10.30±0.20 <sup>a</sup>	10.50±0.20 <sup>a</sup>	10.50±0.2 <sup>a</sup>
	2	10.40±0.00 <sup>a</sup>	10.50±0.20 <sup>a</sup>	10.50±0.20 <sup>a</sup>	10.40±0.40 <sup>a</sup>
	5	10.10±0.20 <sup>a</sup>	10.00±0.00 <sup>a</sup>	10.00±0.40 <sup>a</sup>	10.30±0.20 <sup>a</sup>
	8	10.00±0.00 <sup>a</sup>	9.90±0.20 <sup>a</sup>	10.00±0.00 <sup>a</sup>	10.30±0.20 <sup>a</sup>
Titratable acidity (%)	0	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>	0.21±0.00 <sup>a</sup>	0.22±0.00 <sup>a</sup>
	2	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	5	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>
	8	0.19±0.00 <sup>a</sup>	0.20±0.01 <sup>a</sup>	0.20±0.00 <sup>a</sup>	0.20±0.01 <sup>a</sup>
pH	0	3.83±0.01 <sup>a</sup>	3.79±0.02 <sup>b</sup>	3.81±0.02 <sup>ab</sup>	3.80±0.01 <sup>ab</sup>
	2	3.87±0.02 <sup>b</sup>	3.83±0.02 <sup>c</sup>	3.94±0.02 <sup>a</sup>	3.77±0.01 <sup>d</sup>
	5	3.88±0.00 <sup>b</sup>	3.81±0.01 <sup>c</sup>	3.91±0.01 <sup>a</sup>	3.79±0.03 <sup>c</sup>
	8	3.94±0.06 <sup>a</sup>	3.88±0.03 <sup>a</sup>	3.92±0.03 <sup>a</sup>	3.94±0.02 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup> same as Table 1

<sup>2)</sup> Means±SD(n=3) with different letters are significantly different at 5% level.

## 요 약

신선절단 ‘쓰가루’ 사과의 갈변과 미생물 성장 저해에 대해 ascorbic acid와 초음파 처리의 효과를 조사하였다. 사과를 8조각으로 자르고, 1분간 증류수에 침지(Cont), 1분 동안 1% ascorbic acid에 침지(AA), 1분 동안 초음파 처리

(US), 또는 1분 동안 1% ascorbic acid용액으로 초음파 처리(AA+US) 후 0.04 mm polypropylene film으로 열접합 포장하고, 8일 동안 10°C에서 저장하면서 품질 변화를 분석하였다. AA+US 처리구에서 저장 마지막 날까지 가장 높은 L\*값과 낮은 a\*, b\*값을 보였고, polyphenoloxidase 활성 또한 가장 억제 된 것으로 나타났다. 총균수의 변화는 저장 초기부터 마지막 날까지 AA+US 처리구에서 미생물 성장이 가장 저해된 것으로 나타났다. 가용성 고형분 함량, 적정산도 및 pH 등은 처리조건에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 ascorbic acid와 초음파의 병용 처리는 신선 절단 사과의 효소적 갈변을 억제하고, 미생물 성장을 저해하는 효과를 가지는 것으로 확인되었다.

## 감사의 글

본 논문은 2011년 농림수산식품부 농림기술개발사업의 연구비 지원으로 이루어진 결과이며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Kim BS, Kim WO, Kim DC (1999) Freshness prolongation of 'Tsugaru' apple by pressure cooling. Korean J Food Preserv, 6, 365-370
- Chung HS, Lee HD, Kim SY, Lee HC, Jeong HS, Choi JU (2000) Influence of storage atmosphere on quality preservation of 'Tsugaru' apples. Korean J Food Sci Technol, 32, 668-673
- Hwang TY, Jang JH, Moon KD (2009) Quality changes in fresh-cut potato(*Solanum tuberosum* var. *Romano*) after low-temperature blanching and treatment with anti-browning agents. Korean J Food Preserv, 16, 499-505
- Rocha AMCN, Morais AMMB (2003) Shelf life of minimally processed apple(cv. Jonagored) determined by colour changes. Food Control, 14, 13-20
- Chung HS, Toivonen P, Moon KD (2008) Combined effects of vanillin and antibrowning agent on changes of quality and microorganisms in fresh-cut apples. Korean J Food Preserv, 15, 385-389
- Hwang TY, Son SM, Lee CY, Moon KD (2001) Quality changes of fresh-cut packaged Fuji apples during storage. Korean J Food Sci Technol, 33, 469-473
- Cliff M, Toivonen P, Forney C, Liu PT, Lu CW (2010) Quality of fresh-cut apple slices stored in solid and micro-perforated film packages having contrasting O<sub>2</sub>

- headspace atmosphere. *Postharvest Biol Technol*, 58, 254-261
8. Olivas GI, Mattinson DS, Barbosa-Canovas GV (2007) Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. *Postharvest Biol Technol*, 45, 89-96
  9. Lu S, Luo Y, Turner E, Feng H (2007) Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chem*, 104, 824-829
  10. Jang JH, Moon KD (2011) Inhibition of polyphenoloxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chem*, 124, 444-449
  11. Park JD, Hong SI, Park HW, Kim DM (1999) Modified atmosphere packaging of 'Tsugaru' apple (*Malus domestica* Borkh) for distribution. *Korean J Food Sci Technol*, 6, 357-364
  12. Yoo UJ, Kang IK, Kweon HJ, Kim MJ, Kim DH, Lee DH, Byun JK (2006) Usage potentiality of starch pattern index at aminoethoxyvinylglycine treatment to prevent preharvest drop in 'Tsugaru' apple fruits. *Kor J Hort Sci Technol*, 24, 64-69
  13. Arias E, González J, Oria R, Lopez-Buesa P (2007) Ascorbic acid and 4-hexylresorcinol effects on pear PPO and PPO catalyzed browning reaction. *J Food Sci*, 72, 422-429
  14. Jang JH, Moon KD (2010) Effects of combine treatment with ultrasound and ascorbic acid on the storage qualities of fresh-cut 'Jonathan' apples. *Korean J Food Preserv*, 17, 202-207
  15. Pristijono P, Wills RBH, Golding JB (2006) Inhibition of browning on the surface of apple slices by short term exposure of nitric oxide (NO) gas. *Postharvest Biol Technol*, 42, 256-259
  16. Monsalve-Gonzalez A, Barbosa-Canovas GV, Cavaliere RP, McEvily AJ, Iyengar R (1993) Control of browning during storage apple slices preserved by combined methods. 4-hexylresorcinol as anti-browning agent. *J Food Sci*, 58, 797-800
  17. Altunkaya A, Gökmen V (2008) Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chem*, 107, 1173-1179
  18. Eidhin DM, Murphy E, O'beirne D (2005) Polyphenoloxidase from apple (*malus domestica* Borkh. Cv Bramley's seedling): purification strategies and characterization. *J Food Sci*, 7, 51-58
  19. Cha HS, Kim SI, Kim BS, Kim SH, Park SJ, Cho SH, Choi HY (2004) Effect of inhibition on browning and microbial growth of minimally processed lettuce. *Korean J Food Preserv*, 11, 331-335
  20. Sagona HG, Lee SY, Chang PS, Heu SG, Ryu SR, Choi YJ, Kang DH (2011) Combine effect of ultrasound and organic acids to reduce *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* on organic fresh lettuce. *Int J Food Microbiol*, 145, 287-292
  21. Kim SY, Cho JS, Moon KD (2011) Effects of combine treatment with high CO<sub>2</sub> concentration and ascorbic acid on browning of fresh-cut 'Fuji' apples. *Korean J Food Preserv*, 18, 475-480