

Analysis of browning degree on fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* G.) using image analysis

Jeong-Seok Cho¹, Dae-Hyun Kim¹, Jung-Hoon Park¹, Kwang-Deog Moon^{1,2*}

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

²Food and Bio-Industry Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

이미지 분석을 이용한 신선편이 연근의 갈변도 분석

조정석¹ · 김대현¹ · 박정훈¹ · 문광덕^{1,2*}

¹경북대학교 식품공학부, ²경북대학교 식품생물산업연구소

Abstract

The image analysis as a tool for evaluation of browning degree on fresh-cut lotus root was studied. The fresh-cut lotus root treated as 4 groups (Cont - without any treatment, DB - blanching at 50°C for 5 min in distilled water, AB - blanching at 45°C for 5 min in 1% ascorbic acid, CB - blanching at 45°C for 5 min in 1% citric acid). The samples treated with each methods were packaged with 0.04 mm polyethylene bag (25 cm×30 cm) and stored at 4°C for 9 days. On the RGB color space, the AB and CB group showed high R, G, B value. On the HSV and CIE L*a*b* color space, the AB and CB group showed low browning area, a*, b* value and high L* value. Polyphenol oxidase activity was low in the AB and CB groups in all storage period. This result means that the AB and CB groups were inhibited the development of tissue browning. The result of sensory evaluation also supported this opinion. And the correlation coefficient between sensory evaluation with all color values was over 0.84. Especially, the L* value showed the highest correlation coefficient (0.93). In conclusion, the image analysis is suitable for analysis of browning degree on fresh-cut lotus root by analyzing diverse color value.

Key words : image analysis, browning degree, fresh-cut, lotus root, color space conversion

서 론

연근은 수련과 다년생 초본으로 비대경(연뿌리)을 식용으로 이용하고 있으며(1), 주성분은 탄수화물이고(2), 생리활성 물질로는 레시틴과 뮤신 등이 있다(3). 최근 신선편이 식품의 수요가 증가하고 있고 연근의 기능성에 대한 연구 결과들이 보고됨에 따라 연근의 유통이 활발해지고 있다(4).

신선편이식품은 절단면에서 발생하는 갈변현상 때문에 품질 열화가 발생하게 되는데(5), 이러한 현상을 억제하기 위한 많은 전처리 방법들이 개발되었다(6-8). 절단면에서의 변색은 소비자가 느끼는 가장 중요한 품질 열화의 지표이기 때문에 갈변 억제 효과에 대한 실험에서 보다 객관적이고

정확한 갈변도 분석 방법이 필요한 실정이다(9). 신선편이 식품의 변색 과정을 분석하기 위해서는 분광색측계가 대표적으로 사용되고 있지만(10,11) 시료에 직접적으로 접촉하는 방식인 분광색측계로 여러 형태의 식품을 분석하기에는 한계가 있다. 신선편이 연근 또한 절단면의 많은 구멍으로 인해서 분광색측계로 전체적인 갈변도를 분석하는데 문제점이 있다(12).

이미지 분석은 시료 사진의 픽셀을 기본으로 한 분석방법이며 장점으로는 식품의 형태에 상관없이 전체적인 색의 특징을 한 번에 분석 할 수 있고, 분석 결과를 다양한 지표를 사용하여 표현 할 수 있으며 갈변 정도를 시각화시킬 수 있다는 것이다. 식품 분야에서는 주로 외국에서 연구가 많이 진행되었는데, Fernandez-Vazquez 등(13)은 오렌지 주스의 색을 평가하기 위해서 이미지 분석법을 이용하였고, Larrain 등(14)은 소고기의 CIE L*a*b* 값을 분광색측계 및 이미지 분석법으로 분석 후 상관관계에 대해서 연구하였

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

다. 그 외에도 감자 칩(15), 햄 슬라이스(16), 바나나(17) 등 많은 식품에서 표면의 색 분석을 위해서 이미지 분석법을 이용하였다. 하지만 국내에서는 이미지 분석법에 대한 연구가 미미한 실정이며 국내 시료에 적합한 분석 알고리즘의 개발이 필요하다.

따라서 이 연구는 국내에서 유통되는 신선편이 연근의 갈변도를 분석하는 방법으로써 이미지 분석법의 가능성에 대해서 연구하고, 관능평가와의 상관관계 분석을 통해 이 방법의 신뢰성에 대해서 확인 해 보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

실험에 사용된 연근은 경상북도의 한 농가에서 2013년에 수확된 것을 구입하여 즉시 실험에 이용하였다.

신선절단 및 갈변저해 처리와 포장

모양이 균일한 연근을 선별 후 표면의 흙을 수돗물로 제거하고 수작업으로 박피하였다. 박피한 연근을 1 cm 두께로 절단 후 Park 등(18)의 갈변 저해 방법을 변형하여 처리하였다. 아무런 처리를 하지 않은 것을 대조구로 하고 (Cont), 실험구는 50°C에서 5분간 증류수(DB), 1% ascorbic acid(AB), 1% citric acid(CB)로 블랜칭 처리를 하였다. 신선 절단 처리 후 물기를 키친 타올로 제거하고 0.04 mm 두께의 polyethylene bag(25 cm×30 cm)에 4조각씩 넣고 열 접합 포장 후 4°C에서 9일 동안 저장하면서 3일 간격으로 분석하였다.

관능 평가

관능 평가는 갈변에 대해서 잘 훈련된 7명의 패널을 선발 하여 갈변도를 기준으로 품질 변화에 대해서 7점법(1점: 매우 나쁨, 7점: 매우 좋음)으로 평가하였다. 관능 평가의 결과는 이미지 분석 및 Polyphenol Oxidase(PPO) 활성 분석 결과와의 상관관계 분석을 위한 기초 자료로 사용하였다.

이미지 분석

사진은 디지털 카메라(NEX-5N, Sony, Tokyo, Japan)를 무광의 검은색 배경에서 30 cm 간격을 두고 촬영하였다. 그림자를 최대한 없애기 위해서 27 W의 형광등을 동서남북 방향에 설치하고, 무광의 검은색 천 위에 연근을 3조각씩 올려놓고 사진을 촬영하였다. 모든 작업은 실온의 암실에서 진행되었다. 획득한 사진 파일을 JPEG format(600×400 pixels)으로 저장 후 MATLAB image processing toolbox(8.2, Mathworks, USA)를 이용해서 갈변도를 분석하였다. 갈변도는 RGB, CIE $L^*a^*b^*$, HSV의 3가지 컬러모델을 이용하였고, R(red), G(green), B(blue), L^* (lightness), a^* (redness),

b^* (yellowness)의 6가지 값과 HSV 컬러 모델을 이용한 갈변면적의 분석을 실시하였다.

PPO 활성 측정

Polyphenol oxidase 활성은 Xing 등(19)의 방법을 응용하여 측정하였다. 즉, 연근 10 g에 polyvinylpyrrolidone (PVPP, 20 g/L)을 첨가한 0.2 M의 sodium phosphate buffer(pH 7.0)를 가하여 균질화한 후 원심분리(15,000×g, 4°C, 20분)해서 얻은 상등액을 조효소액으로 사용하였다. Sodium phosphate buffer(50 mM)에 20 mM의 catechol을 녹인 것을 기질로 하여, 추출한 조효소액 0.2 mL에 기질 2.8 mL을 넣어 혼합한 즉시 spectrophotometer(Evolution 201, Thermo Fisher Scientific Inc, Madison, WI, USA)로 410 nm에서 3분간 흡광도의 변화를 측정하였다. PPO 활성은 1분당 흡광도가 0.001 변하는 것을 1 unit(U)으로 표현하였다.

상관관계 분석 및 통계처리

관능평가의 결과와 이미지 분석 및 PPO 활성 분석 결과와의 상관관계 분석은 SPSS software(19.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)의 pearson test를 이용하여 분석하였다.

모든 실험 결과는 3 반복 후 그 결과 값을 SAS(Statistical Analysis System, SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 분산분석과 Duncan's multiple range test($p<0.05$)를 실시하였다.

결과 및 고찰

관능적 갈변특성의 변화

갈변에 대한 관능적 특성의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 대조구는 저장 3일째부터 갈변이 진행되기 시작하였는데 모든 저장 기간 동안 가장 낮은 점수를 받았고, CB 처리구의 경우에는 저장 마지막 날인 9일째까지 5점 이상의 점수를 유지하였다. 유기산과 블랜칭에 의한 갈변 저해 효과는 많은 논문에서 보고 된 바 있으며(20-23), 이번 실험에서도 그 효과를 확인할 수 있었다.

이미지 분석에 의한 색상의 변화

이미지 분석은 RGB, $L^*a^*b^*$, HSV 3가지의 컬러 모델을 이용하여 7가지 색 지표를 대상으로 분석하였다. 우선 RGB와 $L^*a^*b^*$ 컬러 모델을 이용한 색의 변화를 Table 1과 2에 나타내었다. 우선 RGB 컬러의 경우에는 저장기간이 지남에 따라서 R, G, B 값이 모두 감소하고, $L^*a^*b^*$ 컬러 모델에서는 L^* 값은 감소하고, a^* , b^* 값은 증가하는 경향을 보였다. 6가지 색 지표에서 대조구의 값이 가장 큰 폭으로 변하였고, AB와 CB 처리구의 경우 가장 적은 변화를 보였다. 모든

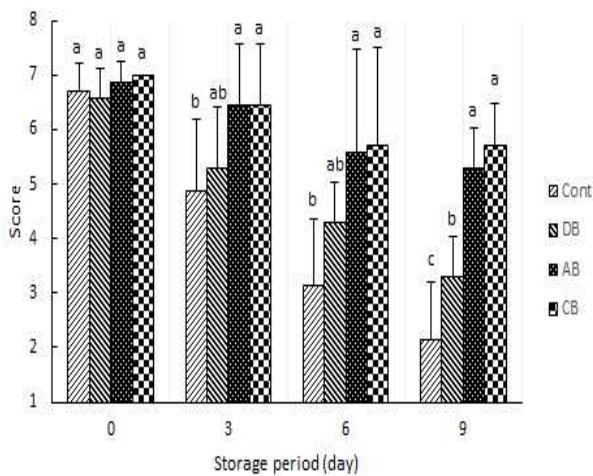


Fig. 1. Changes in sensory evaluation of different treated lotus roots during storage at 4°C for 9 days.

Cont, control; DB, blanching in distilled water; AB, blanching in 1% ascorbic acid; CB, blanching in 1% citric acid. Means±SD (n=3) with different letters are significantly different at 5% level.

Table 1. Changes in RGB color values of different treated lotus roots during storage at 4°C for 9 days

	Storage period (day)	Treatment ¹⁾			
		Cont	DB	AB	CB
R	0	200.38±0.22 ^{a2,3)}	197.27±0.50 ^b	200.71±1.05 ^a	201.49±2.25 ^a
	3	191.40±1.90 ^b	197.61±0.64 ^a	197.84±1.76 ^a	199.07±1.38 ^a
	6	189.18±3.95 ^b	196.24±1.06 ^a	198.14±3.21 ^a	200.91±1.61 ^a
	9	185.97±1.73 ^c	191.05±2.66 ^b	198.60±0.68 ^a	199.76±0.93 ^a
G	0	196.84±0.33 ^{ab}	194.66±0.41 ^b	197.89±0.79 ^a	198.58±2.62 ^a
	3	187.22±2.52 ^a	194.91±0.52 ^b	195.27±2.36 ^b	196.81±1.35 ^b
	6	179.51±0.81 ^c	191.99±1.12 ^b	194.50±3.48 ^{ab}	197.48±0.91 ^a
	9	176.06±2.28 ^c	186.84±3.06 ^b	195.13±0.30 ^a	196.69±0.87 ^a
B	0	190.74±0.32	190.07±0.64	193.43±0.93	193.28±3.23
	3	180.21±3.51	190.24±1.03	191.28±2.76	191.44±0.94
	6	169.08±2.23	186.33±1.15	189.45±3.67	192.06±0.79
	9	163.35±3.58	181.33±3.08	190.12±1.28	192.02±1.15

¹⁾Cont, control; DB, blanching in distilled water; AB, blanching in 1% ascorbic acid; CB, blanching in 1% citric acid.
²⁾Means±SD (n=3) with different letters are significantly different at 5% level.
³⁾Color ranges are from 0 to 255.

데이터에서 증가 또는 감소의 일관성 있는 경향성을 확인하였기 때문에 색 변화가 크다는 것은 갈변이 많이 진행되었음을 의미하고, 관능 평가와 같이 대조구의 갈변 진행 속도가 가장 빠른 것을 확인하였다.

한편, L*a*b* 컬러 모델에서 a* 값과 b* 값은 redness와 yellowness를 나타내는 값이며, 그 값이 증가하면 반대로 green과 blue의 값이 감소하다고 볼 수 있다. RGB 컬러 모델에서 저장 기간이 지남에 따라 G(green)값과 B(blue)값

이 감소하는 것은 이를 뒷받침 하는 근거가 될 수 있다. 하지만 a* 값이 증가하면서 R(red)값이 증가해야 하는데, 이번 연구에서는 R 값이 감소하는 것으로 확인되었으며, 위 2가지의 적색도의 값이 의미하는 바에 대해서는 조금 더 깊은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 2. Changes in CIE L*a*b* color values of different treated lotus roots during storage at 4°C for 9 days

	Storage period (day)	Treatment ¹⁾			
		Cont	DB	AB	CB
L*	0	202.86±0.57 ^{ab2,3)}	200.60±0.38 ^b	203.72±0.74 ^a	204.30±2.34 ^a
	3	193.92±2.26 ^b	200.75±0.46 ^a	201.26±2.09 ^a	201.57±0.78 ^a
	6	187.74±0.24 ^b	198.46±1.03 ^a	200.71±3.19 ^a	200.93±1.65 ^a
	9	184.37±2.09 ^c	193.64±2.80 ^b	200.43±1.26 ^a	200.59±1.32 ^a
a*	0	128.03±0.10 ^a	127.74±0.08 ^b	127.89±0.13 ^{ab}	127.68±0.18 ^b
	3	128.10±0.22 ^a	128.02±0.16 ^a	127.89±0.22 ^a	127.93±0.07 ^a
	6	129.82±1.62 ^a	128.25±0.16 ^b	128.17±0.11 ^b	127.84±0.04 ^b
	9	129.57±0.13 ^a	128.31±0.05 ^b	128.06±0.25 ^{bc}	127.96±0.03 ^c
b*	0	130.89±0.44 ^a	130.03±0.40 ^{ab}	129.83±0.71 ^b	129.74±0.32 ^b
	3	131.93±0.19 ^a	130.31±0.52 ^b	129.84±0.35 ^b	129.91±0.15 ^b
	6	134.21±1.36 ^b	130.90±0.35 ^b	130.56±0.21 ^b	130.01±0.66 ^b
	9	135.38±0.82 ^b	131.48±1.05 ^b	130.48±0.66 ^b	130.32±0.27 ^b

¹⁾Cont, control; DB, blanching in distilled water; AB, blanching in 1% ascorbic acid; CB, blanching in 1% citric acid.
²⁾Means±SD (n=3) with different letters are significantly different at 5% level.
³⁾Color ranges are from 0 to 255.

마지막으로 HSV 컬러 모델을 이용한 갈변 면적의 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. HSV 컬러 모델에서 S 값은

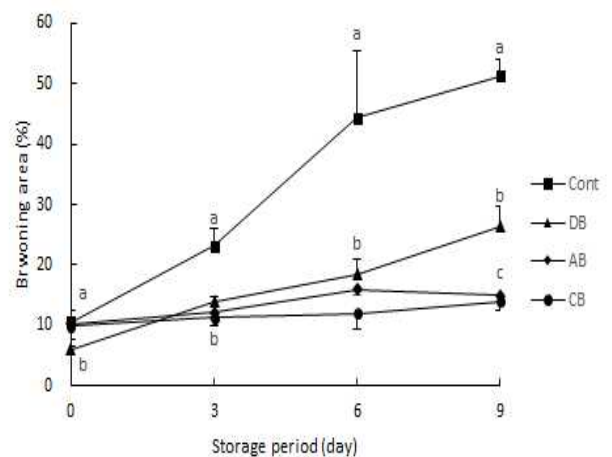


Fig. 2. Changes in browning area of different treated lotus roots during storage at 4°C for 9 days.

Cont, control; DB, blanching in distilled water; AB, blanching in 1% ascorbic acid; CB, blanching in 1% citric acid. Means±SD (n=3) with different letters are significantly different at 5% level. The same letters are not indicated.

채도를 나타내는 값이며, 특정한 색의 농도를 대표하는 값을 볼 수 있다. 신선편이 연근에서의 갈변 현상은 갈색이 점점 짙고 넓어지는 현상이며 이러한 갈색의 채도를 일정한 기준으로 갈변이 진행된 부분과 진행되지 않은 부분으로 나눔으로써 갈변 면적을 계산 할 수 있다. 저장 3일째부터 대조구에서 유의적으로 높은 수준의 갈변 면적을 확인 하였으며(23%), AB와 CB구의 경우는 모든 저장 기간 동안 가장 낮은 수준의 갈변 면적이 분석되었다. 이것 또한 유기산과 블랜칭 병용 처리구에서 갈변이 가장 억제되었음을 나타내며, 관능 평가와 유사한 결과를 확인 할 수 있었다.

PPO 활성의 변화

과채류에 함유되어 있는 페놀화합물이 저장 중 PPO (polyphenol oxidase)에 의해서 효소적 반응을 일으켜 갈변 현상이 발생하게 된다(24). PPO 활성이 낮은 것은 효소적 갈변 현상이 억제되었음을 의미하며, 전처리 방법에 따른 PPO 활성의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 저장 3일째까지는 큰 차이를 보이지 않다가 저장 6일째부터 AB와 CB 처리구에서 유의적으로 낮은 PPO 활성을 보였으며, 저장 9일째는 CB 처리구(155 U), AB 처리구(178 U), DB 처리구(216 U), 대조구(225 U) 순으로 활성이 낮은 것을 확인하였다. 이는 유기산과 블랜칭의 병용 처리에 의해서 갈변 관련 효소의 활성이 억제되었음을 의미하고 Table 1, 2와 Fig. 2에서 확인한 바와 같은 결과를 보였다.

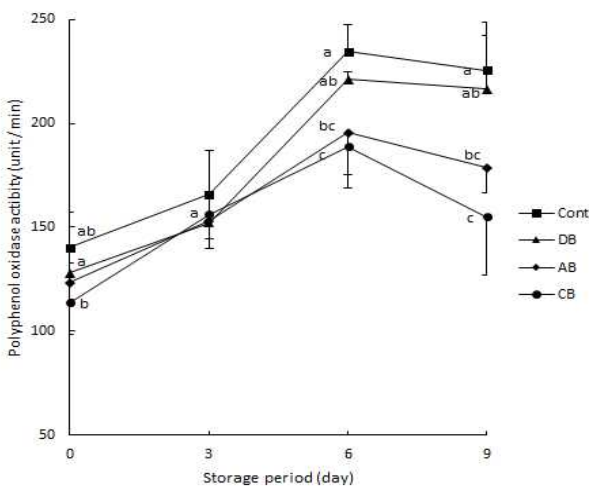


Fig. 3. Changes in polyphenol oxidase activity of different treated lotus roots during storage at 4°C for 9 days.

Cont, control; DB, blanching in distilled water; AB, blanching in 1% ascorbic acid; CB, blanching in 1% citric acid. Means±SD (n=3) with different letters are significantly different at 5% level. The same letters are not indicated.

상관관계

관능평가의 결과와 이미지 분석 및 PPO 활성 사이의 상관관계를 Fig. 4에 나타내었다. 모든 실험 결과는 관능평가와의 상관관계가 0.84 이상의 높은 수준을 보였으며, 특

히 L* 값의 변화는 0.93 수준으로 가장 높은 상관관계를 보였다. 갈변이 진행되면서 절단면의 색이 전체적으로 어두워지는 현상을 보이기 때문에 신선편이 식품의 갈변도 분석에서 L* 값은 갈변을 대표 할 수 있는 분석 결과로 볼 수 있다. 따라서 관능평가와 이미지분석을 통한 L* 값의 상관관계가 가장 높은 것으로 보아 이미지 분석은 신선편이 연근의 갈변도 분석을 위한 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 L*a*b* 컬러 모델보다 RGB 컬러 모델을 이용한 색 변화의 분석이 평균적으로 상관관계가 높은 것으로 나타났기 때문에, 추후 연구에서는 RGB 방식의 색 지표를 이용한 분석법에 대해서 보다 다양한 시료를 대상으로 깊은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

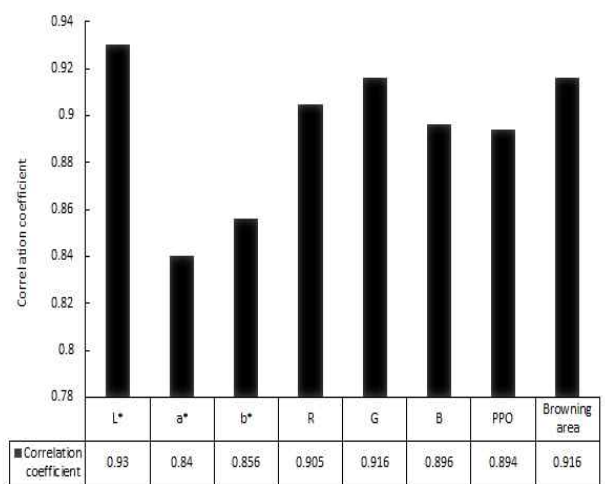


Fig. 4. Correlation coefficient between sensory evaluation with all color values using image analysis.

요 약

신선편이 연근의 갈변도를 분석하는 방법으로써 이미지 분석법에 대한 가능성에 대해서 연구하였다. 우선 신선편이 연근의 갈변 저해 처리를 위해서 50°C의 증류수에 5분간 블랜칭 처리(DB), 50°C의 1% ascorbic acid에 5분간 블랜칭 처리(AB), 50°C의 1% citric acid에 5분간 블랜칭 처리(CB) 하고, 절단 후 아무 처리도 하지 않은 것을 대조구로 하였다. 갈변 저해 처리 후 0.04 mm의 polyethylene film(25 cm×30 cm)에 열 접합 포장 후 4°C에서 9일 동안 저장하면서 관능 평가, 갈변도, polyphenol oxidase 활성을 분석하였다. 연근의 갈변도 분석은 사진 자료를 바탕으로 3가지 컬러 모델을 사용하였는데, 우선 RGB와 CIE L*a*b* 컬러 모델에서 각각의 색 지표를 분석하고 HSV 컬러 모델을 이용하여 갈변 면적을 분석하였다. 관능 평가에서 AB와 CB 처리구가 저장 9일째까지 갈변 현상이 가장 많이 억제된 것으로 나타났고, RGB 컬러 모델에서 R, G, B 값이 모든 처리구에서

감소하는 것을 확인하였으며, 특히 AB와 CB 처리구에서 감소하는 정도가 가장 적은 것으로 나타났다. CIE $L^*a^*b^*$ 와 HSV 컬러 모델에서는 저장 기간이 지남에 따라서 L^* 값은 감소하고 a^* , b^* 값과 갈변 면적은 증가하는 것으로 확인되었는데 AB와 CB 처리구에서 값의 변화 정도가 가장 낮은 것을 확인 할 수 있었다. Polyphenol oxidase 활성 분석에서도 모든 저장 기간 동안 AB와 CB 처리구에서 효소의 활성이 가장 낮게 나타났으며, 위의 결과들을 토대로 유기산과 블랜칭 병용 처리에 의해서 연근의 갈변이 억제되었음을 확인하였다. 관능 평가와 모든 실험 결과 값의 상관관계 분석에서는 최소 0.84 이상의 상관관계가 있었는데, 특히 L^* 값이 0.93으로 상관관계가 가장 높은 것을 확인 하였다. 따라서 본 연구에서 실시한 이미지 분석법은 다양한 컬러 모델을 이용하여서 신선편이 연근의 갈변도를 분석하기에 적합한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A1A4A01012602)

References

1. Moon SM, Kim HJ, Ham KS (2003) Purification and characterization of polyphenol oxidase from lotus root (*Nelumbo nucifera* G.). Korean J Food Sci Technol, 35, 791-796
2. Han SJ, Koo SJ (1993) Study on the chemical composition in bamboo shoot, lotus root and burdock - Free sugar, fatty acid, amino acid and dietary fiber contents. Korean J Soc Food Sci, 9, 82-87
3. Park SH, Ham TS, Han JH (2005) Effect of ethanol-extract of lotus root on the renal function and blood pressure of fructose-induced hypertensive rats. J East Asian Soc Dietary Life, 15, 165-170
4. Chang MS, Park MJ, Kim JG, Kim GH (2012) Effect of various packaging materials on the quality of heat treated lotus roots during storage. Korean J Food Preserv, 19, 807-812
5. Toivonen PMA, Brummell DA (2008) Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. Postharvest Biol Technol, 48, 1-14
6. Park KJ, Jeong JW, Lim JH, Kim BK (2008) Quality changes in peeled lotus roots immersed in electrolyzed water prior to wrap- and vacuum packaging. Korean J Food Preserv, 15, 622-629
7. Park SY, Hwang TY, Kim JH, Moon KD (2001) Quality changes of minimally processed lotus root (*Nelumbo nucifera*) with browning inhibitors. Korean J Postharvest Sci Technol, 8, 164-168
8. Chang MS, Kim JG, Kim GH (2011) Quality characteristics of fresh-cut lotus roots according to the temperature of the wash water. Korean J Food Preserv, 18, 288-293
9. Park WP, Cho SH, Lee DS (1998) Screening of antibrowning agents for minimally processed vegetables. Korean J Food Sci Technol, 30, 278-282
10. Xiao C, Zhu L, Luo W, Song X, Deng Y (2010) Combined action of pure oxygen pretreatment and chitosan coating incorporated with rosemary extracts on the quality of fresh-cut pears. Food Chem, 121, 1003-1009
11. Supapvanich S, Pimsaga J, Srisujan P (2011) Physicochemical changes in fresh-cut wax apple (*Syzygium samarangense* [Blume] Merrill & L.M. Perry) during storage. Food Chem, 127, 912-917
12. Du J, Fu Y, Wang N (2009) Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on browning of fresh-cut lotus root. LWT-Food Sci Technol, 42, 654-659
13. Fernandez-Vazquez R, Stinco CM, Melendez-Martinez AJ, Heredia FJ, Vicario IM (2011) Visual and instrumental evaluation of orange juice color: a consumers' preference study. J Sens Stud, 26, 436-444
14. Larrain RE, Schaefer DM, Reed JD (2008) Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. Food Res Int, 41, 380-385
15. Pedreschi F, León J, Mery D, Moyano P (2006) Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. Food Res Int, 39, 1092-1098
16. Valous NA, Mendoza F, Sun DW, Allen P (2009) Texture appearance characterization of pre-sliced pork ham images using fractal metrics: Fourier analysis dimension and lacunarity. Food Res Int, 42, 353-362
17. Quevedo R, Díaz O, Ronceros B, Pedreschi F, Aguilera JM (2009) Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. Food Res Int, 42, 1309-1314
18. Park JH, Hong SI, Jeong MC, Kim DM (2013) Effect of mild heat and organic acid treatments on the quality of fresh-cut lotus roots. Korean J Food Preserv, 20, 23-29

19. Xing Y, Li X, Xu Q, Jiang Y, Yun J, Li W (2010) Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth). *Innov Food Sci Emerg*, 11, 684-689
20. Kim DH, Kim SM, Kim HB, Moon KD (2012) Effects of optimization co-treatment conditions with ultrasound and low-temperature blanching using the response surface methodology on the browning and quality of fresh-cut lettuce. *Korean J Food Preserv*, 19, 470-476
21. Lee YJ, Lee HO, Kim JY, Kwon KH, Cha HS, Kim BS (2011) Quality characteristics of frozen Doraji (*Platycodon grandiflorum*) according to various blanching treatment conditions. *Korean J Food Preserv*, 18, 661-668
22. Mok CK (2002) Suppression of browning of green tea by extraction with organic acid. *Food Eng Prog*, 6, 215-221
23. Lattanzio V, Linsalata V (1989) The beneficial effect of citric acid and ascorbic acid on the phenolic browning reaction in stored artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads. *Food Chem*, 33, 93-106
24. Cardelle-Cobas A, Moreno FJ, Corzo N, Olano A, Villamiel M (2005) Assessment of initial stages of maillard reaction in dehydrated onion and garlic samples. *J Agri Food Chem*, 53, 9078-9082

(접수 2013년 8월 8일 수정 2013년 8월 20일 채택 2013년 11월 7일)