

## 폴리에틸렌글리콜 처리에 의한 백년초, 알로에 절편의 탈수 및 건조와 기존 건조 방법과의 비교

유동진 · 왕숙매 · 송경빈<sup>†</sup>  
충남대학교 식품공학과

### Dehydration of *Opuntia ficus-indica* and *Aloe vera* Slices Using Polyethylene Glycol and Comparison with Other Drying Methods

Dong-Jin Yu, Suk-Mae Wang, and Kyung Bin Song<sup>†</sup>

Dept. of Food Science & Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

#### Abstract

*Opuntia ficus-indica* and *Aloe vera* slices were dried using 20, 30, and 40% polyethylene glycol (PEG) 4,000 as a dehydration agent, and the dried samples were compared with the hot-air dried and freeze dried in terms of rehydration ratio, color, and sensory evaluation. The moisture content of the PEG-treated samples decreased with increasing concentrations of polyethylene glycol. The rehydration ratio of the PEG-treated samples was better than those of the hot air-dried or freeze-dried samples. The color of the PEG-treated samples was similar to that of the freeze-dried samples and better than that of the hot air-dried samples. The sensory evaluation of PEG-treated samples was better than those of the hot air-dried or freeze-dried samples. These results suggest that dehydration of *Opuntia ficus-indica* and *Aloe vera* slices using PEG is very effective in terms of rehydration ratio and minimal damage of cell structure.

**Key words:** *Opuntia ficus-indica*, *Aloe vera* slices, polyethylene glycol, dehydration

#### 서 론

식품산업에서 건조는 매우 중요한 공정으로서, 수분을 제거하고 고형분 함량을 증가시킴으로써 미생물에 의한 변패 방지와 더불어 부피 감소로 인한 저장·수송의 편의성 증진을 가져다준다(1). 근래에 건조채소 상품 개발이 많이 진행되고 있는데, 열풍건조는 처리가 쉽고 경제적이지만, 높은 온도에 의한 색, 영양 성분, 맛 등이 손실되고 건조 중 식물세포의 파괴에 의한 낮은 복원율을 보인다(2). 한편 동결건조는 열풍건조에 비해 맛, 기능성 성분, 향기 성분 등의 손실이 적고 조직의 파괴가 적어 관능적 특성을 가공 이전의 상태로 유지하는데 적합하나, 건조시간이 길고 에너지 소비 및 처리 비용이 높아 채소류의 건조에는 제한적으로 활용된다(2,3).

반면에 삼투압 원리에 의해 탈수가 이루어지는 삼투압 건조(4)는 야채류의 세포구조 파괴를 최소화하며 수분함량을 감소시키는 효율적인 방법이지만, 최종 제품이 보존적인 측면에서 안정하지 못하고 고장액을 구성하는 용질의 크기가 시료의 세포보다도 작아서 용질이 시료 내부로 확산되어 원형질막 분리 현상에 의해 탈수 효율이 떨어지고, 또한 시료의 품질을 저하시키는 단점이 있다(5,6).

이러한 삼투압건조에 비하여 시료의 세포 크기보다도 큰 용질을 사용함으로써 원형질막 분리 현상을 예방하고, 또한 세포벽을 사이에 두고 농도구배에 의해 생긴 압력에 의해 탈수되는 현상인 cytorrhysis를 이용하는 분자압축탈수 방법은 삼투압건조의 문제점인 용질 침투 현상을 방지할 수 있는데, 특히 세포 파괴로 나타나는 수축 현상에 의한 복원을 저하와 건조 중 갈변, 질감과 물성의 저하, 영양소 손실 등을 최소화 할 수 있는 방법으로 최근에 연구가 활발히 진행되고 있다(7-9).

최근 피부노화나 피부질환에 대한 관심의 증가와 더불어 화장품 산업에는 약품의 기능이 첨가된 기능성 화장품 혹은 약용화장품(cosmeceuticals)의 개념이 도입되고 있는데, 특히 부스럼, 종기, 화상 등에 약리작용을 나타낸다고 알려진 백년초(10-12)와 면역증강, 항균 등 생리활성을 갖는 알로에(11,13)는 다양한 가공식품의 원료로뿐만 아니라 화장품 원료로서도 사용된다. 따라서 본 연구에서는 백년초와 알로에를 이용한 기능성화장품 원료를 제조하기 위한 기초연구로써, 삼투압 탈수가 아닌 cytorrhysis 원리를 이용하기 위해서 수용성 고분자 물질인 폴리에틸렌글리콜을 사용하여 백년초와 알로에 절편을 탈수, 건조시킨 후 복원율, 색도, 관능평

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: kbsong@cnu.ac.kr  
Phone: 82-42-821-6723, Fax: 82-42-825-2664

가 등을 분석하고 또한 기존 건조방법인 열풍건조와 동결건조로 처리한 시료와 비교하여 그 결과를 보고하는 바이다.

### 재료 및 방법

#### 실험재료

본 실험에 사용된 백년초는 2009년 수확한 것으로 흐르는 물에 수세하여 표면의 이물을 제거한 후 채칼을 이용하여 두께가 1±0.5 mm인 평판 형태로 절단하여 직경이 15 mm 이상의 시료를 실험 재료로 사용하였다. 알로에는 2010년 수확한 것으로 완전히 성숙된 3년산의 신선한 알로에를 사용하였으며, 이물을 제거하기 위해 물로 세척하였고 두께가 0.5~1 cm의 평판 형태로 절단하여 시료로 사용하였다. 탈수제로 사용된 폴리에틸렌글리콜(PEG)은 평균 분자량이 4000인 Sanyo Chemical(Kyoto, Japan)의 제품을 구입하여 사용하였다.

#### 시료 건조

백년초, 알로에 절편 100 g에 분말 형태의 탈수제 PEG를 20, 30 및 40%(w/w)가 되게 각각 첨가하고, LDPE 필름(0.31 mm)에서 잘 혼합시켜 20°C shaking incubator(HB-201 SF, Hanbaek Co., Bucheon, Korea)에서 탈수되도록 하였다. 탈수 후 시료 표면의 탈수제를 제거하기 위해 수 초간 세척하고 물기를 제거한 후, 잔류 수분을 완전히 없애기 위해 20°C에서 방치하였다. 동결건조는 시료 100 g을 -70°C에서 동결시킨 후 동결건조기(FD-5508, Ilshin Lab Co., Seoul, Korea)를 사용하여 48시간 동안 동결건조 하였다. 열풍건조는 시료 100 g을 열풍건조기(HB-502LP, Hanbaek Co.)를 사용하여 70°C에서 24시간 건조하였다.

#### 수분함량 측정

시료의 수분함량은 AOAC 방법(14)에 의해 분석하였다. 건조기(Chang Shin Scientific Co., Seoul, Korea)를 이용하여

150±2°C에서 건조하여 분석하였고 시료마다 3회 반복 측정하였다. 건조 처리하기 전 백년초의 수분함량은 81.42±1.27%이었고, 알로에의 수분함량은 97.32±1.83%이었다.

#### 복원율 측정

건조된 백년초, 알로에 시료 1 g을 100 mL 비커 내 증류수 50 mL에 침지한 후, 항온수조를 이용하여 25°C에서 10분 간격으로 꺼내어 물기를 제거한 후 무게를 측정하였다. 복원율은 흡수된 물 무게 대비 시료 건물 무게(g/g)로 표시하였다.

#### 색도 측정

건조된 시료의 색도 측정은 표준백판(L=97.47, a=-0.02, b=1.67)으로 보정된 colorimeter(CR-400, Minolta Camera Co., Osaka, Japan)를 사용하여 Hunter L\*, a\* 및 b\* 값을 측정하였다. 각 시료는 3회 반복하여 측정하였다.

#### 관능검사

건조된 시료를 25°C에서 30분간 복원한 후 훈련된 10명의 패널로 복원된 시료의 향, 색깔, 경도, 외관 및 전체적인 품질을 9점 hedonic scale(9: 매우 좋음, 1: 매우 나쁨으로 9에서 1 사이 점수로 표시)을 사용하여 관능검사를 실시하였다.

#### 통계분석

모든 실험 결과의 유의성 검정은 SAS program(ver. 8.2) (15)을 사용하여 p<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test 방법을 사용하여 통계처리를 하였다. 실험 결과는 평균 ±표준편차로 나타내었다.

### 결과 및 고찰

#### 수분함량 변화

Cytorrhysis 원리를 이용하여 탈수한 백년초와 알로에 절편의 수분함량 변화를 측정하였다. PEG의 농도에 따른 처리 후 시간 별 탈수량을 측정한 결과, PEG로 처리한 백년초와

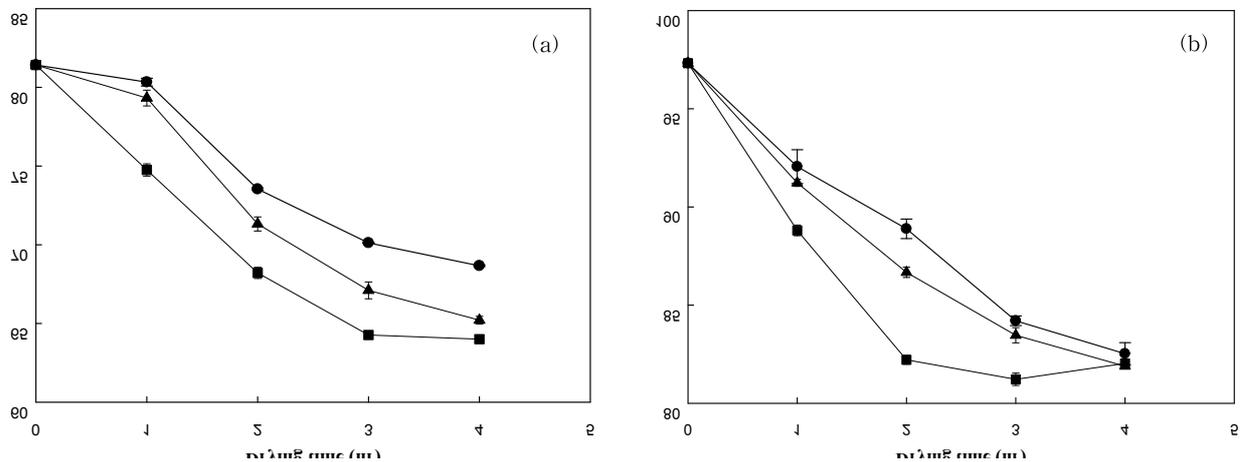


Fig. 1. Change in moisture content during drying of *Opuntia ficus-indica* and *Aloe vera* using polyethyleneglycol (PEG). Bars represent standard error. (a) *Opuntia ficus-indica*, (b) *Aloe vera*. ●: 20%, ▲: 30%, ■: 40%.

알로에 절편의 탈수에 있어서 처음 2시간 동안 급격한 감소를 보였고, 2시간 후부터 탈수 속도가 감소했으나 지속적인 수분 감소가 이루어졌다(Fig. 1). PEG 처리 후 초기 1시간부터 탈수제 농도가 증가할수록 높은 탈수율을 보였고, 이러한 경향은 백년초의 경우 PEG 20, 30%의 경우는 4시간까지, PEG 40%는 2시간까지 지속되었다(Fig. 1). 알로에의 경우도 PEG 20, 30%의 경우는 4시간까지, PEG 40%는 2시간까지 탈수율의 증가가 지속되었다(Fig. 1). Mayor 등(16)의 탈수제 농도와 침지시간에 따른 탈수 속도에 관한 연구에서도 본 연구와 유사한 결과가 보고된 바가 있다(16). 탈수제 첨가 4시간 후의 백년초 시료의 수분함량은 20, 30, 40% PEG 처리에서 각각 69, 64, 64%이었고, 알로에 시료의 수분함량은 20, 30, 40% PEG 처리 시 각각 83, 82, 82%이었다. PEG 처리 후, 저장성을 향상시키기 위해 20°C에서 방치함으로써 추가적으로 건조하였는데, 최종 수분함량을 측정한 결과 백년초의 경우, PEG 처리 건조는 처리농도 평균 9%, 동결건조는 6.11%, 열풍건조는 5.33%이었는데, PEG 처리 후 최종 수분함량이 다른 건조 방법에 비해 다소 높았지만 저장 중 미생물 생육이나 품질변화 등의 문제는 없었다. 또한 알로에는 PEG 처리 건조는 4.7%, 동결건조는 4.67%, 열풍건조는 3.5%이었다. 본 연구 결과, PEG로 처리된 백년초와 알로에 시료의 탈수 시간에 따른 탈수량은 탈수제의 농도가 높을수록 탈수되는 속도가 빨랐는데, 이것은 용질의 농도가 높을수록 분자압축탈수 과정에 있어서 세포벽에서의 압력 차이가 커지면서 탈수 양이 증가한 것으로 분석된다(7-9). Singh 등(6)의 보고에 의하면 저분자 물질을 이용하는 삼투압의 경우에는 초기 단계에서 저분자 물질들이 세포 안으로 빠르게 이동하여 탈수 속도가 빠르나 시간이 지날수록 탈수 속도가 느려진다고 보고하였는데(6), 이러한 현상은 cytorrhysis를 이용한 건조 방법에서도 나타났으나 삼투압의 경우처럼 농도가 평형을 이룰 때 건조가 끝나게 되는데 반하여 cyto-

rrhysis 현상은 분자 압축을 이용하므로 지속적인 건조 효과를 나타내기 위해 기존의 저분자량 탈수제를 이용하는 삼투압 탈수방법보다 탈수율이 뛰어나다고 판단된다(7-9).

**복원율 측정**

각각 다른 조건으로 건조된 백년초와 알로에를 60분간 복원을 한 후 복원율을 측정하였다. PEG 20, 30, 40% 처리한 백년초의 복원율은 열풍건조의 4.07보다 높았고, 동결건조의 9.17과는 비슷한 8.91, 8.81, 9.06 g/g이었다(Fig. 2). 알로에의 경우는 PEG 20, 30, 40% 처리가 각각 13.71, 15.20, 14.49 g/g으로 열풍건조의 7.73, 동결건조의 12.02보다 높았다(Fig. 2). 동결건조 처리 시료의 초기 복원율이 PEG 처리한 시료보다 높았지만 20분이 지나면서 그 증가 폭이 감소하였고, 백년초의 경우에도 동결건조와 PEG 처리한 시료의 최종 복원율이 비슷하였지만 알로에의 경우에는 PEG 처리 건조가 열풍건조나 동결건조보다 뛰어나다는 것을 보여주었다. 이러한 결과는 PEG를 처리하여 건조한 백년초나 알로에가 복원율이 높아서 시료 본래의 상태를 유지할 수 있는 것을 보여주는 것으로 복원 전과 후의 사진에서도 명확히 그 우수함이 나타난다(Fig. 3, 4). 이러한 건조 방법에 따른 복원율의 차이는 기존 방법에 의한 식품의 건조 시 친수성이 감소하여 세포의 빈 기공에 물이 재수화되는 것을 방해하고, 또한 높은 온도에 의하여 세포조직이 파괴되기 때문인 것으로 생각된다(16-18).

**색도 측정**

건조방법에 따른 백년초의 색도를 측정하였다(Table 1). Hunter L\* 값의 경우 PEG 처리한 시료의 Hunter L\* 값이 가장 높게 나왔으나, PEG 농도 별로 처리한 것에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Hunter a\* 값의 경우, PEG 처리한 백년초의 Hunter a\* 값이 대조구의 17.61과 비교할 때, 동결건조나 열풍건조 한 백년초보다 차이가 작음을 보였

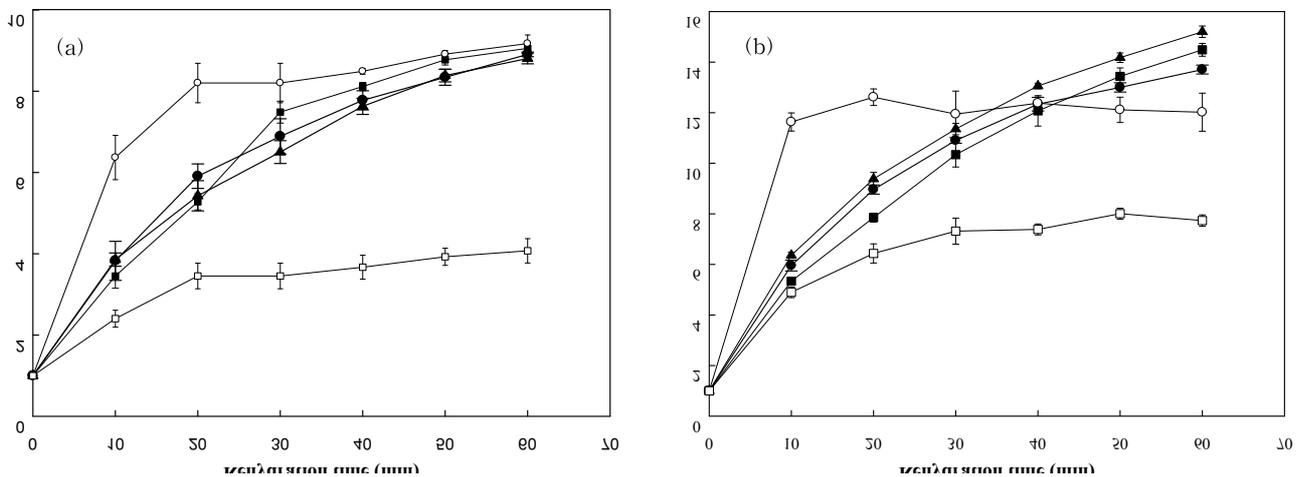


Fig. 2. Rehydration ratio of dried *Opuntia ficus-indica* and *Aloe vera*. Bars represent standard error. (a) *Opuntia ficus-indica*, (b) *Aloe vera*. ●: 20%, ▲: 30%, ■: 40% ○: freeze dried □: hot-air dried.



Fig. 3. Photos of polyethyleneglycol (PEG)-treated, freeze dried, and hot-air dried *Opuntia ficus-indica* before/after rehydration. PEG-treated before (a)/ after (b), freeze dried before (c)/ after (d), hot-air dried before (e)/ after (f).

Table 1. Hunter color values of freeze dried, hot-air dried, and polyethyleneglycol (PEG)-treated *Opuntia ficus-indica*

	Color parameter		
	L*	a*	b*
Control <sup>1)</sup>	26.73±0.13 <sup>e2)</sup>	17.61±0.27 <sup>d</sup>	1.30±0.11 <sup>a</sup>
FD	44.46±0.48 <sup>c</sup>	24.58±0.38 <sup>a</sup>	-4.27±0.34 <sup>e</sup>
HD	40.94±0.78 <sup>d</sup>	14.21±0.45 <sup>c</sup>	-0.76±0.20 <sup>b</sup>
PEG 20%	51.96±0.40 <sup>a</sup>	20.11±0.40 <sup>b</sup>	-2.46±0.14 <sup>d</sup>
PEG 30%	49.84±0.70 <sup>b</sup>	18.51±0.16 <sup>c</sup>	-1.13±0.15 <sup>c</sup>
PEG 40%	49.49±0.44 <sup>b</sup>	19.76±0.14 <sup>b</sup>	-2.46±0.11 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Control: raw, FD: freeze dried, HD: hot-air dried.

<sup>2)</sup>Any means in the same column followed by different letters are significantly different (p<0.05).

다(Table 1). Reynoso 등(19)에 의하면 백년초의 적색소인 betalains의 파괴는 온도와 pH에 의존하며, 산소의 존재 하에 betalains의 파괴가 촉진된다고 보고하였다. 이러한 현상은 열풍건조 시에 나타났는데, 열풍건조 처리한 백년초가 대조구보다 Hunter a\* 값이 작았다. 알로에의 경우도 PEG 처리한 알로에의 Hunter L\* 값이 열풍건조나 동결건조와는 달리 대조구인 신선 알로에의 18.40에 더 근접했지만 농도에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다(Table 2). Hunter a\*



Fig. 4. Photos of polyethyleneglycol (PEG)-treated, freeze dried, and hot-air dried *Aloe vera* before/after rehydration. PEG-treated before (a)/ after (b), freeze dried before (c)/ after (d), hot-air dried before (e)/ after (f).

Table 2. Hunter color values of freeze dried, hot-air dried, and polyethyleneglycol (PEG)-treated *Aloe vera*

	Color parameter		
	L*	a*	b*
Control <sup>1)</sup>	18.40±0.15 <sup>e2)</sup>	-3.29±0.08 <sup>b</sup>	4.35±0.11 <sup>f</sup>
FD	33.77±0.25 <sup>a</sup>	-3.86±0.04 <sup>d</sup>	10.17±0.07 <sup>a</sup>
HD	29.67±0.24 <sup>b</sup>	-1.96±0.06 <sup>a</sup>	8.71±0.10 <sup>c</sup>
PEG 20%	26.84±0.20 <sup>d</sup>	-3.70±0.03 <sup>c</sup>	7.64±0.03 <sup>e</sup>
PEG 30%	28.33±0.03 <sup>c</sup>	-4.11±0.02 <sup>e</sup>	9.27±0.01 <sup>b</sup>
PEG 40%	26.95±0.27 <sup>d</sup>	-3.25±0.03 <sup>b</sup>	7.81±0.05 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Control: raw, FD: freeze dried, HD: hot-air dried.

<sup>2)</sup>Any means in the same column followed by different letters are significantly different (p<0.05).

값은 PEG 처리한 알로에가 열풍건조된 것과 비교하여 대조구인 신선 알로에와 차이가 더 작음을 보였지만, 동결건조와는 큰 차이를 보이지는 않았다. 이러한 결과는 열풍건조나 동결건조보다 PEG 처리한 시료의 색도가 잘 보존됨을 말해 준다. Krokida 등(20)은 열풍건조 한 바나나, 당근, 감자 및 사과를 이용한 연구에서 Hunter L\*, a\*, b\* 값이 대조구에 비해 변화가 컸다는 결과를 통해 열풍건조에 따른 품질 저하를 보고한 바가 있다.

Table 3. Sensory evaluation of freeze dried, hot-air dried, and polyethyleneglycol (PEG)-treated *Opuntia ficus-indica*

	Organoleptic parameter				
	Texture	Color	Odor	Appearance	Overall
Control <sup>1)</sup>	9.00±0 <sup>a2)</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>
FD	7.13±1.13 <sup>b</sup>	7.20±1.01 <sup>c</sup>	7.07±0.80 <sup>d</sup>	6.87±0.83 <sup>d</sup>	6.73±1.58 <sup>c</sup>
HD	6.00±0.85 <sup>c</sup>	5.93±1.03 <sup>d</sup>	6.00±1.41 <sup>c</sup>	5.67±1.18 <sup>e</sup>	5.53±1.36 <sup>d</sup>
PEG 20%	8.00±0.85 <sup>b</sup>	7.93±0.70 <sup>b</sup>	7.93±0.80 <sup>b</sup>	7.93±0.80 <sup>bc</sup>	8.17±0.70 <sup>ab</sup>
PEG 30%	7.73±0.70 <sup>b</sup>	7.53±0.74 <sup>b</sup>	7.93±0.70 <sup>b</sup>	7.33±0.82 <sup>bc</sup>	7.67±0.72 <sup>b</sup>
PEG 40%	8.00±0.76 <sup>b</sup>	7.73±0.70 <sup>bc</sup>	7.87±0.83 <sup>b</sup>	7.73±0.70 <sup>c</sup>	7.80±0.94 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Control: raw, FD: freeze dried, HD: hot-air dried.

<sup>2)</sup>Any means in the same column followed by different letters are significantly different ( $p<0.05$ ).

Table 4. Sensory evaluation of freeze dried, hot-air dried, and polyethyleneglycol (PEG)-treated *Aloe vera*

	Organoleptic parameter				
	Texture	Color	Odor	Appearance	Overall
Control <sup>1)</sup>	9.00±0 <sup>a2)</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>	9.00±0 <sup>a</sup>
FD	5.13±1.20 <sup>c</sup>	5.25±0.89 <sup>d</sup>	6.50±1.07 <sup>cd</sup>	5.25±1.16 <sup>d</sup>	5.38±1.06 <sup>c</sup>
HD	5.13±0.83 <sup>c</sup>	6.00±0.76 <sup>c</sup>	5.88±0.64 <sup>d</sup>	6.25±1.04 <sup>c</sup>	6.00±0.76 <sup>c</sup>
PEG 20%	6.88±1.36 <sup>b</sup>	7.50±0.76 <sup>b</sup>	7.13±1.36 <sup>bc</sup>	6.88±1.25 <sup>bc</sup>	7.13±1.36 <sup>b</sup>
PEG 30%	7.38±0.74 <sup>b</sup>	7.63±0.52 <sup>b</sup>	7.50±0.93 <sup>b</sup>	7.50±0.76 <sup>b</sup>	7.50±0.93 <sup>b</sup>
PEG 40%	7.75±0.46 <sup>b</sup>	7.63±0.74 <sup>b</sup>	7.75±0.71 <sup>b</sup>	7.75±0.71 <sup>b</sup>	7.88±0.64 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Control: raw, FD: freeze dried, HD: hot-air dried.

<sup>2)</sup>Any means in the same column followed by different letters are significantly different ( $p<0.05$ ).

### 관능평가

건조된 백년초와 알로에를 복원한 후 관능평가를 실시하였다. 관능평가는 복원된 백년초, 알로에 시료의 향, 색도, 물성, 외관 및 전반적인 선호도에 관해 이루어졌는데, PEG 처리 시료가 동결건조, 열풍건조 시료보다 모든 평가요소에서 더 높은 평가를 받았다(Table 3, 4). 그러나 PEG 처리 농도의 차이에 따른 관능평가에서의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 한편 열풍건조 시료의 경우, PEG 처리 시료에 비해 관능평가에서 낮은 점수를 받았는데, 이것은 건조 과정에서 높은 온도에 의한 시료의 변색과 조직의 파괴 등 품질에 나쁜 영향을 준 것으로 판단된다. 그리고 동결건조된 알로에의 경우, 복원 후 사진(Fig. 4)에서 볼 수 있듯이 조직감이 떨어져 백년초와는 달리 열풍건조보다도 낮은 관능점수를 가졌다(Table 4). 따라서 본 연구 결과, PEG를 이용한 백년초와 알로에 절편의 건조 방법은 시료의 기능성 성분 손실 및 세포의 파괴를 최소화하고, 또한 신선한 시료 본래의 상태로 복원될 수 있기에, 저렴한 비용과 간편한 방법으로 품질이 우수한 건조된 백년초, 알로에 제품을 얻을 수 있다고 판단되며, 이러한 PEG 처리, 건조된 시료를 이용하여 향후 기능성 화장품 원료로의 활용이 가능하다고 판단된다.

### 요약

폴리에틸렌글리콜(PEG) 4,000을 20, 30, 40% 농도로 처리하여 백년초와 알로에 절편을 건조한 후, 열풍건조와 동결건조 처리된 시료와 복원율, 색도, 관능평가 등을 비교, 분석하였다. 건조시간에 따른 탈수 양은 두 시료 모두 PEG의 농도가 높을수록 탈수효율이 좋았다. 복원율에서는 열풍건조와

동결건조 처리 시료보다 PEG 처리 시료가 더 높은 복원율을 가졌다. 색도에서는 동결건조와 유사하였고 열풍건조보다는 우수하였다. 관능평가에서는 열풍건조나 동결건조보다 PEG 처리한 시료가 더 우수하였다. 따라서 본 연구 결과, PEG를 이용한 백년초와 알로에 절편의 건조는 시료의 세포 파괴를 최소화하고 신선한 시료 본래의 상태로 복원될 수 있는 매우 효율적인 건조방법이라고 판단되며, 건조된 제품을 향후 기능성화장품 원료 등으로의 활용이 가능하다고 판단된다.

### 문헌

1. Krokida MK, Marinos-Kouris D. 2003. Rehydration of dehydrated products. *J Food Eng* 57: 1-7.
2. Simal S, Femenia A, Llull P, Rossello C. 2000. Dehydration of aloe vera: simulation of drying curves and evaluation of functional properties. *J Food Eng* 43: 109-114.
3. George JP, Datta AK. 2002. Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. *J Food Eng* 52: 89-93.
4. Rastogi NK, Raghavarao K, Niranjana K, Knorr D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends Food Sci Technol* 13: 48-59.
5. Matusek A, Meresz P. 2002. Modeling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots. *Periodica Polytechnic Ser Chem Eng* 46: 83-92.
6. Singh B, Panesar PS, Nanda V. 2008. Osmotic dehydration kinetics of carrot cubes in sodium chloride solution. *Int J Food Sci Technol* 43: 1361-1370.
7. Kim MK, Kim MH, Yu MS, Song YB, Seo WJ, Song KB. 2009. Dehydration of carrot slice using polyethylene glycol and maltodextrin and comparison with other drying methods. *Korean J Food Sci Nutr* 38: 111-115.
8. Kim MH, Kim MK, Yu MS, Song YB, Seo WJ, Song KB.

2008. Drying of green pepper using maltodextrin. *Korean J Food Preserv* 15: 694-698.
9. Kim MH, Kim MK, Yu MS, Song YB, Seo WJ, Song KB. 2009. Dehydration of sliced ginger using maltodextrin and comparison with hot-air dried and freeze-dried ginger. *Korean J Food Sci Technol* 41: 146-150.
  10. Lee KS, Oh CS, Lee KY. 2005. Antioxidative effect of the fractions extracted from a cactus cheonnyuncho (*Opuntia humifusa*). *Korean J Food Sci Technol* 37: 474-478.
  11. Chung MS, Kim KH. 1996. Stability of betanine extracted from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 12: 506-510.
  12. Lee YC, Hwang KH, Han DH, Kim SD. 1997. Compositions of *Opuntia ficus-indica*. *Korean J Food Sci Technol* 29: 847-853.
  13. Grindlay D, Reynolds T. 1986. The aloe vera phenomenon: a review of the properties and modern uses of the leaf parenchyma gel. *J Ethnopharmacol* 16: 117-151.
  14. AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
  15. SAS Institute. 2001. SAS system for windows. Version 8.2. SAS Institute Inc Cary, NC, USA.
  16. Mayor L, Mreira R, Chenlo F, Sereno AM. 2006. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *J Food Eng* 74: 253-262.
  17. Krokida MK, Maroulis ZB. 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration. *Int J Food Sci Technol* 36: 529-538.
  18. Antonio VG, Roberto LM, Cristina BS, Fito, Andrés. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *J Food Eng* 85: 42-50.
  19. Reynoso R, Garcia FA, Morales D, Gonzalez E. 1997. Stability of betalain pigments from a cactacea fruit. *J Agric Food Chem* 45: 2884-2889.
  20. Krokida MK, Maroulis ZB, Saravacos GD. 2001. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *Int J Food Sci Technol* 36: 53-59.

(2010년 3월 16일 접수; 2010년 4월 16일 채택)