

Research Report

열수 침지 처리가 치콘 절단면의 적변 억제에 미치는 영향

정현진¹, 강호민^{1,2*}¹강원대학교 원예학과²강원대학교 농업생명과학연구원

Effect of Hot-water Dipping on Inhibiting Red Discoloration of Basal Part in Chicon

Hyun Jin Jung¹ and Ho-Min Kang^{1,2*}¹Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea²Agricultural and Life Science Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract: Hot water dipping test was conducted for chicon to restrict red discoloration of its basal part which impairs the product value during sales. Hot water dipping treatment was given to chicon for 4 min and for 8 min at 38°C and for 2 min and 4 min at 42°C, and for 1 min and 2 min at 45°C, along with control (for one min at 20°C). The red discoloration indices of basal part of chicon during sensory evaluation on the sixth day of storage under the storage temperature at 10°C was lower at 42°C for 2 min, 42°C for 4 min and 45°C for 1 min treatments. The color change value of the basal part in chicon measured by colorimeter showed that the lowest Δa^* and Δh were maintained in the basal part of chicon treated at 42°C for 2 min. Whereas, color changes in 42°C for 2 min and 45°C for 1 min treatments were significantly low as compared with that of control. The contents of total phenolic compounds which are the substances that cause red discoloration of basal part in chicon were lowest at 42°C for 2 min, 42°C for 4 min and 45°C for 1 min treatments. The activity of phenylalanine ammonia lyase (PAL) responsible for in the synthesis of phenolic substances was the least in 42°C for 2 min treatment. Whereas, PAL activity of the chicons treated at 42°C for 2 min and at 45°C for 1 min were significantly lower than that of control. However, red discoloration was progressed as similar level with that of control in the basal part of chicon at 45°C for 2 min. The contents of total phenolic compounds and PAL activity in this treatment were not significantly different from those in control. The polyphenol oxidase (PPO) activity which causes red discoloration of cut tissues was low in all the treatments including 42°C and 45°C treatment at which no inhibition effects of the red discoloration of basal part of chicon were observed. When the correlation coefficient between each investigated index was tested, most of them showed high correlation except the PPO activity and particularly and the red discoloration index and sensory evaluation Δh values, and PAL activity and total phenolic compounds content were $r = 0.927^{**}$, and $r = 0.942^{**}$, respectively.

Additional key words: correlation, phenolic compounds, phenylalanine ammonia lyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO), Δa^* , Δh

서 언

치콘은 저온처리 된 치커리(*Cichorium intybus* L.) 뿌리에 서 틈은 짝으로 18°C에서는 수확까지 22일이면 가능하여

농약 사용 없이 재배할 수 있어 친환경 농산물로 이용할 수 있다(Bae et al., 2005; Park, 1994). 최근 다양한 식재료에 대한 관심이 커지면서 국내 치콘 소비도 증가하고 있는데 현재 수입되고 있는 치콘은 유럽에서 생산되기 때문에 유통

*Corresponding author: hominkang@kangwon.ac.kr

※ Received 8 October 2013; Revised 28 November 2013; Accepted 5 February 2014. 본 연구는 한국과학재단 기본연구지원사업(C1006679-01-03)의 지원에 의해 수행되었음.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

에 장시간이 소요된다. 수확한 치콘은 뿌리쪽 절단부분이 공기 중에 노출되면 몇 일 이내에 절단면에 붉은 반점이 생겨 상품성이 저하되는데(Vanstreels et al., 2002), 이와 같은 농산물 절단면의 갈변 등 색변화는 절단면에 노출된 페놀물질의 산화가 원인으로 페놀물질 합성에 관여하는 phenylalanine ammonia lyase(PAL, EC 4.3.1.5)과 페놀물질을 산화시키는 polyphenoloxidase(PPO; E.C. 1.14.18.1)에 의해 진행된다(Saltveit, 2000). 이 중 PPO의 활성은 과일·채소류의 절단면 색변화 정도를 판단하는 주요 지표 중의 하나로 이용되고 있는데, PPO는 결구상추 등에서 절단면의 phenol 화합물을 산화시켜 갈변을 유도시킨다(Kavrayan and Aydemir, 2001; Rodriguez-Lopez et al., 2001; Takahashi et al., 1996; Van Gelder et al., 1997). 또한 PAL 활성도 결구상추의 갈변에 관여하는데, 열처리를 했을 때 PAL activity가 저하되면서 갈변이 억제되었다(Kang and Saltveit, 2003). 이러한 열처리의 갈변 억제 효과는 상추를 대상으로 Hong et al.(2004), Loaiza-Velarde et al.(1997), 그리고 Saltveit and Qin(2008) 등이 보고한 바 있다.

치콘 절단면 적변에 관한 연구는 미비하였는데, Charles et al.(2008)는 저산소와 고이산화탄소의 MA 조건 처리에서 지연된다고 하였다. 치콘과 같은 종인 엔디브(*Cichorium intybus* L.)의 신선편이의 저장 중 발생하는 적변은 CA 조건과 heat shock(46°C/120s)처리에서 지연되며, heat shock(열처리)는 PAL의 전사를 억제하기 때문이라고 하였다(Salman et al., 2008). 그 밖에도 저장 중에 발생하는 엔디브 줄기의 적변이 acetic and propionic acid 처리로 억제된다고 한다(Castañer et al., 1999). 그러나 치콘은 친환경 농산물 형태로 생산이 가능하기 때문에 화학제 처리보다는 열처리와 같은 친환경적 방법이 더욱 적합하다고 생각된다.

이에 본 연구는 치콘의 저장 중 품질 유지를 위해 치콘의 절단면 적변 방지를 위한 열처리 기술 개발과 열처리의 적변 방지 원리를 알아보고자 수행하게 되었다.

재료 및 방법

강원도 농업기술원에서 실험재배한 치콘(*Cichorium intybus* L.)을 뿌리째로 실험실로 옮긴 후 열처리 직전에 뿌리를 절단하였다. 치콘 절단부의 적변 방지를 위한 열수 처리는, 뿌리부분 절단 후 치콘의 절단면이 잠기도록 하여 1cm 깊이의 향온 수조에 침지처리하였다. 열수침지처리는 대조구인 20°C에서 1분간 처리하였고, 38°C에서는 4분과 8분, 42°C에서는

2분과 4분 그리고 45°C에서는 1분과 2분 동안 실시하였다. 침지처리 후 치콘 절단면의 수분을 거즈로 제거한 후 열수처리로 상승한 절단부위의 온도를 낮추기 위해 대조구를 포함한 모든 치콘을 5°C 강제 송풍(4m·s⁻¹) 조건에서 적외선 온도계(E-39650-20, Cole Parmer Co., USA)로 측정하여 절단면의 온도가 10°C 이하로 떨어진 half cooling time까지 예냉하였다(Jung et al., 2010). 예냉처리 후 치콘은 10°C, 85% RH 조건에서 유공필름(50µm 두께의 PP film, ø 6mm 18holes/m²)에 포장하여 저장하였다.

치콘 절단면의 적변정도를 10°C 저장 중에 색차계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 조사하였는데, 각 측정일의 a*와 hue angle 값을 초기값에 대한 차이로 표시한 Δa*값과 Δh값으로 나타내었다. 또한 절단면의 적변 정도를 육안으로 조사하여 적변지수로 나타내었는데, 사전에 훈련된 패널 6명이 적변정도에 따라 5점 척도법으로 평가하였다. 평가기준은 절단직후 적변이 없는 상태를 1점, 다소 진행되었으나 판매가능상태를 3점, 적변이 심하게 진행된 상태를 5점으로 평가하였다(Peiser et al., 1998).

열처리 저장 후 6일째 치콘 절단면 조직의 페놀함량과 PAL과 PPO의 활성을 비교하였다. 페놀함량은 Folin & Ciocalteu's phenol reagent를 사용하여 gallic acid를 표준물질로 하여 UV-spectrophotometer(S-3100, SCINCO, Korea)로 765nm에서 측정하였다(Kang and Saltveit, 2003). PAL 활성은 Ke and Saltveit(1989)의 방법을 수정하여 측정하였는데, 5mM 2-mercaptoethanol과 PVPP(polyvinyl-polyprolidone)이 포함된 50mM borate buffer(pH 8.5)에 치콘 적변부위 3g을 넣고 균질화하여 원심분리(23,000g, 4°C)하였고, 상정액에 50mM L-phenylalanine을 첨가하여 40°C에서 1시간 동안 반응시킨 후 UV-spectrophotometer로 290nm에서 흡광도를 측정하여 나타내었다. PPO 활성은 Luh and Phithakpol(1972)와 Takahashi et al.(1996)의 방법을 변형하여 사용하였는데, 치콘 적변부위를 PVPP를 첨가한 0.1M potassium phosphate buffer (pH 7.0)에 넣어 균질화한 후 원심분리(23,000g, 4°C)하여 얻은 상정액에 0.5M catechol과 반응시킨 후 UV-spectrophotometer로 410nm에서 흡광도를 측정하여 나타내었다. 실험결과와 통계처리는 Microsoft Excel 2010 program을 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

10°C 저장 중 치콘 뿌리쪽 절단면의 색변화를 색차계로

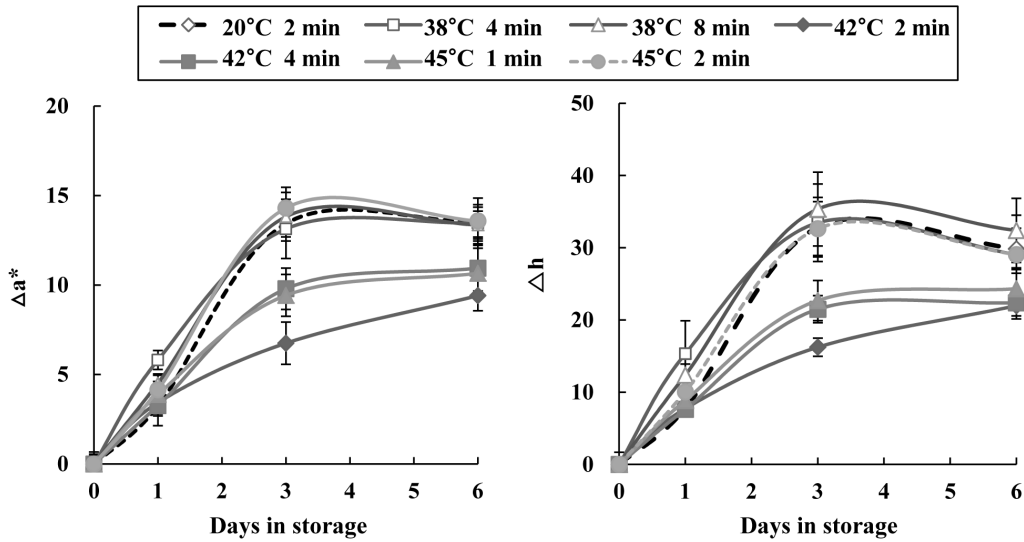


Fig. 1. Changes of the color a^* value and hue angle of the basal part of chicon treated with various hotwater dipping. Vertical bars represent \pm SE of the means ($n = 8$).

측정했을 때 Δa^* 값과 Δh 값 모두 38°C 처리구들은 대조구와 유사한 수준을 보였으나, 42°C의 2분과 45°C의 1분 처리구에서는 대조구보다 유의 있게 낮았으며, 42°C 2분 처리에서 가장 낮았다. 그러나 열수처리 중 가장 높은 온도에서 가장 오랫동안 처리한 45°C의 2분 처리구는 대조구와 유사한 수준의 색변화를 나타내었다(Fig. 1). 열처리에 의한 식물 조직의 적변 억제효과는 여러 작물에서 보고된 바 있는데 결구상추(Saltveit and Qin, 2008)의 경우 열처리에 의한 적변 억제는 일정온도 이상에서 효과가 나타나며 처리온도가 높을수록 처리시간을 짧게 하여야 유사한 효과를 얻는다고 하였다. 그러나 지나친 고온의 장시간처리는 효과가 떨어진다고 하였는데, 본 실험결과와 일치하는 보고였다.

10°C에 저장 6일째 관능 평가한 절단면의 적변지수는 Δa^* 와 Δh 값과 유사하였는데, 42°C의 2분과 4분 처리 그리고 45°C의 1분 처리에서 낮은 수치를 나타내었다(Fig. 2). 식물 조직의 색변화에 대한 정량적 측정으로 이용되는 Δa^* 와 Δh 값이 관능평가의 결과(Fig. 1)와 차이가 없음을 알 수 있었다. Berset and Caniaux(1983)는 색차계의 측정값이 육안 검사와 고도의 상관관계($r = +0.979$)가 있다고 하였으며, 결구상추에서도 외관상 적변현상과 a^* 와 hue angle 값이 고도의 상관관계를 나타내었다(Peiser et al., 1998).

열수처리로 인한 페놀물질 함량 변화를 알아보기 위해, 10°C 저장 6일째에 치콘 절단면의 페놀 함량을 비교하였는데, 적변 억제 효과를 나타냈던 42°C의 2분과 4분 처리 그리고 45°C의 1분 처리에서 낮게 나타내었다(Fig. 3). 이는 관

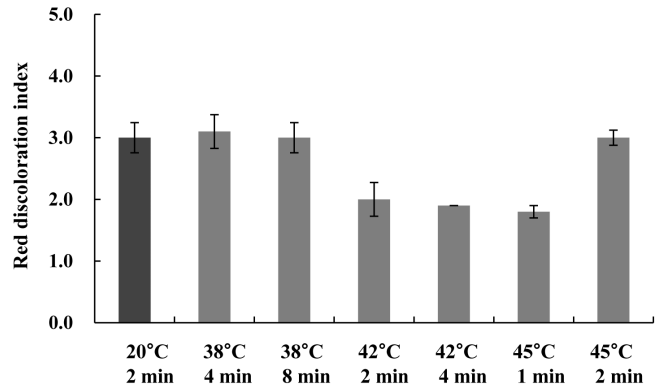


Fig. 2. Red discoloration index of the basal part of chicon treated with various hotwater dipping after 6 days of storage at 10°C. The red discoloration degree of chicon cutting plane was evaluated that 1; none, 3; moderate and marketable, 5; severe red discoloration. Vertical bars represent \pm SE of the means ($n = 6$).

능평가 및 색차계 측정결과와 비교하여 보았을 때 페놀함량이 낮은 것은 열수처리에 의하여 치콘 절단면 조직의 적변 발생이 억제되는 것을 의미하였다. In and Kim(2008)도 예냉에 의한 적변 방지 연구에서 페놀물질 함량과 관능평가와 유사한 경향을 보였다고 하였다. 이러한 결과를 고려하면 치콘 절단면에 대한 열수처리는 heat shock protein synthesis와 같은 새로운 대사 작용을 유도하여 적변에 관여하는 새로운 물질 합성을 저해한 결과라 사료된다. 이러한 결과는 Kang and Saltveit(2003)가 열처리한 결구상추의 적변억제 연구에서 보고한 바 있다.

절단이나 상처난 식물조직의 적변은 PAL 활성으로 인한 페놀물질함량증가 그리고 PPO 활성 증가로 인한 페놀물질이 산화로 발생하기 때문에(Ke and Saltveit, 1989), 열수처리로 인한 PAL과 PPO 활성 변화를 조사하였다. 먼저 페놀물질 생성에 관여하는 PAL의 활성은, 앞선 페놀함량 측정의 결과값과 유사하게 42°C 처리구들과 45°C 1분 처리에서 낮았는데, 이 중 가장 낮았던 45°C 2분 처리구의 PAL 활성은 대조구의 20% 수준이었다(Fig. 4). 기존 보고에서 절단면의 색변화 억제하는 열처리는 엔디브에서는 PAL의 합성을 억제하고(Salman et al., 2008), 결구상추에서는 PAL 활성 저하(Kang and Saltveit, 2003)를 가져온다고 하였다. 다음으로 polyphenol oxidase(PPO)의 활성 변화를 알아보았다. 일반적으로 결구상추 등에서 조직손상 등 상처가 발생하면 PAL에 의해 phenylpropanoid 대사가 유도되어 phenol 화합

물이 축적되게 되고, PPO는 이를 산화시켜 적변을 유도하는데, 이 때문에 PPO의 활성은 신선 과일과 채소류의 적변 정도를 판단하는 주요 지표 중의 하나로 이용되어 왔다(Kavrayan and Aydemir, 2001; Loaiza-Velarde et al., 1997; Rodriguez-Lopez et al., 2001; Takahashi et al., 1996; Van Gelder et al., 1997). 본 실험에서도 42°C와 45°C 처리구들에서 낮은 PPO 활성을 나타내었는데, 그 중에서 45°C 1분과 2분 처리가 가장 낮은 PPO 활성을 나타내었다(Fig. 5). 이는 치콘의 절단면의 색변화도 신선편이 결구상추(Ke and Saltveit, 1989)의 갈변 현상처럼 공기중에 노출된 절단면의 페놀물질이 polyphenol oxidase에 의하여 산화된 결과라 생각된다. 이상의 적변 관련 두 효소의 활성 변화를 보면, 열수처리로 치콘 절단면의 적변이 지연된 이유는 Saltveit(2000)의 적변 관련 경로에서 볼 때 첫째, 페놀물질 합성에 관여하는 PAL의 활성이 적정수준의 열처리에 의해 저하되어 치콘 절단면의 페놀물질 합성 자체가 억제된 것이며, 둘째, 절단면에 노출된 페놀물질을 산화시키는 PPO의 활성도 열처리에 의해 저하된 것으로 판단되었다.

이상의 적변 관련 조사 항목간의 상관관계를 보면, 관능평가한 치콘절단면의 적변지수는 Δa^* 과 Δh 값과 고도의 상관관계를 보여 색차계의 측정값이 적변 정도를 대표할 수 있음을 알 수 있었는데(Table 1), 결구상추에서도 육안검사와 색차계의 결과가 고도의 상관관계가 있다고 하였다(Berset and Caniaux, 1983; Peiser et al., 1998). 치콘 절단면의 페놀물질 함량은 관능 평가한 적변지수와 Δa^* 값과 높은 상관관계를 보여, 치콘 절단면 적변이 절단으로 노출된 부분의 페놀물질 산화에 의한 결과임을 확인할 수 있었다(Table 1). 그리고 적변의 원인이 되는 페놀물질 함량은 페놀물질 합성

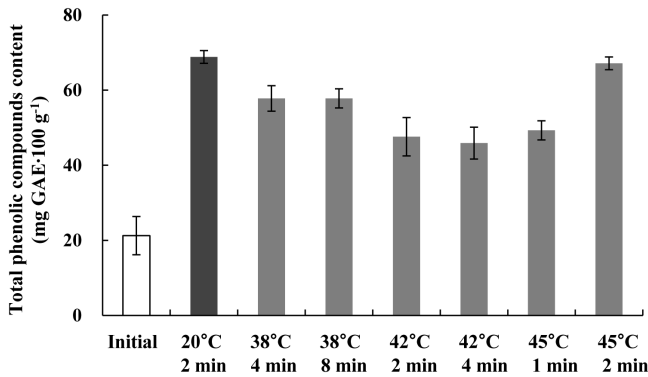


Fig. 3. Total phenol content of the basal part of chicon treated with various hotwater dipping after 6 days of storage at 10°C. Total phenol content was expressed as Molarity gallic acid equivalents/(mg GAE·100 g⁻¹). Vertical bars represent \pm SE of the means (n = 5).

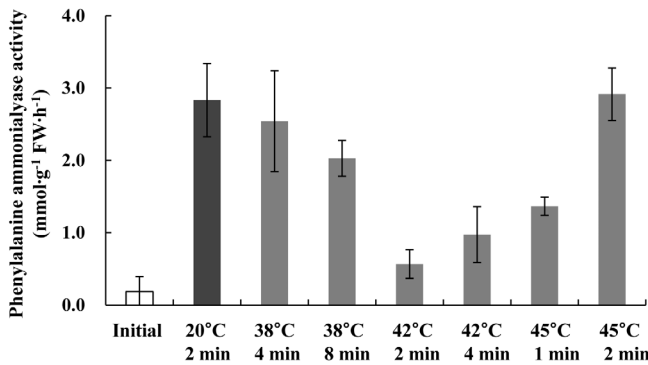


Fig. 4. Phenylalanine ammonia lyase activity of the basal part of chicon treated with various hotwater dipping after 6 days of storage at 10°C. Vertical bars represent \pm SE of the means (n = 5).

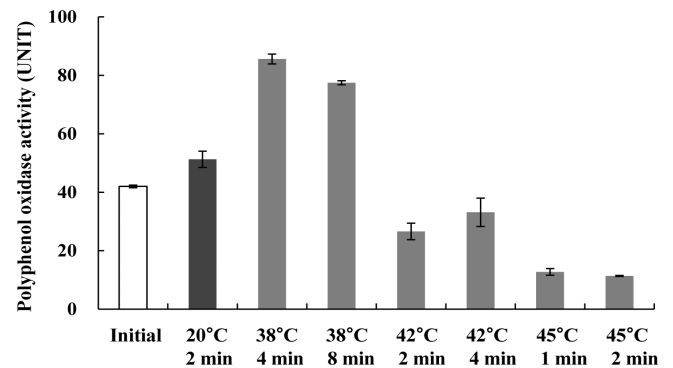


Fig. 5. Polyphenol oxidase activity of the basal part of chicon treated with various hotwater dipping after 6 days of storage at 10°C. Vertical bars represent \pm SE of the means (n = 8).

Table 1. The values for Pearson correlation among factors related red discoloration of the basal part of chicon treated with various hotwater dipping.

	Red discoloration index	Δa^*	Δh	Phenolic compounds	PAL activity	PPO activity
Red discoloration index	1.000					
Δa^*	0.898**	1.000				
Δh	0.927***	0.979***	1.000			
Phenolic compounds	0.859**	0.843**	0.812*	1.000		
PAL activity	0.890**	0.933***	0.908**	0.942***	1.000	
PPO activity	0.613	0.456	0.592	0.201	0.326	1.000

***, ** Significant at $p = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

에 관여하는 PAL 활성과 고도의 상관관계를 나타내었다. 또한 PAL 활성은 페놀물질 함량 이외에도 적변지수와 색차계 측정값과도 높은 상관관계를 보였다. 그러나 PAL과 함께 적변을 유도하는 PPO 활성은 다른 항목과 상관관계가 인정되지 않았으나(Table 1), PPO 활성 값중 적변방지 효과를 나타내지 못했던 45°C 2분 처리를 제외할 경우 적변지수와는 $r = 0.917^{**}$, Δa^* 값과는 $r = 0.814^*$, 그리고 Δh 값과는 $r = 0.850^{**}$ 의 상관관계를 나타내었다(데이터 미표시). 이로 보아 치콘 절단면 적변에 관여 효소들 중에서 PPO 활성은 고온처리에 더 민감한 것으로 판단된다. 재배 중 온도의 스트레스에 대한 PAL와 PPO 활성을 비교한 실험에서도 25°C (대조구)에서 보다 고온스트레스 조건이었던 35°C에서 재배한 토마토 유묘의 PAL 활성은 증가한데 반해 PPO 활성은 4.2배 감소하였다(Rivero et al., 2001).

실험의 결과들을 종합하면, 치콘 절단면의 적변 방지를 위해서는 열수처리방법에서는 여러 가지 적변 관련 조사에서 유의성 있는 효과를 나타낸 42°C 2분-4분 처리가 가장 적절한 것으로 판단된다.

초 록

치콘의 판매 중 상품성 저하의 원인이 되는 치콘 절단면 적변 현상을 억제하기 위해 열수 침지 실험을 실시하였다. 열수침지처리로는 대조구(20°C 1분)과 38°C에서의 4분, 8분, 42°C에서의 2분, 4분, 그리고 45°C에서의 1분, 2분을 두었다. 색차계로 측정한 Δa^* 과 Δh 값은 42°C 2분 처리에서는 가장 낮게 유지되었으며, 42°C의 2분과 45°C의 1분 처리구에서는 대조구보다 유의 있는 낮은 값을 나타내었다. 10°C에 저장 6일째 관능 평가한 절단면의 적변지수는 42°C의 2

분과 4분 처리 그리고 45°C의 1분 처리에서 낮았다. 적변의 원인 물질이 되는 총페놀함량을 저장 6일째 조사하였는데, 이 또한 절단면의 색변화가 적었던 42°C의 2분과 4분 처리 그리고 45°C의 1분 처리에서 낮았다. 페놀물질 함성에 관여하는 PAL 활성은 42°C 2분 처리에서는 가장 낮은 값을 보였으며, 42°C의 2분과 45°C의 1분 처리구에서는 대조구보다 유의 있는 낮은 수치를 보였다. 그러나 가장 강한 열처리였던 45°C의 2분 처리에서는 절단면의 적변이 대조구와 유사한 수준으로 진행되었으며, 페놀함량과 PAL 활성도 대조구와 차이가 없었다. 공기에 노출된 절단조직에서 페놀물질을 산화시켜 적변을 일으키는 PPO의 활성은 42°C와 45°C의 모든 처리구에서 낮았는데, 특히 다른 조사항목에서는 모두 대조구와 유사한 수준을 보였던 45°C의 2분 처리구가 가장 낮은 수치를 보였다. 또한 각 조사항목간 상관관계에서, PPO를 제외한 모든 조사항목간에서는 대부분 고도의 상관관계를 보였으며, 특히 관능평가한 적변지수와 Δh 값은 $r = 0.927^{***}$ 를, PAL 활성과 총 페놀물질 함량과는 $r = 0.942^{***}$ 의 고도의 상관관계를 보였다.

추가 주요어 : 상관관계, 페놀물질, phenylalanine ammonia lyase(PAL), polyphenoloxidase(PPO), Δa^* , Δh

인용문헌

- Bae, J.H., K.W. Park, and H.M. Kang. 2005. Effects of packing materials, light condition and storage temperature on MAP storage of chicon. *J. Bio-Environment Cont.* 14:67-75.
Berset, C. and P. Caniaux. 1983. Relationship between color

- evaluation and chlorophyllian pigment content in dried parsley leaves. *J. Food Sci.* 48:1854-1857.
- Charles, F., C. Guillaume, and N. Gontard. 2008. Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. *Postharvest Biol. Technol.* 48:22-29.
- Castañer, M., I.G. María, M.V. Ruíz, and F. Artés. 1999. Browning susceptibility of minimally processed baby and romaine lettuces. *Eur. Food Res. Technol.* 209:52-56.
- Hong, S.I., S.M. Son, H.H. Lee, and D.M. Kim. 2004. Effect of hot water treatment on storage quality of minimally processed onion. *Kor. Food Sci. Technol.* 36:239-245.
- In, B.C. and J.G. Kim. 2008. Effect of precooling and harvesting at different times on respiration, browning and microbial growth of fresh-cut iceberg lettuce. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 26:258-264.
- Jung, H.J., H.T. Seo, I.L. Choi, T.J. Yoo, J.S. Son, J.H. Won, I.S. Kim, and H.M. Kang. 2010. Effect of Precooling Treatments on the Storability of Chicon during MA storage. *J. Bio-Environment Cont.* 19(4):360-365.
- Kavrayan, D. and T. Aydemir. 2001. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from peppermint (*Mentha piperita*). *Food Chem.* 74:147-154.
- Kang, H.M. and M.E. Saltveit. 2003. Wound-induced PAL activity is suppressed by heat-shock treatments that induce the synthesis of heat-shock proteins. *Physiologia Plantarum* 119:450-455.
- Ke, D. and M.E. Saltveit. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiol. Plant.* 76:412-418.
- Loaiza-Velarde, J.G., F.A. Tomás-Barberán, and M.E. Saltveit. 1997. Effect of intensity and duration of heat-shock treatments on wound-induced phenolic metabolism in iceberg lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 122:873-877.
- Luh, B.S. and B. Phithakpol. 1972. Characteristics of polyphenoloxidase related to browning in cling peaches. *J. Food Sci.* 37:264-268.
- Park, K.W. 1994. Western vegetable. Korea Univ. Publishing, Seoul, Korea. p. 271-281.
- Peiser, G., G. López-Gálvez, M. Cantwell, and M.E. Saltveit. 1998. Phenylalanine ammonia lyase inhibitors control browning of cut lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 14:171-177.
- Rivero, R.M., J.M. Ruiz, P.C. García, L.R. López-Lefebvre, E. Sánchez, and L. Romero. 2001. Resistance to cold and heat stress: Accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Sci.* 160:315-321.
- Rodríguez-López, J.N., L.G. Fenoll, M.J. Penalver, P.A. García-Ruiz, R. Varón, F. Martínez-Ortíz, and F. García-Cánovas. 2001. Tyrosinase action on monophenols; Evidence for direct enzymatic release of *o*-diphenol. *Biochimica Biophysica Acta.* 1548:238-256.
- Saltveit, M.E. 2000. Wound induced changes in phenolic metabolism and tissue browning are altered by heat shock. *Postharvest Biol. Technol.* 21:61-69.
- Saltveit, M.E. and L. Qin. 2008. Heating the ends of leaves cut during coring of whole heads of lettuce reduces subsequent phenolic accumulation and tissue browning. *Postharvest Biol. Technol.* 47:255-259.
- Salman, A., P. Goupil, H. Filgueiras, F. Charles, G. Ledoigt, and H. Sallanon. 2008. Controlled atmosphere and heat shock aVect *PAL1* and *HSP90* mRNA accumulation in fresh-cut endive (*Cichorium intybus* L.). *Eur. Food Res. Technol.* 227: 721-726.
- Takahashi, T., K. Abe, and K. Chachin. 1996. Studies on the physiological and chemical changes in shredded cabbage, 3: Effect of air-exposure at low temperature on physiological activities and browning of shredded cabbage. *J. Japan. Soc. Food Sci. Technol.* 43:663-667.
- Van Gelder, C.W.G., W.H. Flurkey, and H. Wichers. 1997. Sequence and structural features of plant and fungal tyrosinases. *Phytochem.* 45:1309-1323.
- Vanstreels, E., J. Lammertyn, B.E. Verlinden, N. Gillis, A. Schenk, and B.M. Nicolai. 2002. Red discoloration of chicory under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.* 26:313-322.