

초임계 이산화탄소 전처리에 따른 건조 사과절편의 색 및 물성변화

이보수¹ · 이원영^{2*}

¹주식회사 유니젠
²경북대학교 식품과학부

Color and Texture Changes of Dried Apple Slab After Supercritical Carbon Dioxide Pretreatment

Bo-Su Lee¹ and Won-Young Lee^{2*}

¹Unigen, Inc., Chungnam 330-863, Korea

²Dept. of Food Engineering, Kyungpook National University, Gyeongbuk 742-711, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate quality changes of apple slab after pretreating with supercritical CO₂. L, a, b and color difference values were little changed at increasing temperature and pressure. Polyphenol oxidase was inhibited according to increment of supercritical CO₂ temperature and pressure. Springiness and hardness were increased at increasing pressure and temperature condition of pretreatment but hardness showed lower value than untreated. The texture like sponge of dried apple slab was probably due to channels which were made during penetration and release of carbon dioxide.

Key words: pretreatment, supercritical carbon dioxide, color, texture, apple slab

서 론

식품의 건조는 미생물 및 효소에 의한 변질을 방지하고 저장성을 향상시키며, 부피와 무게의 감소시킬 목적으로 행해진다. 식품의 건조방법은 자연건조에서 출발하여 인공 건조방법이 고안된 이후로 계속하여 진보하고 있으나 채소류의 건조에는 경제적인 이유로 열풍건조가 주로 행해지고 있다. 이 방법은 신속하고 균일하게 건조가 이루어져 경제적인 하지만, 수분손실에 기인된 수축 현상, 빠른 건조에 의한 표면경화 현상, 건조물의 재수화시 낮은 복원율, 갈색화 반응으로 인한 색상변화, 조직감, 맛 및 영양가 저하 등의 문제점이 있다(1,2). 이러한 열풍건조의 단점을 보완하기 위한 조치로 전처리 방법을 통해 품질을 개선하려는 연구가 있어 왔다. 전처리 방법으로 뜨거운 물, steam(3) 및 microwave를 이용하는 blanching(4)의 물리적 방법과 황훈증 같은 화학적 방법(5)이 널리 이용되고 있으며, Dixon 등(6)은 Ponting 등(7)에 의하여 개발된 삼투 건조방법을 이용하면서 갈변방지제의 사용 없이 낮은 수분함량과 고농도의 당을 함유한 사과 칩을 얻을 수 있었다고 보고한 바 있다. 지금까지 개발된 전처리 방법 중에 스팀에 의한 blanching은 심각한 열변성을 가져오고, 화학적 전처리는 화학약품이 건조식품에 잔존하게 되는 문제가 있고 삼투건조에서는 건조제품에 삼

투용액이 잔존하여 원재료 그대로의 맛을 내지 못한다는 문제점이 있다. 초임계 이산화탄소를 전처리 방법으로 이용한다면 이산화탄소가 무독성 물질이고 상압 하에서는 이산화탄소가 모두 증발하게 되어 잔류 염려가 없고(8,9), 이산화탄소가 초임계상태로 변하는 온도도 상온 부근이어서 식품과 같이 열에 민감한 물질의 전처리 방법으로 적합할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 건조제품의 품질 개선을 위한 연구로 초임계 이산화탄소를 건조 전처리 방법으로 사용하여 사과절편의 색과 물성변화 및 갈변의 산화효소인 poly-phenol oxidase의 저해효과를 규명하여 새로운 공정개발의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 장치

본 실험에 사용한 사과는 약 260 g의 홍로 품종을 구입하여 4°C에 보관하면서 실험 때마다 박피, 제심하고 3×3×0.5 cm로 절단하여 사용하였다. 실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같이 자체 제작한 초임계 추출장치를 이용하였다. Extraction vessel에 사과절편을 넣고, heating jacket의 전류를 제어하여 vessel의 온도를 조절하였으며, vessel의 압력은 CO₂ pump

*Corresponding author. E-mail: wonyoung@knu.ac.kr
Phone: 82-54-530-1261, Fax: 82-54-530-1269

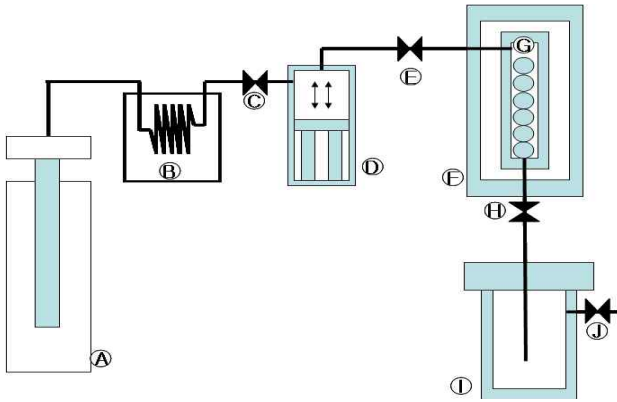


Fig. 1. Schematic flow diagram of supercritical fluid pre-treatment system for drying. ①: liquid carbon flow dioxide cylinder, ②: cooling circulator, ③: stop valve, ④: CO₂ pump with cooling jacket, ⑤: heating jacket, ⑥: extraction vessel, ⑦: back-pressure regulator.

를 이용하여 조절하였다. 사과절편 50 g을 vessel에 채운 다음, 전처리 온도(35°C, 45°C, 55°C)와 압력(15 MPa, 20 MPa, 25 MPa)을 조절하며 실험하였다. 초임계 이산화탄소를 전처리 압력까지 상승시키는 시간은 10분이었고, 정치법으로 20분 처리 후, 10분간 압력을 release하였다. 전처리가 끝난 시료는 70°C, 열풍건조기(EDO-L, Dae Rim Instrument Ltd., Tokyo, Japan)에서 30분마다 6시간 동안 건조하며 품질특성을 관찰하였다.

색도측정

색도의 측정은 색차계(Chromameter, CR20, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 전처리 조건에 따라 L값(lightness), a값(red) 및 b값(yellowness)을 측정하였고, 전반적인 색차 ΔE 는 아래 식으로 나타내었다. 이때 standard plate의 L, a, b값은 각각 97.22, -0.02, 1.95이었다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

갈색도

Hendel 등(10)의 방법에 따라 건조과정 중 30분마다 2 g의 시료를 채취하고 40 mL 증류수와 10% tri-chloro acetic acid 용액 10 mL를 가하여 실온에서 2시간 추출한 다음 원심분리(4,000×g, 10 min)하여 상등액을 분광계(CM-3600d, Minolta Co.)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

PPO(polyphenol oxidase) 활성 측정

전처리 조건에 따라 처리된 건조 사과절편 3 g에 0.1 M의 인산염 완충용액(pH 6.5) 50 mL를 가하고 브렌더로 1분간 마쇄한 후 10분간 원심분리(8,000×g)하여 그 상등액을 PPO 조효소액으로 하였다. 사과의 PPO 정량은 Oszmianski와 Lee(11)에 의한 실험방법에 준하였으며, 기질용액(1 mM chlorogenic acid) 8 mL에 0.1 M 인산염 완충용액(pH 6.5) 2 mL 혼합한 후 2.5 mL를 취하여 각 시료군의 조효소액 0.5 mL를 가하고 30°C의 항온수조에서 2분간 반응시켰다. 1 N

HCl 용액 0.5 mL로 반응을 중지시킨 후 400 nm에서 흡광도를 측정하였다.

물성 측정

Rheometer(CR-100D, Sun Scientific Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 각 전처리 조건에 따른 건조 사과절편 시료를 무작위로 5개를 선택하여 hardness와 springiness를 3회 반복 측정하여 나타내었다. Rheometer의 측정조건은 직경 5 mm의 원형 adapter를 사용하였고, 진입깊이는 2 mm, 테이블 이동속도는 60 mm/min로 하여 진입깊이까지 가해지는 compressive force(kg/cm²)를 측정하였다.

통계처리

실험의 결과는 평균(mean)±표준편차(SD)로 나타내었으며, 유의성을 검정하기 위하여 ANOVA 분석을 행한 후 p=0.05 수준에서 Duncan의 다중분석을 행하였다.

결과 및 고찰

색도 측정

전처리 조건에 따른 색도 변화를 L값(lightness), a값(redness), b값(yellowness) 그리고 색차로 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 명도를 나타내는 L값은 무처리의 81.29에서 시작하여 60분 경과 후 85.70까지 명도가 상승했지만, 이후 떨어지기 시작해서 최종적으로 76.70을 나타내었다. 초임계 이산화탄소 전처리 조건에 따라 L값의 변화는 건조 90분까지 감소하다가 90분 이후에 증가하는 경향을 보였다. 최종 건조 사과 절편의 L값은 전처리 조건에 따라 차이가 나타났으며, 55°C 25 MPa가 가장 밝고 45°C 20 MPa가 가장 어두웠다. 초임계 이산화탄소의 압력과 온도가 높을 때 명도의 변화는 적은 것으로 나타났다.

적색도 a값은 무처리구의 경우 건조 90분 동안 평형을 유지하다가 이후 급격히 상승하여 최종 1을 나타내었다. 초임계 이산화탄소 35°C 전처리 구에서 15, 20, 25 MPa는 건조 30분 이후에 a값이 상승하여 최종 건조 사과 절편에서는 20, 25, 15 MPa에서 5.99, 5.28, 4.64의 값을 나타내었다. 45°C에서는 15 MPa에서 30분 동안 -5.49로 낮아졌다가 건조 120분까지 서서히 상승하였으며, 이후 2.58까지 급격히 상승하였다. 20 MPa에서는 건조 15분 동안 5.97로 급격히 상승하였으며, 이후 a값은 떨어져 최종 5.69를 나타내었다. 25 MPa의 경우 건조 60분 이후 서서히 상승하여 최종 0.4로 무처리구보다 낮은 수치를 나타내었다. 55°C 처리구에서는 25, 20, 15 MPa 순으로 a값이 높게 나타났고, 15 MPa에서는 건조 시작부터 최종 7.98까지 급격히 상승하였으며, 20, 25 MPa는 건조 초반에 a값이 낮아졌다가 이후 서서히 상승하여 0.77, 0.52를 나타내었다.

황색도를 나타내는 b값은 모든 처리구에서 유사한 경향으로 건조 초기부터 증가하여 무처리의 경우 28.6을 나타내

Table 1. Changes of color values in dried apple according to supercritical CO₂ pretreatment conditions

Sample ¹⁾		Drying time							
		0	30	60	90	120	150	180	210
Control	L	81.25 ^{b2)}	85.50	85.70	85.20	83.40	80.30	76.00	76.70 ^g
	a	-3.66 ^k	-3.50	-3.14	-3.06	-1.51	0.10	1.08	1.00 ^g
	b	20.10 ^l	21.60	24.94	25.81	26.38	28.91	29.70	28.60 ^g
35-15	L	82.45 ^a	75.94	70.23	72.32	72.46	73.54	71.92	71.86 ^k
	a	-3.6 ^{jk}	-3.49	-2.63	-0.82	1.55	2.86	4.60	4.64 ^e
	b	21.30 ^j	26.20	27.51	30.95	33.11	31.84	30.56	29.24 ^f
35-20	L	78.75 ^f	74.77	65.86	66.88	67.55	68.90	67.63	67.11 ^l
	a	-4.00 ^{kl}	-3.28	0.38	3.85	4.23	5.33	6.32	5.99 ^b
	b	20.70 ^k	26.01	27.82	30.65	30.33	31.15	30.06	29.06 ^f
35-25	L	81.43 ^b	73.50	72.69	73.31	73.16	73.94	73.56	73.50 ^j
	a	-3.74 ^{kl}	-2.63	-0.18	2.55	3.38	3.57	3.82	5.28 ^d
	b	20.30 ^{kl}	27.96	29.01	31.20	30.41	28.76	28.24	30.12 ^e
45-15	L	82.47 ^a	78.64	72.17	73.58	74.00	72.60	72.60	73.50 ^j
	a	-4.21 ^{op}	-5.49	-5.02	-4.07	-3.6	-0.64	2.79	2.58 ^f
	b	20.00 ^l	23.70	24.51	26.48	32.57	31.86	31.25	30.20 ^e
45-20	L	80.51 ^c	76.07	68.77	55.71	58.21	58.92	60.00	58.55 ⁿ
	a	-3.55 ^{jk}	-2.52	1.05	4.18	4.95	5.97	5.46	5.69 ^c
	b	20.60 ^k	27.00	26.65	27.56	27.51	30.68	30.79	31.99 ^d
45-25	L	82.46 ^a	81.97	79.04	79.95	78.55	76.40	76.00	76.30 ^h
	a	-4.35 ^p	-4.86	-4.34	-2.50	-1.50	-0.78	0.23	0.40 ⁱ
	b	20.40 ^{kl}	27.80	30.00	31.40	21.10	31.17	30.70	30.30 ^e
55-15	L	79.90 ^d	71.12	64.70	63.90	65.83	62.82	65.38	61.61 ^m
	a	-3.42 ^j	0.08	1.21	4.54	6.93	7.56	7.81	7.98 ^a
	b	25.54 ^h	35.17	40.06	44.18	43.24	45.14	43.33	46.15 ^a
55-20	L	81.70 ^b	80.38	74.43	75.24	77.31	76.80	72.34	72.60 ^j
	a	-3.89 ^{lm}	-6.66	-6.46	-5.18	-4.02	-1.63	-0.05	0.77 ^h
	b	20.00 ^l	26.40	30.00	31.70	34.00	35.10	34.00	35.50 ^b
55-25	L	81.61 ^b	79.52	77.50	76.16	78.69	78.30	78.62	79.50 ^c
	a	-4.08 ^{no}	-6.66	-6.62	-5.98	-3.00	0.27	0.69	0.52 ⁱ
	b	24.50 ⁱ	33.58	36.79	39.14	38.71	35.94	35.18	34.72 ^c

¹⁾Control: untreated; 35-15: 35°C, 15 MPa; 35-20: 35°C, 20 MPa; 35-25: 35°C, 25 MPa; 45-15: 45°C, 15 MPa; 45-20: 45°C, 20 MPa; 45-25: 45°C, 25 MPa; 55-15: 55°C, 15 MPa; 55-20: 55°C, 20 MPa; 55-25: 55°C, 25 MPa.

²⁾Average (N=3). Means with different superscripts in each column are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

었다. 35°C 초임계 이산화탄소 처리구에서 압력에 따라 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa에서 39.24, 29.06, 30.12로 나타났고, 45°C 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa에서는 30.20, 31.99, 30.30으로 나타났다. b값은 초임계 이산화탄소의 압력이 낮을수록 증가 속도가 낮은 것으로 나타났다.

색차를 나타내는 ΔE 값을 보면 Fig. 2와 같이 건조 과정 중 건조 사과 색차는 모두 증가하였고, 무처리구의 경우 측정 시간마다 증가폭이 서서히 증가하여 가장 낮은 34.9를 나타내었다. 35°C 초임계 이산화탄소 처리구에서는 건조 초반에 색차가 급격히 상승하여 60분 이후부터 평형을 이루었으며, 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa의 압력에 따라서는 각각 38.4, 41.3, 35.5로 나타났다. 또한 25 MPa에서 가장 낮은 색차를 보였으며, 이는 무처리구와 비슷하였다. 45°C 초임계 이산화탄소 전처리구에서는 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa에서도 35°C와 비슷한 경향을 보였으며, 20 MPa에서는 47.4로 가장 많은 색차를 보였고, 25 MPa에서 35.7로 무처리구와 비슷하

였다. 55°C 초임계 이산화탄소 처리구에서는 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa에서도 다른 온도구간과 비슷한 경향을 보였으며, 15 MPa에서 43.3으로 가장 많은 색차를 보였고 25 MPa는 35.1로 무처리구와 비슷하였다. 초임계 처리에서 압력이 높을수록 색차가 적은 것으로 나타났으며, 온도와 관계 없이 25 MPa에서는 무처리구와 비슷한 색차를 나타내었다.

갈색도

전처리 조건에 따른 건조 사과 절편을 trichloro acetic acid 용액을 함유한 용액에서 추출하여 분광광도계를 이용하여 갈색도를 측정된 결과 Fig. 3과 같이 나타났다. 무처리구에서의 갈색도는 건조 60분 이후부터 증가하기 시작하여 최종 건조물에서는 0.074를 나타내었고, 초임계 처리구는 무처리구와 유사한 경향으로 나타났다. 초임계 이산화탄소의 압력이 15 MPa에서는 온도가 증가할수록 갈색도가 빨리 증가하였다. 20 MPa는 45°C에서 빠른 증가를 보였고, 55°C와 35°C

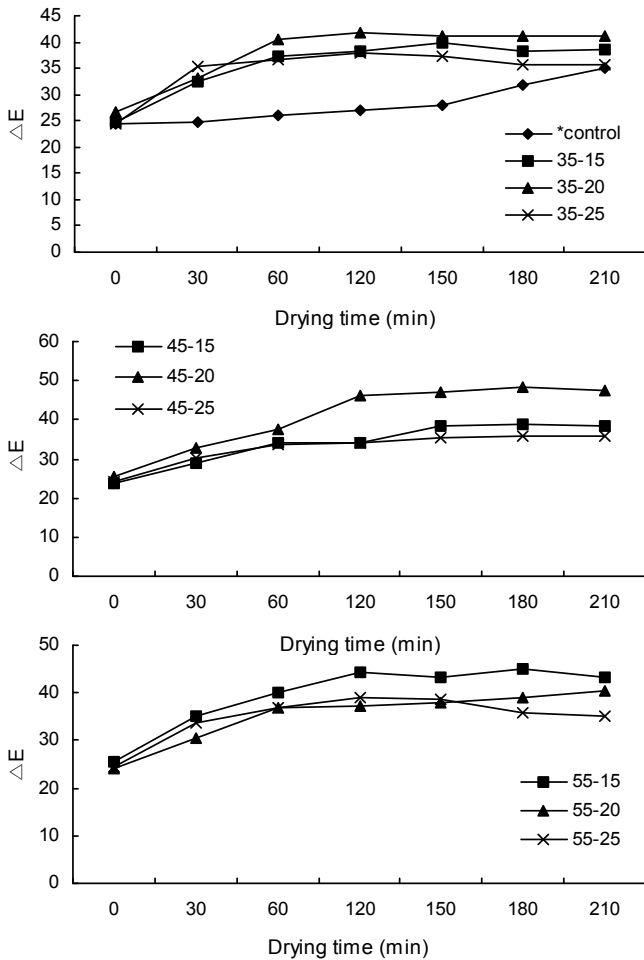


Fig. 2. Changes of color difference in dried apple according to supercritical CO₂ pretreatment conditions. *Refer to Table 1.

순으로 나타났으나 큰 차이는 없었다. 25 MPa에서는 온도에 따른 갈색도의 증가 속도가 비슷하고 큰 차이가 없었다. 따라서 초임계 이산화탄소 전처리 조건에서 온도는 45°C 이상 압력은 20 MPa 이상에서 갈변 생성 효소가 불활성화 되어 갈변이 저하되는 것으로 사료된다.

Polyphenol oxidase(PPO) 활성 측정

사과로부터 추출한 PPO 조효소액의 chlorogenic acid 산화에 대한 PPO 활성을 Fig. 4와 같다. 생 사과의 PPO 활성은 0.231이고, 35°C 초임계 이산화탄소 처리구에서 PPO 활성이 무처리구보다 평균 10% 증가하여 15 MPa에서 0.258, 20 MPa에서 0.251 그리고 25 MPa에서는 0.255의 활성을 나타내었다. 45°C 초임계 이산화탄소 처리구에서 PPO 활성은 15 MPa에서 무처리구보다 4% 증가하였고, 20 MPa에서는 21% 활성 증가를 보였다. 25 MPa에서는 0.15로 무처리구보다 35% 활성 억제 효과를 보였다. 55°C 초임계 이산화탄소 처리구에서 PPO 활성은 15 MPa에서 0.255로 무처리구보다 10% 활성 증가를 보였다. 20 MPa에서는 0.188로 18% 억제 효과를 보였고, 25 MPa에서는 0.168로 30% 활성 억제 효과를 보였다.

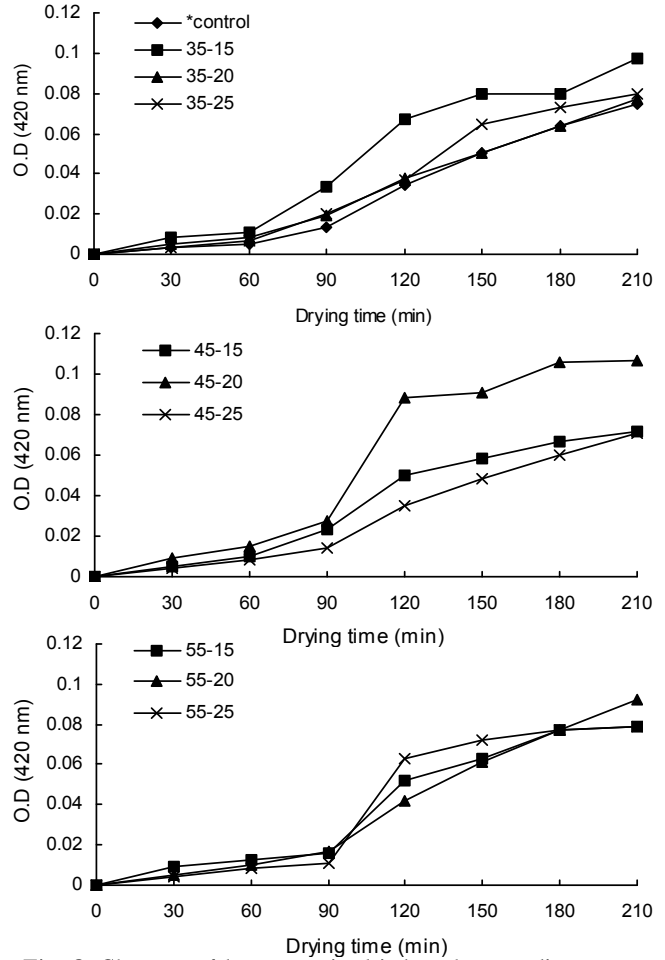


Fig. 3. Changes of brownness in dried apple according to supercritical CO₂ pretreatment conditions. *Refer to Table 1.

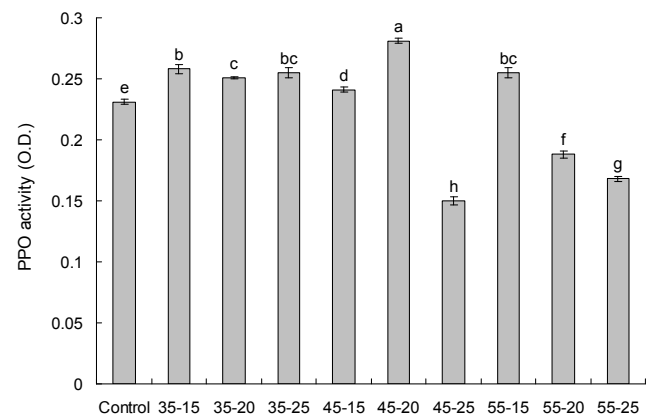


Fig. 4. Inhibition effect of supercritical CO₂ pretreatment on the activity of polyphenol oxidase. Samples are the same as in Table 1. ^{a-h}Means with different superscripts on the bars are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

이러한 결과로 PPO 활성 증가 정도가 가장 낮은 것은 45°C 25 MPa이었고, 45°C 20 MPa가 가장 큰 것으로 나타나 갈변정도가 컸던 처리구에서 PPO의 활성이 크게 나타난 것을 알 수 있어 PPO와 갈변도가 상관관계가 있다고 판단된다. PPO는 가용성과 불용성의 형태로 존재하며, PPO의 가

용화는 과실의 숙성이나 aging을 통하여 일어날 수 있다고 한다(12,13). Eskin(14)은 PPO가 식물이 바이러스, 세균, 균류에 의한 감염 및 물리적 손상 시 효소 활성이 불용성 중합체 생산과 함께 증가하여 식물에서 감염, 전파에 대한 장벽으로 작용한다고 하였다. 초임계 이산화탄소 압력에 의해 물리적 손상을 받아 불용성 중합체의 생산으로 PPO 활성이 증가하나 25 MPa 이상의 압력에서는 PPO의 활성이 저해되는 것으로 사료된다.

물성 측정

Fig. 5는 전처리 후 건조 전의 hardness와 springiness를 측정한 결과이다. 무처리구의 경우 springiness는 44%이고, 초임계 이산화탄소 처리에 따라서는 35°C 15, 20 MPa에서는 45%, 48%로 무처리구와 큰 차이가 없었으며, 25 MPa에서는 78%로 높았다. 45°C는 15 MPa에서 62%, 20 MPa에서는 60%, 25 MPa에서는 76%를 나타냈으며, 55°C는 15 MPa에서 90%, 20 MPa에서는 92%, 25 MPa에서는 92.5%를 나타냈다. Springiness는 무처리구에 비해 초임계 처리의 온도와 압력이 높을수록 2배 이상 증가하는 것을 알 수 있었고, 55°C 전처리 구간에서는 압력에 따른 springiness가 큰 차이를 나타나지 않았다. 이러한 결과는 이산화탄소가 초임계상태 하에서 사과절편의 조직으로 투과하였다가 상압으로 release 될 때 이산화탄소가 일부 세포를 파괴하면서 탈출 경로를 만들면서 증발되어 스펀지처럼 과육에 탄력이 생기는 것으로 사료된다.

Hardness는 생 과육이 가장 단단한 15 kg/cm²였고, 초임계 이산화탄소 처리구간에서는 35°C, 25 MPa 처리구에서 생 과육에 비해 평균 41% 감소하여 7.8 kg/cm²로 가장 낮은 수치를 나타내었다. 45°C 전처리구에서는 생과육에 비해 평균 32% 감소하여 15 MPa에서 9.5 kg/cm²로 낮은 수치를 나타내었고, 55°C 처리구에서는 생 과육에 비해 평균 27% 감소하여 20 MPa에서 10.4 kg/cm²의 값을 나타내었으며 초임계 이산화탄소 온도가 증가할수록 hardness가 서서히 증가하는 것을 알 수 있다. 초임계 처리구가 무처리구와 비교해서 낮은 hardness를 나타내는 것은 Yamamoto 등(15)의 연구에서 초고압상태에서 무의 조직이 단단해진다는 보고와 Lee 등(16)의 연구에서 초고압상태에서 동치미 무의 hardness가 증가한다는 보고와 상이한 결과를 보인 것은 초고압상태와 초임계상태의 압력매체의 차이로 생각된다.

전처리 조건에 따른 건조 후 사과 절편의 hardness를 Fig. 6과 같이 나타내었다. 무처리구의 경우 120 kg/cm²로 건조했을 때 생 사과에 비해 8배 증가하였다. 초임계 이산화탄소 처리구의 경우 건조 전보다 hardness가 10배 증가하였고, 35°C 초임계 이산화탄소 처리구는 무처리구에 비하여 평균 21% 낮은 hardness를 나타내었으며, 45°C에서는 18%, 55°C에서는 14%의 낮은 hardness를 나타내었다. 이것은 전처리 조건에 따른 건조 전 hardness와 유사한 경향을 보였고, 35°C 25 MPa에서 90.5 kg/cm²로 가장 낮은 hardness를 55°C

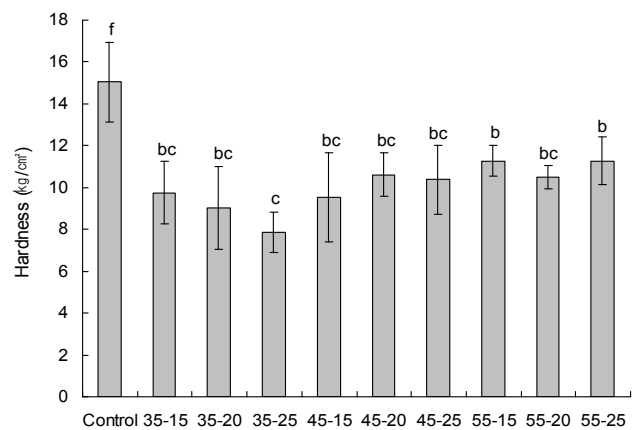
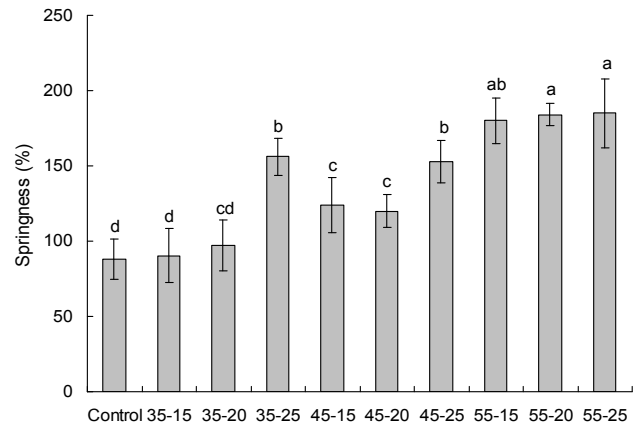


Fig. 5. Texture profile of hardness and springiness after supercritical CO₂ pretreatment conditions before drying. Samples are the same as in Table 1. ^{a-f}Means with different superscripts on the bars are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

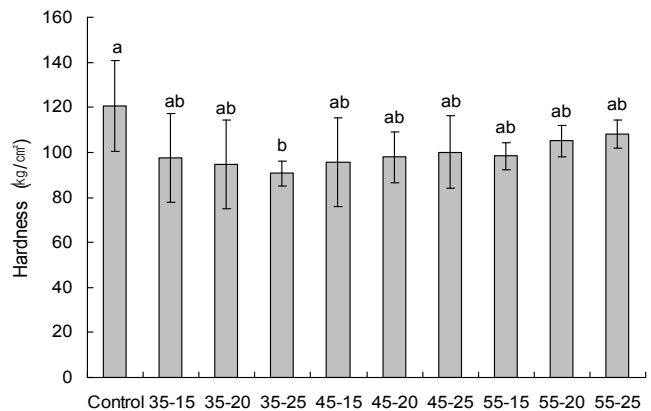


Fig. 6. Texture profile of hardness in dried apple according to supercritical CO₂ pretreatment conditions. Samples are the same as in Table 1. ^{a,b}Means with different superscripts on the bars are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

25 MPa에서 108.1 kg/cm²로 가장 높은 hardness를 보였다.

요약

초임계 이산화탄소를 건조 전처리 방법으로 사용하여 사

과의 품질변화를 관찰하고, polyphenol oxidase의 저해효과를 조사하였다. 색도의 경우 L, a, b값은 초임계 이산화탄소의 온도와 압력이 높을 때, 무처리구보다 변화가 적었다. 색차와 갈색도는 초임계 이산화탄소 온도와 압력이 증가할수록 작은 값을 나타내었다. 35°C, 15 MPa와 45°C, 20 MPa에서 무처리구보다 높은 갈색도를 나타내었다. Polyphenol oxidase(PPO) 활성은 초임계 이산화탄소의 온도와 압력이 증가할수록 활성이 억제되었다. 초임계 이산화탄소 전처리에 따른 springiness는 무처리구보다 증가하였고, hardness는 무처리구보다 감소하였으며, 초임계 이산화탄소의 압력과 온도가 증가할수록 springiness와 hardness는 증가하였다. 이상과 같이 초임계 이산화탄소 전처리가 건조 사과의 색과 조직감에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

문 헌

1. Holdsworth SD. 1971. Dehydration of food products. *J Food Technol* 6: 331-334.
2. Kim MH. 1990. Effects of pretreatments prior to conventional dehydration on dried product quality. *J Biochem Eng* 4: 30-35.
3. Poulsen RL. 1986. Optimization of vegetable blanching. *Food Technol* 40: 122-126.
4. Decareau RV. 1985. *Microwaves in the food processing industry*. Academic Press Inc, Orlando, USA. p 152-160.
5. Labele RL, Moyer JC. 1966. Dehydrofreezing red tart cherries. *Food Technol* 20: 1345-1349.
6. Dixon GM, Jen JJ, Paynter VA. 1976. Tasty apple slices results from combined osmotic-dehydration and vacuum-drying process. *Food Prod Dev* 10: 60-64.
7. Ponting JD, Watters GG, Ferry RR, Facson R, Stanley WL. 1966. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol* 20: 1365-1370.
8. McHugh MA, Krukonis VJ. 1986. *Supercritical fluid extraction: principle and practice*. Butterworths, Boston, MA, USA. p 1-22.
9. Lee BC, Kim JD, Hwang KY, Lee YY. 1989. Extraction characteristics of evening primrose oil with supercritical carbon dioxide. *J Korean Inst Chem Eng* 27: 522-530.
10. Hendel CE, Bailey GF, Taylor DH. 1950. Measurement of non-enzymatic browning of dehydrated vegetable during storage. *Food Technol* 14: 344-347.
11. Oszmianski J, Lee CY. 1990. Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *J Agric Food Chem* 38: 1892-1896.
12. Kincal NS, Ciray C. 1987. Kinetics of ascorbic acid degradation in potato blanching *Int J Food Sci Technol* 22: 249-254.
13. Sepers GM, Douglas JRJ. 1987. Measurement of enzymatic browning at cut surfaces and in juice of raw apple and pear fruits. *J Food Sci* 52: 1258-1262.
14. Eskin NAM. 1990. *Biochemistry of Food*. 2nd ed. Academic Press Inc, NY, USA. p 401-412.
15. Yamamoto A, Kasai MK, Simada A. 1992. Effects of high pressurizing process and standing after treatment on hardness of radish and the mechanism. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 30: 517-577.
16. Lee DU, Park JY, Lee YB, Yeo IH. 1995. Inactivation of microorganisms and browning enzymes in *Angelica keiskei* juice using high hydrostatic pressure. *Korean J Food Sci Technol* 27: 991-996.

(2009년 11월 25일 접수; 2010년 5월 24일 채택)