

당 삼투액을 달리한 삼투건조가 망고의 열풍건조에 미치는 영향

오현빈 · 심현정 · 백채완 · 장현욱* · 황 영** · †조용식**

국립농업과학원 농식품자원부 연구원, *국립농업과학원 농식품자원부 농업연구사,
**국립농업과학원 농식품자원부 농업연구관

Effect of Osmotic Dehydration with Different Type of Agents on Hot-air Drying of Mangoes

Hyeonbin Oh, Hyun-Jeong Shim, Chae-wan Baek, Hyun-Wook Jang*, Young Hwang** and †Yong Sik Cho**

Researcher, Dept. of Agro-Food Resources, NAAS, RDA, Wanju 55365, Korea

*Associate Researcher, Dept. of Agro-Food Resources, NAAS, RDA, Wanju 55365, Korea

**Senior Researcher, Dept. of Agro-Food Resources, NAAS, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract

In this study, the effect of osmotic drying conditions of mangoes on hot air drying was investigated. Four different osmotic agents of 60 Brix, such as S60, SM10, HF80, and SG25, were prepared. Mango slabs were osmotically dried with the agents at a ratio of 1:4 (w/w) for up to 8 hours. SG25 showed the lowest weight reduction and moisture loss during the process. As a result of hot-air drying, all samples showed a high correlation with the Page model (0.9761~0.9997), and the required drying time of all samples that were osmotically dried was reduced compared to the non-osmotically dried group. After hot-air drying, the pH value increased according to the drying temperature. The L, a, and b values and the total polyphenol content also decreased. Through this study, the possibility of osmotic drying was confirmed to increase the efficiency of hot air drying of mangoes, which is expected to contribute to the industrial use of domestic mangoes.

Key words: hot-air drying, mango, osmotic dehydration, polyphenol content, thin-layer drying model

서 론

망고(*Mangifera indica* L.)은 율리과에 속하는 다년생의 열대과수로, 인도가 원산지이며 아시아 지역에서 주로 재배되는 아열대과수이다. 망고는 단맛이 강하고 기호성이 좋은 향을 보유하고 있어 전세계적으로 선호되고 있으며 100여개 국가에서 5,500만 톤이 재배되고 있다(Maldonado-Celis 등 2019). 또한 비타민C, 카로티노이드, 페놀 화합물 등의 항산화물질이 포함되어 있으며, 그 중 mangiferin은 망고에 들어있는 폴리페놀류의 일종으로 항당뇨, 항염증 등의 생리활성에 도움을 주는 것으로 알려져 있다(Mei 등 2021).

한국에서는 1993년 필리핀에서 망고를 수입하기 시작한 이래로 주로 태국산과 페루산이 수입되고 있으며 2018년에

는 도합 16,954 톤이 국내로 수입되었다(Ji 등 2018). 최근 한반도의 기후 변화로 인하여 제주, 전라남도, 경상남도 등 국내 남쪽 지역에서도 망고가 생산되고 있는데, “애플망고”로도 불리는 Irwin 품종이 대다수를 차지하고 있고 생산량은 2016년 기준으로 382.6톤에 달한다(Ji 등 2018). 방역 절차로 인하여 미숙과에 증열처리를 하여 들여오는 수입산 망고에 비하여, 국내산의 경우 후숙이 거의 완료된 상태에서 수확하여 유통한다. 이러한 수확 방법은 망고의 향과 맛을 풍부하게 해주는 장점이 있으나 후숙 과정 중 과육이 물러져 쉽게 손상되고 저장성이 10~18℃에서 2주 정도로 낮으며 그 이후로는 급격한 품질 저하가 우려되므로 망고의 장기 저장 및 유통을 위한 방안이 요구되고 있다. 이와 관련하여 과육을 동결 처리(Khuwijitjaru 등 2022; Peng 등 2022)하거나, 건조

† Corresponding author: Yong Sik Cho, Senior Researcher, Dept. of Agro-Food Resources, NAAS, RDA, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-238-3630, Fax: +82-63-238-3843, E-mail: yscho@korea.kr

처리하는(Andrés 등 2007) 등의 연구가 진행되었다.

식품 건조 가공 방법 중 열풍건조는 가열된 공기를 대류시켜 식품의 표면을 건조시키는 방법으로 간단한 설비로도 건조가 가능하며 원물의 식감이 유지되는 장점이 있어 농가에서 주로 활용되는 건조방법이나, 높은 건조 온도로 인하여 원물의 외형, 조직 및 성분 등 품질이 열화하는 단점이 있다(So 등 2016; Hur 등 2018; Zhu 등 2022). 그러므로 건조물의 품질 유지와 에너지 소모 감소 등 산업적인 이용을 위해 열풍건조의 특성을 파악하여 조건을 설정할 필요가 있다. 이에 반응표면분석(response surface methodology) 및 박층건조모델(thin layer drying model) 등의 통계적, 수학적 모델링을 활용하여 목표 수분함량에 도달하는 건조 조건을 예측하거나(Vega-Gálvez 등 2014; Shin 등 2015; Ghasemi 등 2021; Liu 등 2021) 삼투건조 등의 전처리를 통해 초기 수분함량을 낮추고 열풍에 의한 건조시간을 단축하여 품질 저하를 줄이는 연구 등(Wang 등 2007; Choi 등 2008; Kim 등 2011)이 수행되고 있다.

삼투건조는 식품을 고농도의 당 또는 염 용액에 침지하여 삼투의 원리를 이용해 식품의 수분함량을 낮추는 건조 방법으로, 과일 및 채소 등을 건조하는 데에 주로 이용되고 있는 건조 방법이다. 삼투건조는 자연적인 물질이동 현상을 이용하기 때문에 다른 건조 방법들에 비하여 온도 변화를 크게 요구하지 않아 열에 의한 색, 맛, 향기 등의 변화가 적고 에너지 소모가 크지 않다는 장점이 있으며, 삼투액으로서 당 용액을 사용하였을 경우 용액으로부터 건조물로 당이 침투되어 맛이 개선되는 효과도 기대할 수 있다(Hong 등 1998; Castillo-Gironés 등 2021). 삼투건조로 주로 이용되는 물질은 sucrose, fructose, glycerol 등이 있으며 이들을 단독 또는 혼합 사용하여 삼투 건조의 효율을 높이기 위한 연구가 진행되었다(Kotovicz 등 2014; Khubber 등 2020).

따라서 본 연구에서는 당 침지액 종류에 삼투건조 특성의 차이를 규명하고, 박층 건조 모델에 따른 수학적 모델링을 활용하여 국내산 망고의 열풍건조의 효율을 높이고 품질 저하를 줄이는 방안을 탐색하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서 사용한 망고는 전라남도 영광에서 2022년 수확한 '홍망고' 품종을 구매하여 사용하였다. 사용한 망고의 평균 중량은 642.61 g, 평균 수분함량은 82.59%, 평균 당도는 17.8 Brix, 평균 폴리페놀 함량은 5.36 mg GAE/g였다. 삼투액을 제조하기 위하여 백설탕(white sugar, CJ, Seoul, Korea), 말토덱스트린(14~20 DE, ES food supplier, Seoul, Korea), 고과당(fructose >55%, ES food supplier, Seoul, Korea), 글리세린(Food

grade, ES food supplier, Seoul, Korea)을 구매하여 사용하였다. 삼투건조에 사용한 삼투액은 각각 60% sucrose 용액(S60), 50% sucrose+10% maltodextrin 용액(SM10), 80% 고과당(HF80), 40% Sucrose+25% glycerin 용액(SG25)을 준비하였다. 모든 삼투용액의 초기 당도는 60.0 Brix였다.

2. 삼투 건조

망고는 껍질과 씨를 제거한 후 칼과 버니어캘리퍼스를 이용하여 직육면체 형태(가로 50×세로 20×두께 6 mm)로 절단하여 실험에 사용하였다. 직육면체 형태로 절단 가공한 망고 절편 120 g을 준비한 후 각각의 삼투액에 1:4(w/v)의 비율로 혼합하였고 30℃로 조정된 shaking incubator에서 2, 4, 6, 8시간 동안 100 rpm의 속도로 shaking하여 삼투건조하였다. 삼투건조 후 망고 절편을 건져내고 표면을 1차 증류수로 세척하여 표면에 부착된 당을 제거하고 여과지를 이용하여 표면수분을 제거한 후 분석에 사용하였다.

3. 삼투건조 시 물질 이동

삼투 건조 중에 발생하는 물질 이동의 특성은 Choi 등(2008)의 연구에 따라, 시료 내부의 용질이 삼투액으로 이동하는 확산작용이 일어나지 않고, 삼투건조 중 삼투액의 농도가 항상 균일하다는 가정 하에서 조사하였다. 중량 감소(weight reduction, WR), 수분 손실(moisture loss, ML) 및 고형분 획득(solid gain, SG)을 각각 아래의 식을 통해 구하여 나타내었다.

$$\text{Weight reduction (\%)} = \frac{w_i - w_t}{w_i} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Moisture loss (\%)} = \frac{w_i w_{mi} - w_t w_{mt}}{w_i} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Solid gain (\%)} = \frac{w_i w_{si} - w_t w_{st}}{w_i} \times 100 \quad (3)$$

여기에서,

w_i : 망고의 초기 무게

w_t : t 시간 삼투건조한 망고의 무게

w_{mi} : 망고의 초기 수분함량

w_{mt} : t 시간 삼투건조한 망고의 수분함량

w_{si} : 망고의 초기 당도

w_{st} : t 시간 삼투건조한 망고의 당도

이 때, W_{mi} 및 W_{mt} 는 높은 당 함량을 고려하여 시료를 해사(Sea sand, Duksan, Seoul, Korea)와 혼합하여 103℃에서 가열하는 상압가열건조법으로 측정하였고, W_{si} 및 W_{st} 는 망고 절편을 착즙한 착즙액의 당도를 굴절 당도계(Refractometer,

Hanna instrument, Germany)로 측정하였다.

4. 삼투건조 후 이화학적 변화

삼투건조 직후 망고 절편의 이화학적 변화를 분석하기 위해 Choi 등(2021)의 방법을 변형하여 pH, 총산도, 표면색도 및 총 폴리페놀 함량을 측정하였다. pH는 시료 10 g을 증류수 90 mL와 혼합하고 homogenizer로 12,000 rpm에서 균질화한 후 pH meter(Easy pH titrator, METTER TOLEDO, Columbus, OH, USA)를 이용하여 측정하였다. 총산도는 pH 8.3이 될 때까지 0.1 N NaOH로 적정하여 소비된 용량을 citric acid(%)로 환산하여 계산하였다. 표면색도는 색차계(Ultrascan pro, Hunterlab, VA, USA)를 사용하여 L값(명도), a값(적색도), b값(황색도)을 측정하였고 L=99.52, a=-0.14, b=-0.12의 색차표를 갖는 표준 백색판으로 보정하였다. 총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis법(Singleton & Rossi 1965)을 변형한 방법을 이용하였다. 즉, 시료 10 µL에 증류수 790 µL와 0.9 N Folin-Ciocalteu 시약(Merck kGaA, Darmstadt, Germany) 50 µL과 20% 탄산나트륨(Merck kGaA, Darmstadt, Germany) 용액 150 µL을 차례로 넣어 혼합하고 암실(25°C)에서 2시간 동안 반응시킨 후 microplate reader(Infinite 200 PRO, Tecan, Mannedorf, Switzerland)를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid(Merck kGaA, Darmstadt, Germany)을 사용하여 각 시료의 총 폴리페놀 함량을 GAE(Gallic acid equivalent)로 환산하였다.

5. 열풍건조 및 건조 특성

삼투액 종류 및 시간을 달리하여 삼투건조한 망고 절편을 식품건조기를 이용하여 50°C 및 70°C에서 8시간까지 열풍건조하였다. 이때 삼투건조하지 않은 생과 절편(R)을 대조구로 하여 비교하였다. 시간별 수분 비율(moisture ratio, MR)은 Sehrawat 등(2018)의 방법에 따라 1시간 간격으로 건조기에서 시료를 꺼낸 후 데시케이터에서 10분간 방냉하고 수분 정량하여 구하였다(4). 또한, 열풍건조한 망고 절편의 건조특성을 조사하기 위하여 측정된 수분정량 데이터를 박층 건조 모델(thin-layer drying model) 중 Page model(Page GE 1949)에 적용하여 지수 n과 k를 구하였고(5) Choi 등(2008)이 제시한 방법에 따라 수분함량이 0.2 g water/g dry solid가 될 때까지 소요되는 건조시간을 산출하였다.

$$\text{Moisture ratio (MR, \%)} = \frac{M_t}{M_0} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{MR} = \frac{M_t}{M_0} = \exp(-kt^n) \quad (5)$$

여기에서,

M_t : t 시간 건조한 시료의 수분함량

M_0 : 시료의 초기 수분함량

k, n : Page model 상수

6. 열풍건조 망고 절편의 품질 변화

열풍건조 망고 절편 시료는 Page model에 의하여 산출된 건조시간을 바탕으로 하여 50°C 및 70°C에서 수분함량이 0.2 g water/g dry solid가 되도록 각각 건조된 것을 준비하였다. 망고 절편의 pH는 시료와 증류수를 1:9(w:v)로 혼합하고 mixer를 사용하여 분쇄하고 homogenizer로 12,000 rpm에서 균질화한 후 pH meter(Easy pH titrator, METTER TOLEDO, Columbus, OH, USA)를 이용하여 측정하였다. 총산도는 pH 8.3이 될 때까지 0.1 N NaOH로 적정하여 소비된 용량을 citric acid(%)로 환산하여 계산하였다. 표면색도는 색차계(Ultrascan pro, Hunterlab, VA, USA)를 사용하여 L값(명도), a값(적색도), b값(황색도)을 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 삼투건조 직후의 망고 절편을 분석할 때와 동일하게 Folin-Denis법(Singleton & Rossi 1965)을 변형한 방법을 이용하였고 표준물질로 gallic acid(Merck kGaA, Darmstadt, Germany)을 사용하여 각 시료의 총 폴리페놀 함량을 GAE(gallic acid equivalent)로 환산하였다.

7. 통계 처리

삼투건조 전후의 이화학적 변화를 비교하기 위하여 SPSS (IBM SPSS Statistics version 22.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 독립표본 t검정을 실시하였다. 그 외 실험 결과는 SPSS(version 22.0, SPSS Inc.)를 이용하여 일원배치 분산분석 후 Duncan's multiple range test로 유의성을 검증하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 삼투건조 시 물질 이동

망고 절편의 중량 감소는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 침지 시간에 따라 증가하였고 당 삼투액의 종류에 따라 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). HF80의 경우 2시간 침지에서 25.05±0.22%, 8시간 침지에서 44.12±0.39%로 시간에 따른 중량감소 변화가 가장 높은 변화율을 보였다. 8시간 침지 후 무게의 감소량은 SM10 < S60 < SG25 < HF80 순으로 나타났다. 수분감소량은 26.63±1.22%에서 최대 53.65±1.68%까지 변화하였으며 8시간 침지 후 무게의 감소량은 S60과 SM10 사이의 유의적인 차이를 보이지 않았고 HF80 및 SG25에 비하여 낮게 나타났다(Fig. 2). 특히 SG25에서는 2시간 침지했을

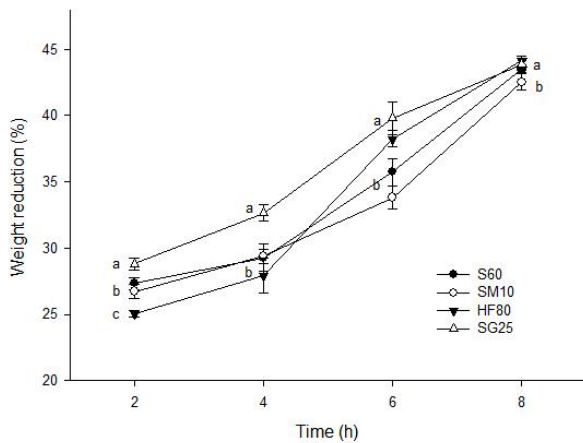


Fig. 1. Weight reduction (%) of mango slab in osmotic dehydration. S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution. ^{a-c}Values with the same superscripts within a same time (x) is not significantly different.

때 $31.72 \pm 1.82\%$, 8시간 침지했을 때 $53.65 \pm 1.68\%$ 로 가장 많은 감소량을 보였다. 고형분 획득량은 Fig. 3에서와 같이 침지 시간에 따라 2.31~7.20%의 범위를 보이며 증가하였고, SG25에서 2시간 침지했을 때 $5.13 \pm 0.13\%$, 8시간 침지했을 때

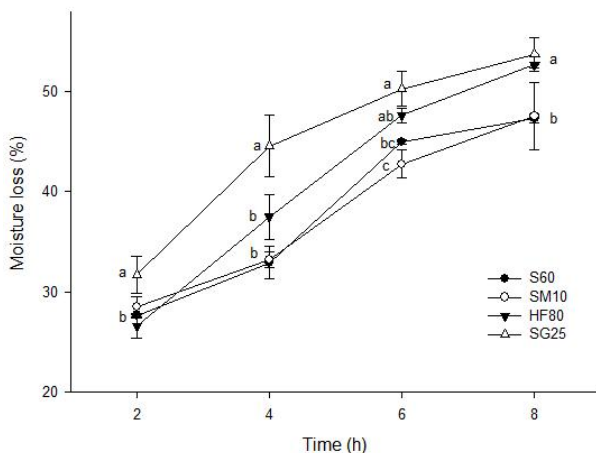


Fig. 2. Moisture loss (%) of mango slab in osmotic dehydration. S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution. ^{a-c}Values with the same superscripts within a same time (x) is not significantly different.

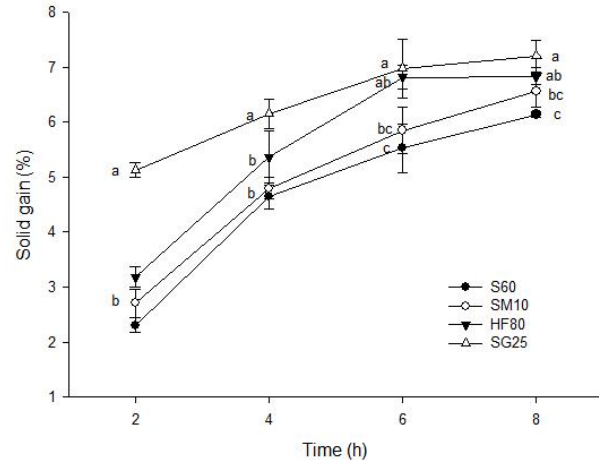


Fig. 3. Solid gain (%) of mango slab in osmotic dehydration. S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution. ^{a-c}Values with the same superscripts within a same time (x) is not significantly different.

$7.20 \pm 0.29\%$ 로 가장 많은 증가량을 보였다. 과당과 글리세린은 설탕에 비해 분자량이 낮아 삼투압 시 더 침투가 잘 일어나 삼투건조 시 수분함량과 고형분 함량에 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Pattanapa 등 2010; Chauhan 등 2011). 말토덱스트린 또한 과일의 세포벽을 기준으로 한 농도차를 제공하여 삼투건조에 활용될 수 있다고 알려져 있다 (Kim 등 2009), 그러나 Shinde & Ramaswamy(2020)는 말토덱스트린이 설탕보다 분자량이 커 과일 표면에 장벽을 만들기 때문에 말토덱스트린 혼합액이 순수 설탕 용액에 비하여 삼투건조 시 수분 손실의 속도가 떨어지고 고형분 획득량이 줄어든다고 보고하였다. 본 연구결과에서도 침지 시간에 관계없이 SM10의 고형분 획득량이 S60에 비하여 낮게 나타났다.

2. 삼투건조 중 이화학적 변화

삼투액을 다르게 하여 삼투건조한 망고 절편의 이화학적 변화는 Table 1과 같다. pH의 경우 4.72~4.96의 범위를 보였고, 총산도는 0.47~0.58%의 범위를 보였으며 모든 처리구에서 삼투건조 전후로 pH가 증가하고 총산도가 감소하였다. 이는 삼투건조에 의한 유기산 이동이 시료의 pH에 영향을 준 것으로 예상된다. 총 폴리페놀 함량을 측정한 결과에서도 모든 처리구에서 삼투건조에 의해 총 폴리페놀 함량이 감소하였는데, Devic 등(2010)의 연구에서도 사과의 삼투건조 중 온도 및 시간에 따라 vitamin C 및 폴리페놀의 함량이 감소한다고 하여 본 연구결과와 유사한 결과를 보였다. 표면색도의

Table 1. Quality attributes of mango slab in osmotic dehydration with different agent

Samples		pH	Acidity (%)	Polyphenol (mg GAE/g)
S60 ¹⁾	Before	4.57±0.03	0.53±0.02	5.58±0.25
	After	4.76±0.05	0.50±0.01	4.31±0.36
T-value		-5.970**	1.548	5.006**
SM10	Before	4.57±0.03	0.65±0.02	5.42±0.43
	After	4.96±0.04	0.51±0.01	4.14±0.24
T-value		-7.892**	14.335***	4.521*
HF80	Before	4.86±0.07	0.53±0.02	5.01±0.23
	After	4.96±0.01	0.47±0.01	4.36±0.69
T-value		-2.379	7.655**	1.552
SG25	Before	4.61±0.07	0.72±0.03	5.44±0.26
	After	4.72±0.02	0.58±0.01	4.55±0.45
T-value		-2.764	8.758**	2.975*

¹⁾ S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution.

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

경우 Table 2와 같이 삼투건조 전의 생과와 비교하였을 때 HF80이 6.28±0.08으로 가장 많은 색차값을 보였고, S60 및 SM10은 HF80 및 SG25에 비하여 낮게 나타났다.

3. 열풍건조의 drying kinetics

식품의 건조는 건조 곡선에서 항률건조기간이 매우 짧거나 없으며 감률건조기간이 전체 건조 기간의 대부분을 차지한다(Delfiya 등 2022). 따라서 박층 건조 모델의 경우 감률건조기간에서의 건조 형태를 가정하여 다공성 구조 내의 수분이 표면으로 이동하는 모세관 현상과 열풍에 의한 식품 표면에서의 수분 확산을 계산한다(Inyang 등 2018). 당 삼투액을 다르게 하여 삼투건조한 처리구의 열풍건조 특성을 Page model에 적용한 결과는 Table 3과 같다. 수학적 모델의 적합성을 나타내는 결정계수(R^2)의 값이 열풍건조 온도와 관계없이 모든 처리구에서 0.9761~0.9997로 나타나 매우 높은 적합성을 보였다. 이에 따라 Buzrul S(2022)이 제시한 비판적 고찰을 바탕으로 하여, Two-term(Hutchinson & Otten 1983), Weibull(Karacabey & Buzrul 2017) 등의 다른 박층 건조 모델은 고려하지 않았다. 삼투액 처리와 관계없이 k 값은 50℃일 때보다 70℃일 때 더 높게 나타났는데, 일반적으로 Page model에서의 k 는 식품 외부의 건조 환경과 연관되어 있는 값으로 건조 온도가 높을수록 k 값이 증가하는 것으로 알려져 있다(Roberts 등 2008; Santos 등 2017). 한편 n 값 또한 모든 삼투액 처리구에서 온도에 따라 증가하는 경향을 보였다. Page model에서 n 값은 식품 내부의 건조 환경과 연관되어 있고 이론적인 환경에서는 건조 온도에 의한 경향성을 보이지 않으나

(Simpson 등 2017), 높은 온도에 의한 내부 환경의 변화로 인해 n 값이 증가한 것으로 판단되며, Macedo 등(2020)의 연구에서도 Page model을 적용하였을 때 바나나의 건조 온도에 따라 n 값이 증가하는 경향을 보여 본 결과와 유사하였다. 도출된 건조모델을 바탕으로 최종 수분함량이 0.2 g water/g solid가 되는 소요시간을 산출한 결과 모든 처리구에서 온도가 증가할수록 소요시간이 감소하였고, 삼투건조 처리하지 않은 생과를 열풍건조 하였을 때에 비해(50℃에서 10.41, 70℃에서 4.72) 더 짧게 나타났다. F80의 경우 50℃에서는 9.11, 70℃에서는 HF80에서는 2.79로 가장 짧은 시간이 산출되었다.

4. 열풍건조 망고 절편의 품질 특성

열풍건조된 망고 절편의 pH는 Table 4에서 보이는 바와 같이 5.01~5.58의 범위를 보였으며, Table 1에서 제시된 삼투건조된 망고 절편의 pH와 비교하였을 때 더 높게 나타났다. 총산도는 모든 처리구에서 온도의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며 삼투건조된 망고 절편과 비교하였을 때 더 낮게 나타났다. Akther 등(2020)의 연구에서도 다양한 가열 건조 방법을 사용하였을 때 망고의 pH가 높아졌으며 총산도가 낮아지는 결과를 보여 본 연구의 결과와 유사하였고 이는 열풍 건조 중 생성되는 갈색화 반응에 의한 것으로 추측된다. 총 폴리페놀 함량 또한 온도에 따라 감소하는 경향을 보였고 1.99~3.70 mg GAE/g의 범위를 보여 생과 및 삼투건조 망고 절편에 비해 낮게 나타났다. 한편 표면색도 측정 결과는 Table 5에서와 같이 모든 당 침지액 처리구에서 온도에 관계없이 삼투건조 망고 절편에 비해 L값, a값 및 b값이 모두 감

Table 2. Color values of mango slab in osmotic dehydration with different agent

Samples		Color values			
		L	a	b	$\Delta E^2)$
S60 ¹⁾	Before	66.41±0.05	25.46±0.12	51.72±1.09	0
	After	66.63±0.47	24.01±0.20	52.21±0.67	1.68±0.18
	<i>T</i> -value	-0.745	10.820 ^{***}	-0.657	-15.997 ^{***}
SM10	Before	61.53±0.61	27.67±0.11	52.78±1.07	0
	After	62.56±0.03	26.81±0.10	52.76±0.24	1.36±0.06
	<i>T</i> -value	-2.906 [*]	10.280 ^{**}	-0.032	-37.707 ^{***}
HF80	Before	69.72±0.41	23.95±0.30	50.60±0.72	0
	After	65.61±0.22	28.31±0.04	52.47±0.16	6.28±0.08
	<i>T</i> -value	15.195 ^{***}	-24.870 ^{**}	-4.371 [*]	-129.789 ^{***}
SG25	Before	61.11±0.15	27.71±0.69	48.03±1.15	0
	After	64.55±0.38	26.92±0.33	51.58±0.57	5.04±0.47
	<i>T</i> -value	-14.571 ^{***}	1.775	-4.798 ^{**}	-18.620 ^{***}

¹⁾ S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution.

²⁾ ΔE = Compared with Fresh fruit.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Table 3. Mathematical modeling with Page model of hot-air dried mango

Treatment	Temperature (°C)	Page model fitting			$T_{0.2}^1)$ (h)
		n	k	R^2	
Fresh	50	0.7595	0.6462	0.9713	10.41
	70	0.8477	0.7993	0.9761	4.72
S60 ²⁾	50	0.6743	0.5277	0.9997	9.37
	70	0.7001	0.7876	0.9931	3.19
SM10	50	0.6802	0.4975	0.9989	9.49
	70	0.7870	0.6906	0.9993	3.92
HF80	50	0.7087	0.4893	0.9995	9.11
	70	0.9285	0.7876	0.9931	2.79
SG25	50	0.5481	0.5077	0.9998	9.50
	70	0.5775	0.8870	0.9946	3.65

¹⁾ $T_{0.2}$ = Expected drying time for moisture content to reach 0.2 g water/g solid.

²⁾ S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution.

소하였고, 이는 가열에 의한 갈색화 반응에 의한 것으로 추정된다(Jain 등 2017). 또한 70°C에서 건조하였을 때 HF80의 색차값이 27.94로 가장 높게 나타났는데, 이는 Chauhan 등 (2011)의 결과에서와 유사하게 환원당인 fructose가 비환원당인 sucrose에 비하여 갈색화 반응을 더 잘 일으키기 때문에 색에서도 변화가 일어난 것으로 추정된다.

요약 및 결론

본 연구는 국내산 망고의 열풍건조 시 품질저하를 감소시키기 위한 목적으로 60% 설탕(S60), 50% 설탕과 10% 말토덱스트린(SM10), 80% 고과당(HF80), 45% 설탕과 25% 글리세롤(SG25) 등 60 Brix의 총 4가지의 당 삼투액을 준비하여 삼투건조 처리하고 50°C 및 70°C에서 열풍건조를 병행처리하

Table 4. Quality attributes of mango slab in hot-air drying with different temperature

Treatment	Temperature (°C)	Properties		
		pH	Acidity (%)	Polyphenol (mg GAE/g)
S60 ¹⁾	50	5.58±0.04 ^a	0.41±0.01 ^c	3.70±0.44 ^a
	70	5.53±0.03 ^a	0.27±0.01 ^d	3.12±0.08 ^{ab}
SM10	50	5.26±0.06 ^c	0.27±0.01 ^d	3.27±0.29 ^{ab}
	70	5.40±0.02 ^b	0.42±0.00 ^e	2.84±0.56 ^b
HF80	50	5.01±0.03 ^d	0.44±0.00 ^b	3.28±0.26 ^{ab}
	70	5.55±0.03 ^a	0.21±0.01 ^e	2.92±0.47 ^b
SG25	50	5.04±0.02 ^d	0.53±0.00 ^a	2.69±0.23 ^b
	70	5.30±0.03 ^c	0.51±0.01 ^a	1.99±0.28 ^c

¹⁾ S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution.

^{a-c}Values with the same superscripts within a row are not significantly different.

Table 5. Color values of mango slab in hot-air drying with different temperature

Treatment	Temperature (°C)	Color values			
		L	a	b	ΔE ²⁾
S60 ¹⁾	50	59.12±0.01 ^{cd}	20.39±0.02 ^c	29.05±0.01 ^d	24.35±0.01 ^b
	70	63.03±0.29 ^a	16.18±0.07 ^f	30.09±0.58 ^{cd}	23.78±0.55 ^b
SM10	50	56.00±0.66 ^e	24.95±0.23 ^a	32.69±0.85 ^b	21.02±0.76 ^c
	70	62.76±0.54 ^a	17.11±0.08 ^e	31.03±1.59 ^{bc}	24.22±1.43 ^b
HF80	50	60.13±1.47 ^{bc}	23.09±0.41 ^b	36.38±1.55 ^a	17.19±1.96 ^d
	70	58.37±0.62 ^d	15.74±0.12 ^g	26.42±0.74 ^e	27.94±0.92 ^a
SG25	50	56.18±0.10 ^e	24.66±0.16 ^a	31.13±0.35 ^{bc}	17.87±0.33 ^d
	70	60.88±0.71 ^b	18.33±0.36 ^d	29.84±1.32 ^{cd}	20.48±1.35 ^c

¹⁾ S60=Sample treated with 60% sugar solution, SM10=Sample treated with 50% sugar and 10% maltodextrin solution, HF80=Sample treated with 80% high fructose corn syrup solution, SG25=Sample treated with 45% sugar and 25% glycerol solution.

²⁾ ΔE=Compared with fresh fruit.

^{a-g}Values with the same superscripts within a row are not significantly different.

였을 때의 품질 변화를 분석하였다. 8시간까지 삼투건조를 진행하였을 때 삼투액의 종류에 따라 증량 감소량, 수분 손실량 및 고형분 획득량에 유의적인 차이를 보였으나, SM10은 S60에 비하여 수분 손실량과 고형분 획득량이 낮게 나타났다. 8시간 동안 삼투건조를 진행한 결과 pH와 총산도에는 큰 영향을 주지 않았으나 총 폴리페놀 함량은 모든 삼투액에 대하여 삼투건조 함량이 감소하였다. 삼투건조한 망고 절편을 열풍건조하였을 때, 박층 건조 모델 중 Page model이 매우 높은 적합성을 보였으며(0.9761~0.9997), 삼투건조 시 생과를 건조할 때와 비교하여 건조 소요 시간이 줄어드는 것을 확인하였다. 열풍건조한 망고의 품질 특성을 측정한 결과 건조 온도에 따라 pH가 높아지고 총산도가 감소하는 경향을 보였

다. 표면색도에서는 L, a, b값이 모두 감소하였으며, 총 폴리페놀 함량 또한 생과 및 삼투건조 시료에 비하여 낮게 나타났다. 본 연구를 통해 망고의 열풍건조 효율을 높이기 위한 삼투압건조의 가능성을 확인하였으며, 국내산 망고의 장기 보관 및 산업적 이용에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 기관고유과제 연구사업(과제번호: PJ01593001)의 연구비 지원으로 수행된 과제로 이에 감사드립니다.

References

- Akther S, Sultana A, Badsha MR, Rahman MM, Alim MA, Amin AM. 2020. Physicochemical properties of mango (Amropali cultivar) powder and its reconstituted product as affected by drying methods. *Int J Food Prop* 23:2201-2216
- Andrés A, Fito P, Heredia A, Rosa EM. 2007. Combined drying technologies for development of high-quality shelf-stable mango products. *Dry Technol* 25:1857-1866
- Buzrul S. 2022. Reassessment of thin-layer drying models for foods: A critical short communication. *Processes* 10:118
- Castillo-Gironés S, Masztalerz K, Lech K, Issa-Issa H, Figiel A, Carbonell-Barrachina AA. 2021. Impact of osmotic dehydration and different drying methods on the texture and sensory characteristic of sweet corn kernels. *J Food Process Preserv* 45:e15383
- Chauhan OP, Singh A, Singh A, Raju PS, Bawa AS. 2011. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. *Int J Food Prop* 14:1037-1048
- Choi HD, Lee HC, Kim YS, Choi IW, Park YK, Seog HM. 2008. Effect of combined osmotic dehydration and hot-air drying on the quality of dried apple products. *Korean J Food Sci Technol* 40:36-41
- Choi JY, Kim J, Kim J, Jeong S, Yun KJ, Kim J, Moon JT, Moon KD. 2021. Quality characteristics of hot-air dried 'Darae' (*Actinidia arguta*) with different sugar osmotic dehydration pretreatment. *Korean J Food Preserv* 28:325-335
- Delfiya DSA, Prashob K, Murali S, Alfiya PV, Samuel MP, Pandiselvam R. 2022. Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *J Food Process Eng* 45:e13810
- Devic E, Guyot S, Daudin JD, Bonazzi C. 2010. Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. *J Agric Food Chem* 58:606-614
- Ghasemi J, Moradi M, Karpavarfarfard SH, Golmakani MT, Khaneghah AM. 2021. Thin layer drying kinetics of lemon verbena leaves: A quality assessment and mathematical modeling. *Qual Assur Saf Crop Foods* 13:59-72
- Hong JH, Youn KS, Choi YH. 1998. Optimization for the process of osmotic dehydration for the manufacturing of dried kiwifruit. *Korean J Food Sci Technol* 30:348-355
- Hur YJ, Kim GJ, Song D, Yoon JA, Chung KH, An JH. 2018. Effects of drying methods on the quality characteristics and antioxidant activity of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.). *Korean J Food Nutr* 31:933-939
- Hutchinson D, Otten L. 1983. Thin-layer air drying of soybeans and white beans. *Int J Food Sci Technol* 18:507-522
- Inyang UE, Oboh IO, Etuk BR. 2018. Kinetic models for drying techniques—food materials. *Adv Chem Eng Sci* 8:27-48
- Jain D, Wang J, Liu F, Tang J, Bohnet S. 2017. Application of non-enzymatic browning of fructose for heating pattern determination in microwave assisted thermal pasteurization system. *J Food Eng* 210:27-34
- Ji ST, Youm JW, Yoo JY. 2018. A feasibility study on the cultivation of tropical fruit in Korea: Focused on mango. *J Korea Acad Ind Coop Soc* 19:252-263
- Karacabey E, Buzrul S. 2017. Modeling and predicting the drying kinetics of apple and pear: Application of the Weibull model. *Chem Eng Commun* 204:573-579
- Khubber S, Chaturvedi K, Gharibzahedi SMT, Cruz RMS, Lorenzo JM, Gehlot R, Barba FJ. 2020. Non-conventional osmotic solutes (honey and glycerol) improve mass transfer and extend shelf life of hot-air dried red carrots: Kinetics, quality, bioactivity, microstructure, and storage stability. *LWT* 131:109764
- Khuwijitjaru P, Somkane S, Nakagawa K, Mahayothee B. 2022. Osmotic dehydration, drying kinetics, and quality attributes of osmotic hot air-dried mango as affected by initial frozen storage. *Foods* 11:489
- Kim GC, Lee SY, Kim KM, Kim Y, Kim JS, Kim HR. 2011. Quality characteristics of hot-air and freeze dried apples slices after osmotic dehydration. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:848-852
- 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. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:111-115
- Kotovicz V, Ellendersen LSN, das Mercedes Clarindo M, Masson ML. 2014. Influence of process conditions on the kinetics of the osmotic dehydration of yacon (*Polymnia sonchifolia*) in fructose solution. *J Food Process Preserv* 38:1385-1397
- Liu J, Li X, Yang Y, Wei H, Xue L, Zhao M, Cai J. 2021. Optimization of combined microwave and hot air drying technology for purple cabbage by Response Surface Methodology (RSM). *Food Sci Nutr* 9:4568-4577

- Macedo LL, Vimercati WC, da Silva Araújo C, Saraiva SH, Teixeira LJQ. 2020. Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. *J Food Process Eng* 43:e13451
- Maldonado-Celis ME, Yahia EM, Bedoya R, Landázuri P, Loango N, Aguilón J, Restrepo B, Guerrero Ospina JC. 2019. Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds. *Front Plant Sci* 10:1073
- Mei S, Ma H, Chen X. 2021. Anticancer and anti-inflammatory properties of mangiferin: A review of its molecular mechanisms. *Food Chem Toxicol* 149:111997
- Page GE. 1949. Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn in thin-layers. Master's Thesis, Purdue Univ. West Lafayette. IN
- Pattanapa K, Therdthai N, Chantrapornchai W, Zhou W. 2010. Effect of sucrose and glycerol mixtures in the osmotic solution on characteristics of osmotically dehydrated mandarin cv. (*Sai-Namphaung*). *Int J Food Sci Technol* 45:1918-1924
- Peng Y, Zhao J, Wen X, Ni Y. 2022. The comparison of microwave thawing and ultra-high-pressure thawing on the quality characteristics of frozen mango. *Foods* 11:1048
- Roberts JS, Kidd DR, Padilla-Zakour O. 2008. Drying kinetics of grape seeds. *J Food Eng* 89:460-465
- Santos FSD, de Figueirêdo RMF, Queiroz AJDM, Santos DDC. 2017. Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed 'pitaya' peels. *Rev Bras Eng Agric Ambiental* 21:872-877
- Sehrawat R, Nema PK, Kaur BP. 2018. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods. *LWT* 92:548-555
- Shin DS, Yoo YM, Kim HY, Han GJ. 2015. Determine the effects of drying temperature on the quality change and antioxidant activity characteristics of blueberry. *Korean J Food Preserv* 22:505-511
- Shinde B, Ramaswamy HS. 2020. Evaluation of mass transfer kinetics and quality of microwave osmotic dehydrated mango cubes under continuous flow medium spray (MWODS) conditions in sucrose syrup as moderated by dextrose and maltodextrin supplements. *Dry Technol* 38:1036-1050
- Simpson R, Ramírez C, Nuñez H, Jaques A, Almonacid S. 2017. Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. *Trends Food Sci Technol* 62:194-201
- Singleton VL, Rossi JA. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144-158
- So SA, Kim JW, Kim AN, Park CY, Lee KY, Rahman MS, Choi SG. 2016. Effect of pre-soaking in salt and sugar solutions before air drying on quality characteristics of dried apples. *Korean J Food Nutr* 29:808-817
- Vega-Gálvez A, Puente-Díaz L, Lemus-Mondaca R, Miranda M, Torres MJ. 2014. Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *J Food Process Preserv* 38:728-736
- Wang Z, Sun J, Chen F, Liao X, Hu X. 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *J Food Eng* 80:536-544
- Zhu J, Liu Y, Zhu C, Wei M. 2022. Effects of different drying methods on the physical properties and sensory characteristics of apple chip snacks. *LWT* 154:112829

Received 26 September, 2022

Revised 25 October, 2022

Accepted 04 November, 2022