

반응표면분석법(RSM)을 이용한 단호박 말랭이의 제조조건 최적화

송정무 · 김하윤 · 장현욱 · 조용식 · 황영*

농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

Optimization of Manufacturing Conditions for Dried Sweet Pumpkin Using Response Surface Methodology (RSM)

Jung Mu Song, Ha Yun Kim, Hyun Wook Jang,
Yong Sik Cho, and Young Hwang*

Department of AgroFood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

Abstract

This study analyzed physicochemical characteristics by pretreatment method and optimized drying conditions for dried sweet pumpkin using response surface methodology (RSM). Dry heat, wet heat, and microwave were the three pretreatment methods chosen to remove off-flavor and to increase the processing aptitude of sweet pumpkin before the pretreatment time with the same gelatinization viscosity was set. Furthermore, the dried sweet pumpkin's quality characteristics were compared before and after hot air drying. As a result, microwave treatment was set as the optimal pretreatment method for the hot air drying of sweet pumpkin, while the optimal hot air drying conditions were confirmed using the RSM. For the RSM, drying temperature and time were set as independent variables, whereas the physicochemical characteristics of the dried sweet pumpkin were set as the dependent variables for optimizing drying conditions. As a result of the optimization, the temperature of 43°C and 7.2 h were selected as the optimal drying conditions. In comparing the values, the optimal ratio was more than 90%, and the corresponding values were within the 95% confidence interval and prediction interval, so the suitability of the experimental design and model was verified.

Key words: sweet pumpkin, drying, pretreatment, quality, RSM

서 론

단호박은 당과 전분 함량이 높으며, 비타민 A가 풍부해 영양 가치가 높을 뿐만 아니라 맛이 독특하여 기호성이 높은 채소이다(Kim et al., 2000). 건강식품으로 사용된 늙은 호박과 비교하였을 때, 당도, 단백질, 지방함량, 총 아미노산, 유리당 함량, 비타민(A, B₁, B₂, C), 철분의 함유량이 많고 전자공여에 의한 라디칼 소거능, SOD (Superoxide dismutase) 유사활성, 아질산염 소거작용이 높았다(Kim et al., 2005). 그러나 단호박은 6월 말 - 7월 경에 집중 출하되며 대부분이 노지재배이기 때문에 일 년 내내 공급이 어렵고(Heo et al., 1998), 대부분이 수분으로 이루어져 있어 장기 저장 시 변질의 위험이 크다(Na et al., 2004).

한편 장기 저장된 단호박은 혐기적 호흡 과정의 산물인 에탄올과 아세트알데히드와 같은 휘발성 물질에서 유래한 이취가 발생하여(Kim et al., 2014a), 단호박을 이용한 가공식품을 제조하기 위해 효소를 불활성화시켜 이취를 줄이고 품질을 유지할 수 있는 전처리 과정이 요구된다(Kim et al., 2014b). 전처리 방법에 대한 선행 연구에서 가열 또는 전자레인지 처리는 조리 과정에서 에탄올과 같은 휘발성 물질이 대부분 제거되었으며(Kang et al. 2010), Shin et al. (2012)는 단호박 가공의 전처리로 데치기, 증숙, 마이크로웨이브 방법을 제시하였다.

한편 농가에서 건조가공품을 제조하기 위해 주로 활용하는 건조 방법은 열풍 건조 방법으로, 열풍 건조는 건조 시간이 비교적 짧고 경제적이며 원물의 쫄깃한 식감을 유지할 수 있는 장점이 있는 반면, 외형·조직 및 성분의 변화가 수반되는 특징을 가지고 있다(Maskan et al., 2002; Youn, 1998). 따라서 열풍 건조 가공과정에서 품질 특성 변화를 이해하고 온도, 시간 등의 건조 조건을 설정하기 위한 기초자료 및 연구가 필요한 실정이다(Oh & Oh, 2020). 본 연구에서는 영양가와 기호성이 높은 단호박의

*Corresponding author: Young Hwang, Department of AgroFood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 166, Nongsaengmyeong-ro, Wanju-gun, Jeollabuk-do, 55365, Republic of Korea
Tel: +82-63-238-3632; Fax: +82-63-238-3843
E-mail: youngh@korea.kr

Received October 19, 2021; revised October 30, 2021; accepted November 1, 2021

저장성을 연장할 수 있는 건조 가공의 여러 가지 전처리 방법별 품질을 비교하고 반응표면분석법을 통해 최적의 열풍 건조가공 조건을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

본 실험에 사용한 단호박은 자연마루(Seochun, Korea)에서 뉴질랜드산을 구입하여 사용하였다. 세척하고 100°C로 끓는 물의 증기에 10분간 증자하여 껍질을 제거하고 씨가 있는 속 부분을 파낸 후 10 mm의 두께로 세절하여 실험 재료로 사용하였다. Acetonitrile, water, glucose, sucrose, fructose는 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

단호박 전처리

전처리 방법은 건열, 습열, 마이크로웨이브 처리 3가지를 이용하였다. 건열 처리는 180°C로 예열한 오븐(EONC 512FSMCW, SKmagic, Seoul, Korea)에 8분간 가열처리했고, 습열 처리는 증기에 단호박을 5분간 증자 처리하였다. 마이크로웨이브 처리는 전자레인지(MS23K3535AK, Samsung Electronics, Seoul, Korea)를 사용하여 5분간 처리하였다. 건열 처리한 단호박(D), 습열 처리한 단호박(W), 마이크로웨이브 처리한 단호박(M)에 대한 품질분석을 실시하고, 40°C에 6시간을 건조 조건으로 설정하여 건열 처리 후 열풍 건조한 단호박(DD), 습열 처리 후 열풍 건조한 단호박(WD), 마이크로웨이브 처리 후 열풍 건조한 단호박(MD)의 시료에 품질분석을 실시하였다.

열풍 건조는 열풍 건조기(DS-240BC, Du-seong farm machinery, Gwangju, Korea)를 이용하여 중심합성법에 의한 온도(30, 40, 50°C)와 시간(4, 6, 8 h)의 조건에서 건조를 실시하였다. 건조 후에는, 데시케이터에 1시간 동안 방치하여 수분평형을 이룬 후 실험에 사용하였다.

Table 1. Levels of drying conditions in experimental design

Independent variables	Coded factor level		
	-1	0	1
X ₁ ¹⁾	30	40	50
X ₂ ²⁾	4	6	8

¹⁾Drying Temperature (°C)

²⁾Drying Time (h)

점도 측정

단호박의 호화 양상을 보기 위해 신속점도측정기(Rapid Visco Analyzer, RVA 4500, Perten Instruments, Hägersten, Sweden)를 사용하여 점도를 측정하였다. 전처리 방법과 처리 시간별로 동결건조한 단호박을 블렌더(BL480D, Nutri

Ninja, Boston, MA, USA)에 갈고 100 mesh의 체를 사용하여 시료를 균일화한 후, 단호박 분말 2.2 g (14% moisture basis)을 증류수 22.8 mL에 분산시켜 25.0 mL로 정용한 후 RVA cup에 넣고 30°C에서 95°C까지 온도를 증가시켜 6분간 유지시킨 다음 50°C까지 9분 만에 냉각시키고, 동일 온도에서 10분간 유지시켰다. RVA 내부 교반기의 교반속도는 초기에 960 rpm으로 10초간 교반하였다가 10초부터는 160 rpm으로 교반하였다. RVA 측정을 통해 얻어진 RVA Viscogram에서 peak viscosity, breakdown viscosity, setback viscosity를 구하였다(Han et al., 2014).

이화학적 분석

수분 함량은 적외선 수분 측정기(MX-50, AND, Tokyo, Japan)를 이용하여 시료 1 g을 정밀히 달아 105°C에서 함량이 될 때까지 건조하여 수분 함량으로 결정하였다. 수분 활성도는 수분활성도 측정기(LabMaster-aw, Novasina AG, Lachen, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 가용성 고형분은 Park et al. (2019)의 방법을 참고하였으며, 단호박 시료를 블렌더에 1분간 마쇄한 후, 5 g을 정량하여 증류수 45 mL로 희석한 후 균질기(T25 digital ultra Turrax, IKA, Staufen, Germany)에 10,000 rpm으로 1분간 균질화하고 3 시간 동안 방치하여 당을 추출하였다. 당도계(PR-101a, Atago, Tokyo, Japan)에 추출액을 사용하여 3회 반복 측정하였다.

물성 측정

물리적 특성 측정은 Shin & Lee (2011)의 방법을 참고하여 측정하였다. Rheometer (Compac-100, Sun Scientific, Tokyo, Japan)를 이용하여 건조 조건별 시료를 1.5×1.5 cm로 자르고 무작위로 선택하여 강도와 경도를 측정하였다. Rheometer의 측정 조건은 직경 5 mm의 원형 adapter (No. 5)를 사용하였고, 로드셀 최대 용력은 10 kg, 진입 깊이는 10 mm, 테이블 이동 속도는 60 mm/min로 하여 진입 깊이까지 가해지는 강도와 경도(kg/cm²)를 측정하였다.

유리당 측정

유리당 분석은 Hwang et al. (2012)의 방법을 참고하였으며, 가용성 고형분을 측정한 여액의 상등액을 HPLC (e-2695, Waters, Milford, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 유리당 분석용 column은 Asahipak NH2P-50 4E (Shodex F7630001 4.6×250 mm)을 사용하였고, 이동상은 75% acetonitrile, flow rate 1.0 mL/min, column oven 35°C, injection volume은 10 µL로 설정하여 RI detector (2414, Waters Co.)로 검출하였다.

색도 측정

색도는 건조 단호박을 블렌더에 마쇄한 후, 색차계용 용

Table 2. Central composite design for the optimization of drying condition

Exp No.	X ₁ ¹⁾	X ₂ ²⁾
1	30	4
2	30	6
3	30	8
4	40	4
5	40	6
6	40	8
7	50	4
8	50	6
9	50	8
10	40	6
11	40	6
12	40	6
13	40	6

¹⁾Drying Temperature (°C)

²⁾Drying Time (h)

기에 담아 colorimeter (Color i7, X-rite Inc., Grand Rapids, MI, USA)를 이용하여 CIELab 방법을 사용하여 L*(명도), a*(적(R)-녹(G)), b*(청색(B)-황색(Y))를 측정하였다.

반응표면분석

전처리 방법별 품질 분석 결과에 따라, 마이크로웨이브 전처리 시 열풍 건조 방법의 최적화를 위하여 반응표면 분석법을 사용하였다. 분석 프로그램으로 Minitab 17 (Minitab, Centre, PA, USA)을 사용하였고 2가지 독립변수 (X₁: 건조 온도, X₂: 건조 시간)를 설정하여 중심합성법에 따라 13개의 실험 조건을 설계하였다(Table 2). 반응변수로는 수분 함량(Y₁), 수분활성도(Y₂), 가용성 고형분 함량

(Y₃), 강도(Y₄), 경도(Y₅), 과당(Y₆), 자당(Y₇), 포도당(Y₈) 함량을 측정하였다. 그 중 수분 함량, 수분활성도, 가용성 고형분 함량을 최적화 반응 조건으로 설정하였다.

통계처리

실험에서 얻어진 결과는 SPSS 25 (Statistical Package for the Social Sciences, IBM-SPSS, Thomwood, NY, USA)을 이용하여 분산 분석하였으며, 분석한 결과 시료 간의 차이가 있는 항목에 대해서는 Duncan's multiple range test로 사후 검정을 실시하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

단호박의 전처리 시간 설정

저장 중 발생하는 단호박의 이취를 제거하기 위해 전처리를 실시하였고, 전처리 방법별 단호박 전분의 호화 진행 정도가 동일한 처리 시간을 알아보고자 방법별 호화 점도를 비교하였으며, 전처리 시간별 호화 점도는 Fig. 1-3과 같았다.

전분은 초기 가열단계에서는 입자가 팽윤되고, 점도가 급속히 증가하며, 이때 최고 점도에 도달한다. 이 팽윤 과정에서 가용성 성분인 작은 아밀로오스 성분들이 전분 입자 밖으로 용출되는데(Cho et al., 2017), 일반적으로 전분을 구성하는 아밀로오스 함량이 클 때, setback의 증가가 크게 일어나는 것으로 알려져 있다(Jaspreet et al., 2006).

건열 처리의 경우 Fig. 1에서와 같이 처리 시간이 증가함에 따라 최고 점도가 계속 감소하였다가 비슷하게 유지되는 경향을 보였으며 10분 이상 처리 구부터는 열에 의한 외부탄화가 발생하여 제외하였다. 감자 전분은 음가열

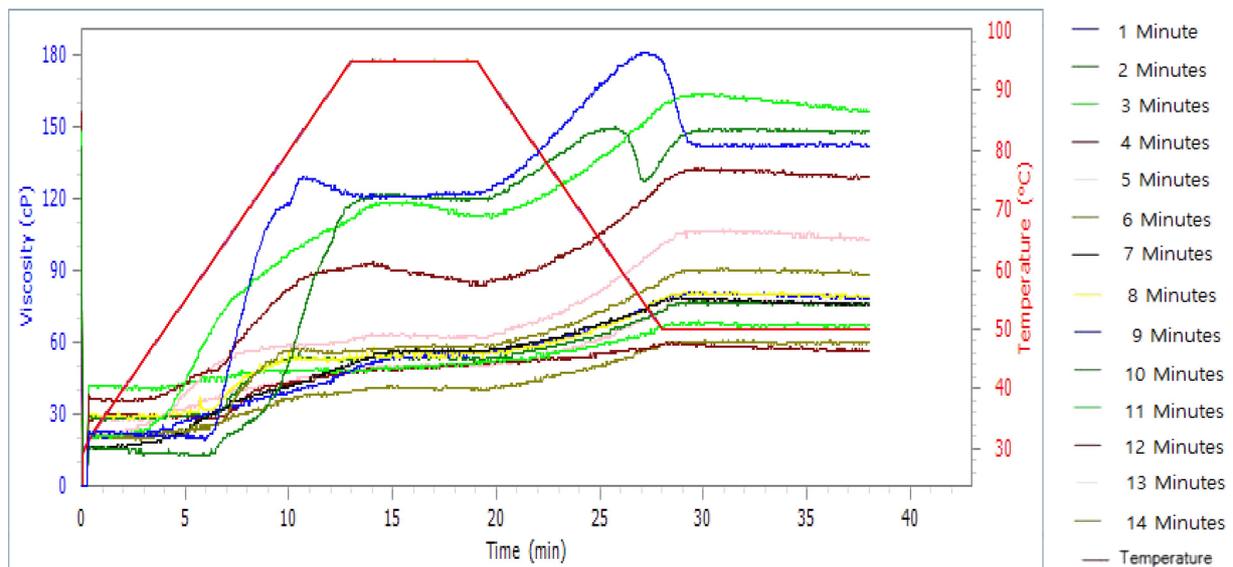


Fig. 1. Viscogram of sweet pumpkin treated every minute by oven.

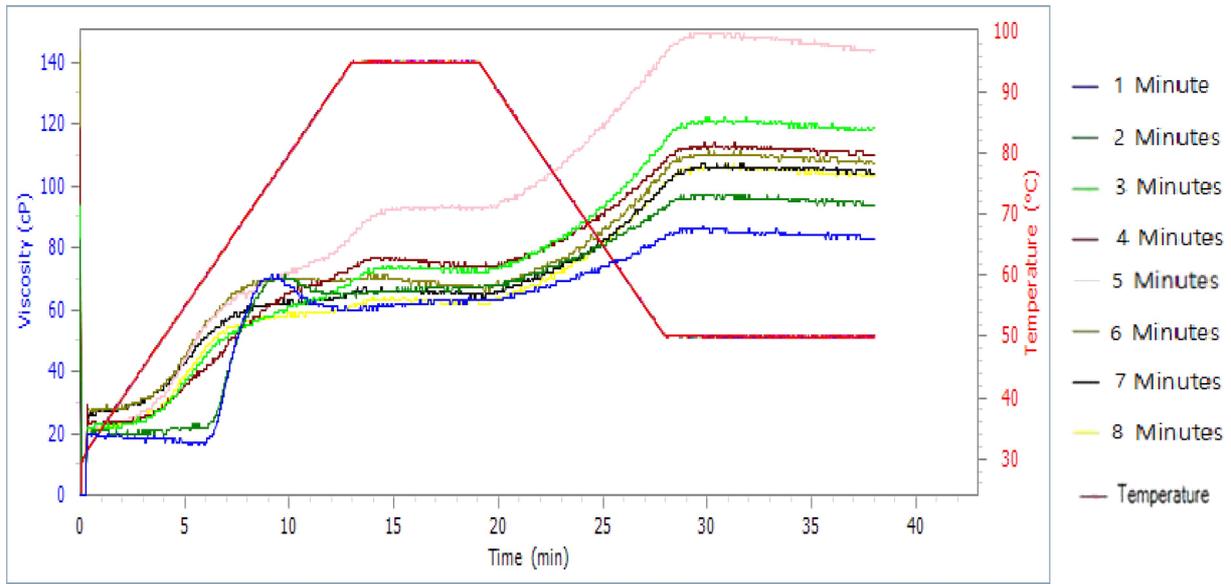


Fig. 2. Viscogram of sweet pumpkin treated every minute by steam.

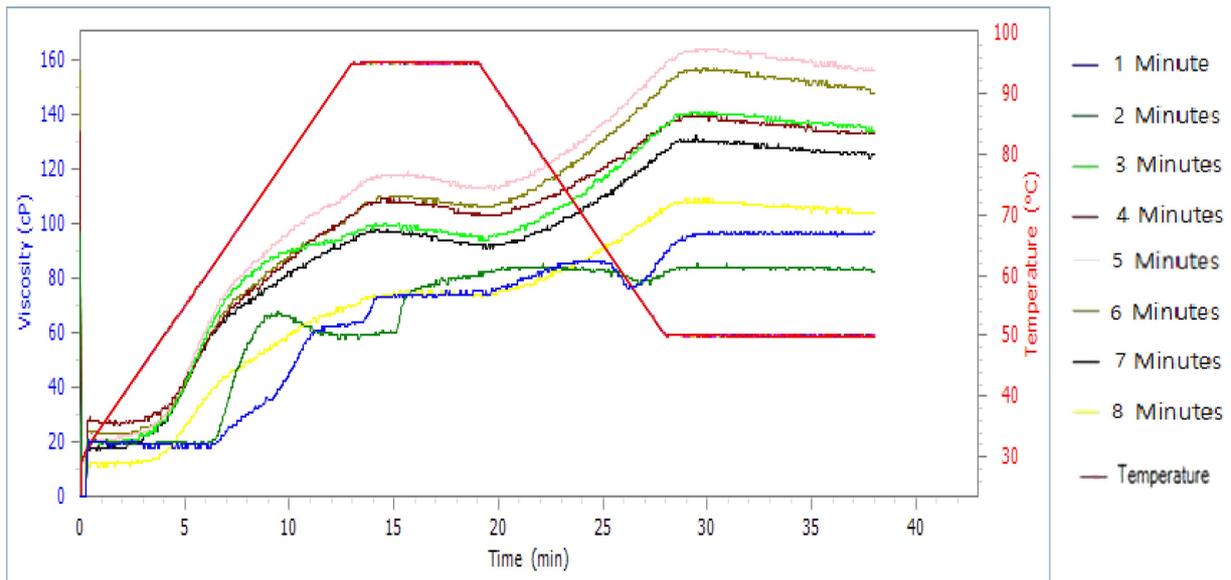


Fig. 3. Viscogram of sweet pumpkin treated every minute by microwave.

온도가 60°C 이상일 경우 전분의 손상이 최고 점도 감소의 원인이 되어 점도가 감소하다가 사라졌고, 녹두 전분의 경우도 55°C 이상의 온도로 가열 처리할 시 점도가 낮아졌다(Chung et al., 2000; Cha, 2017). 건열 처리 시간은 최고 점도가 비슷하게 유지되고 호화가 진행되기 시작한 6분과 탄화가 발생한 10분의 중간점인 8분을 전처리 시간으로 설정하였다. 습열 처리와 마이크로웨이브 처리의 경우 Fig. 2와 3에서와 같이 처리 시간 증가에 따라 점도가 상승하였다가 감소하였으며 최고 점도가 가장 높은 시간인 5분을 전처리 시간으로 설정하였다.

전처리 방법별 단호박의 품질분석

단호박 말랭이 제조를 위해 건열, 습열, 마이크로웨이브 처리 후, 품질분석을 실시하였고, 그 결과는 Table 3과 같다. 수분 함량은 전처리 방법별 유의적 차이가 있었으며, 건열(D), 습열(W), 마이크로웨이브(M) 처리 순으로 수분 함량이 많았고, D가 M에 비해 7% 정도 높은 함량을 나타냈다. 수분활성도는 D가 0.980으로 가장 높았으나 W와 M의 사이에는 유의적 차이가 없었다. 이러한 결과는 Youn et al. (1997)의 연구에서 전처리 방법에 따른 채소류의 수분 함량은 증자 및 열탕 처리 시 높게 나타났고, 마이크로웨이브 처리 시 가장 낮다는 결과와 일치했다. 또한 Woo

Table 3. Quality characteristics of sweet pumpkin prepared by various pretreatments

Pretreatment ¹⁾	Moisture Contents (%)	Water Activity	Soluble Solids (Brix)	Strength (kg/cm ²)	Hardness (kg/cm ²)	Free sugar Contents (mg/g)		
						Fructose	Glucose	Sucrose
D	80.56 ±0.54 ^{a2)}	0.981 ±0.005 ^a	15.00 ±0.00 ^b	18.71 ±1.52 ^a	60.79 ±5.59 ^a	30.99 ±2.19 ^b	32.02 ±2.57 ^b	50.31 ±3.91 ^b
W	78.54 ±0.12 ^b	0.968 ±0.004 ^b	10.67 ±0.58 ^c	1.95 ±0.15 ^b	9.71 ±3.07 ^b	23.52 ±2.17 ^c	24.53 ±2.58 ^c	35.35 ±2.97 ^c
M	75.25 ±0.11 ^c	0.961 ±0.008 ^b	18.33 ±0.58 ^a	0.48 ±0.06 ^b	3.19 ±0.48 ^b	38.29 ±3.20 ^a	39.60 ±3.13 ^a	61.50 ±5.51 ^a

¹⁾D: Dry heated, M: Microwave heated, W: Wet heated

²⁾Value are mean±standard deviations of three (n=3) measurements.

The same superscripts(a-c) in a column are not significantly different each other at $p < 0.05$ level by the Duncan's multiple range test.

et al. (1997)도 마이크로웨이브는 외부에서 열을 가하는 방식과 달리 식품 내부의 수분을 가열하는 원리로서 열이 가해지는 방향이 식품 내부 확산으로 이루어진다고 하였고, 이 때문에 내부부터 가열, 증발이 일어나 수분 함량이 다른 처리에 비해 적게 나타났다.

가용성 고형분과 유리당 성분은 M, D, W 순으로 높게 나타났으며, 유리당 조성은 sucrose, glucose, fructose 순으로 높았는데, 유리당 함량이 높은 M의 경우 각각 44%, 28%, 27%로 sucrose 함량이 가장 높았고 이러한 경향은 나머지 두 처리에서도 나타났으며 총 가용성 고형분 함량에도 영향을 미쳤다. 이는 Kim et al. (2014c)의 연구에서 전처리 방법에 따른 양파의 유리당 함량은 증자 및 열탕 처리 시 손실량이 크게 나타났다는 결과와 일부 일치하였는데, Lee & Jung (2012)은 세발나무의 유리당 함량은 열탕 처리할 시 조리수로의 용출에 의해 감소한다고 보고하였다. 본 실험에서도 자체 수분만을 이용하는 건열, 마이크로웨이브 처리에서는 가용성 고형분 함량이 높았고, 증기 등의 외부 수분이 유입되는 전처리에서는 유리당 함량이 적게 나타난 것으로 판단된다. 주목할 점은 외부 수분의 유입이 없는 건열과 마이크로웨이브 처리 두 가지 방법 중에서는 마이크로웨이브 처리 시 유리당 함량이 더 높다는 것이었으며 건열 처리보다 마이크로웨이브 처리 시에 수분 감소량이 증가함에 따라 같은 질량에서 유리당 함량이 많아진 것으로 여겨진다.

강도와 경도는 모두 D, W, M 처리 순으로 높게 나타났

는데, 가장 높은 강도를 나타낸 D가 18.71 kg/cm²로 0.48 kg/cm²의 가장 약한 강도를 지닌 M보다 39배 가까이 높게 나타났고, 경도는 60.79 kg/cm²로 M보다 약 19배 정도 높았다. 이는 외부로부터 열이 가해지는 건열 처리 특성상 다른 처리 보다 내부로 가해지는 열이 적어 구조가 붕괴되지 않은 것으로 사료된다. Kum & Han (1996)는 마이크로웨이브로 당근, 쪽파, 시금치를 데친 후, 강도가 감소하는 결과를 보고했으며, Lee et al. (2012)도 마늘을 증자와 마이크로웨이브 처리 시 마이크로웨이브 처리가 증자 처리보다 강도가 더 낮게 나타난 결과를 보고하였는데 본 실험에서도 마이크로웨이브 처리 시에는 강도가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

전처리한 단호박을 40°C에 6시간 동안 열풍 건조한 후 품질 분석한 결과는 Table 4와 같다. 열풍 건조 이후, 수분 함량의 감소는 서로 유의적인 차이가 나타났는데 습열 처리한 건조 단호박(WD), 건열 처리한 건조 단호박(DD), 마이크로웨이브 처리한 건조 단호박(MD) 순서로 나타났고, MD에서 가장 많은 수분 손실을 보였으며, Chang & Kim (2011)도 자숙, 굽기, 증자의 세 가지 방법으로 마늘을 전처리하여 열풍 건조를 진행하였는데, 습열 조리인 자숙, 증자와 건열조리인 굽기 순으로 수분 함량이 높게 나타났다. Youn et al. (1997)의 연구에서는 증자, 열탕, 마이크로웨이브 처리에 따른 채소류의 건조 특성을 보았을 때, 당근의 경우 마이크로웨이브 처리의 수분 함량이 가장 낮게 나타나 본 실험 결과와 일치하였다. 내부에서 열 확산이 일어

Table 4. Quality characteristics of dried sweet pumpkin prepared by various pretreatments

Pretreatment ¹⁾	Moisture Contents (%)	Water Activity	Soluble Solids (Brix)	Strength (kg/cm ²)	Hardness (kg/cm ²)	Free sugar Contents (mg/g)		
						Fructose	Glucose	Sucrose
DD	50.79 ±0.33 ^{b2)}	0.818 ±0.038 ^b	45.67 ±1.53 ^a	5.52 ±0.31 ^a	15.16 ±8.34 ^a	109.94 ±3.37 ^a	125.53 ±4.18 ^a	100.04 ±1.54 ^b
WD	63.74 ±0.09 ^a	0.885 ±0.027 ^a	33.67 ±2.31 ^b	2.22 ±0.24 ^b	8.23 ±3.00 ^{ab}	76.32 ±9.60 ^b	87.93 ±8.56 ^a	77.55 ±8.91 ^c
MD	38.51 ±0.14 ^c	0.887 ±0.01 ^a	47.33 ±1.15 ^a	1.32 ±0.22 ^c	4.24 ±0.78 ^b	107.11 ±1.38 ^a	119.69 ±0.88 ^b	117.16 ±3.19 ^a

¹⁾DD: Dried after dry heat, MD: Dried after microwave heat, WD: Dried after wet heat

²⁾Value are mean±standard deviations of three (n=3) measurements.

The same superscripts(a-c) in a column are not significantly different each other at $p < 0.05$ level by the Duncan's multiple range test.

나는 마이크로웨이브 처리 이후에 열풍 건조를 진행하게 되면 외부의 수분과 내부의 일부분이 함께 증발하면서 수분 함량 감소의 격차가 더욱 커지는 결과를 보였다.

수분활성도는 MD, WD, DD 순으로 나타났는데, MD와 WD는 같았고, DD가 0.818로 낮았다. Ha et al. (2010)의 연구에서 수분활성도의 경우, 건조 특성상 표면조직의 급속한 건조로 인해 내부조직과의 수분이동이 원활하지 못하여 수분 함량의 차이는 있으나 수분활성도는 크게 차이가 나지 않았는데, 이는 단호박에서도 마찬가지로 표면의 급속한 건조로 일어난 조직의 변형이 수분 이동을 감소시켜 표면과 내부의 수분 확산 속도의 차이를 유발시켰고 수분활성도는 크게 차이 나지 않았다.

가용성 고형분 함량은 DD와 MD가 45.6 °Bx 이상으로 WD에 비해 높았다. Fructose는 DD와 MD가 높았고, glucose는 DD와 WD가, sucrose는 MD가 가장 높았으며, 전반적으로 DD와 MD의 당 함량은 비슷하게 나타났으나 WD는 MD 대비 71%의 가용성 고형분 함량을 보였으며, 유리당 함량 또한 73-66%로 낮게 나타났다.

강도에서 가장 높은 물성을 지닌 DD는 가장 낮은 물성

을 지닌 MD와 비교해서 4.18배의 강도와 3.57배의 경도를 가지고 있어 말랭이 제조에 적합하지 않은 처리로 나타났다. Quenzer & Burns (1981)도 시금치를 건조하기 전에 마이크로웨이브, 증자, 데치기 하여 비교하였는데, 마이크로웨이브 전처리의 세포 구조가 손상되지 않아 조직 품질 특성을 유지하는 데 효과적이라고 보고하였다.

건조 전(Table 3)과 비교하면 열풍 건조에 따라 수분 함량이 각각 WD는 W의 81%, DD는 D의 63%, MD는 M의 51%로 나타났다. 수분활성도는 0.961-0.981에서 0.818-0.887로 감소하였고 가용성 고형분과 유리당 함량은 약 3배 전후로 증가하였다. 강도는 WD와 MD에서는 소폭 증가하였으나, DD는 건조 후 오히려 29% 정도 감소하였다. D에 비해 수분 함량이 적었던 W와 M은 열풍 건조로 인해 경화가 진행되었고, D는 내부의 수분이 증발하면서 내부의 구조가 붕괴되 강도가 낮게 측정된 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 마이크로웨이브 처리한 건조 단호박(MD)은 가장 낮은 수분 함량과 다른 처리와 유사한 수분활성도를 가졌으며, 가용성 고형분과 유리당 함량이 높고 물리적 특성인 강도와 경도가 가장 낮게 나타나 유통 저장

Table 5. The quality factors of dried sweet pumpkin under different drying condition based on central composite design by response surface analysis

Test	Y ₁ ¹⁾	Y ₂ ²⁾	Y ₃ ³⁾	Y ₄ ⁴⁾	Y ₅ ⁵⁾	Y ₆ ⁶⁾	Y ₇ ⁷⁾	Y ₈ ⁸⁾	Y ₉ ⁹⁾	Y ₁₀ ¹⁰⁾	Y ₁₁ ¹¹⁾
1	60.94 ±0.31 ¹²⁾	0.927 ±0.016	25.33 ±2.08	3.68 ±0.19	12.05 ±2.38	52.85 ±4.94	61.56 ±6.03	67.47 ±9.18	52.99 ±0.33	17.06 ±2.04	43.04 ±3.96
2	50.49 ±0.09	0.898± 0.026	30.33 ±1.53	1.60 ±0.08	4.50 ±0.07	68.12 ±4.06	80.77 ±5.53	77.89 ±1.46	48.88 ±1.47	19.98 ±4.49	46.45 ±3.35
3	45.84 ±0.02	0.845 ±0.005	42.00 ±1.00	3.68 ±0.38	11.30 ±1.56	84.17 ±2.24	103.54 ±4.21	118.52 ±2.63	48.11 ±1.16	18.60 ±1.30	38.35 ±1.60
4	55.01 ±0.11	0.934 ±0.009	32.33 ±0.58	2.07 ±0.06	5.18 ±0.56	58.18 ±0.12	69.68 ±0.46	77.18 ±1.05	49.96 ±0.73	17.97 ±1.24	44.12 ±3.81
5	34.63 ±0.10	0.919 ±0.039	42.67 ±0.58	3.40 ±0.25	8.47 ±1.29	79.59 ±2.85	94.44 ±3.61	109.16 ±3.91	47.54 ±1.06	21.15 ±1.64	44.01 ±2.09
6	32.38 ±0.13	0.834 ±0.013	47.00 ±2.65	5.18 ±0.15	12.00 ±1.67	91.30 ±9.16	109.55 ±11.63	119.20 ±12.52	47.86 ±0.72	18.50 ±0.75	37.91 ±1.83
7	51.65 ±0.05	0.880 ±0.046	35.67 ±0.58	2.70 ±0.13	11.86 ±0.58	55.44 ±5.24	65.31 ±7.56	118.25 ±9.38	46.77 ±0.31	18.23 ±1.89	37.62 ±1.76
8	22.14 ±0.02	0.742 ±0.063	47.33 ±1.53	19.25 ±1.03	38.11 ±2.92	101.14 ±5.37	125.26 ±6.81	123.26 ±7.98	49.55 ±1.04	17.83 ±0.52	33.45 ±0.50
9	18.82 ±0.06	0.638 ±0.056	59.33 ±0.58	30.54 ±1.05	51.26 ±0.90	106.93 ±6.76	130.81 ±8.15	188.02 ±8.14	48.73 ±0.16	18.76 ±1.19	36.74 ±0.93
10	36.10 ±0.09	0.858± 0.033	35.67 ±0.58	2.82 ±0.16	8.81 ±0.99	73.86 ±3.68	96.86 ±2.89	101.91 ±12.58	47.86 ±0.23	18.86 ±0.29	43.20 ±0.42
11	39.96 ±0.18	0.840 ±0.046	37.33 ±1.53	3.53 ±0.5	8.67 ±1.34	76.52 ±3.92	100.92 ±3.33	117.88 ±7.52	50.81 ±0.34	20.83 ±0.11	48.24 ±0.33
12	36.76 ±0.28	0.876 ±0.024	35.67 ±2.31	2.9 ±0.69	8.38 ±1.10	76.66 ±2.6	98.22 ±2.48	105.91 ±3.19	48.67 ±1.16	15.83 ±0.98	37.63 ±2.86
13	32.97 ±0.08	0.833 ±0.058	38.00 ±1.73	3.72 ±1.32	7.97 ±2.11	78.65 ±2.87	102.45 ±2.99	111.23 ±4.56	47.27 ±0.57	17.05 ±1.45	41.66 ±1.93

¹⁾Moisture Contents (%) ²⁾Water Activity (Aw) ³⁾Soluble Solids (Brix) ⁴⁾Strength (kg/cm²) ⁵⁾Hardness (kg/cm²) ⁶⁾Fructose (mg/g) ⁷⁾Glucose (mg/g) ⁸⁾Sucrose (mg/g) ⁹⁾L* ¹⁰⁾a* ¹¹⁾b* ¹²⁾Value are mean±standard deviations of three (n=3) measurements.

Table 6. Regression coefficient of the predicted quadratic polynomial models on the quality factors of drying sweet pumpkin

Y_n	Response Surface Regression	R^2 (adj)	Pr> F
Moisture Contents (%)	$133.0 + 0.252 X_1 - 20.89 X_2 + 1.989 X_1^2 - 0.2216 X_1X_2$	94.94	0.399
Water Activity (Aw)	$0.093 + 0.0443 X_1 + 0.0447 X_2 - 0.000489 X_1^2 - 0.002000 X_1X_2$	87.06	0.778
Soluble Solids (Brix)	$-18.15 + 0.745 X_1 + 4.583 X_2$	90.03	0.585
Strength (kg/cm ²)	$152.3 - 6.86 X_1 - 11.34 X_2 + 0.0687 X_1^2 + 0.3480 X_1X_2$	91.84	0.001
Hardness (kg/cm ²)	$265.6 - 12.20 X_1 - 16.29 X_2 + 0.1302 X_1^2 + 0.5019 X_1X_2$	92.49	0.000
Fructose (mg/g)	$-19.7 + 0.973 X_1 + 9.66 X_2$	84.16	0.012
Glucose (mg/g)	$-112.1 + 1.259 X_1 + 41.6 X_2 - 2.44 X_1^2$	86.45	0.022
Sucrose (mg/g)	$-81.4 + 2.761 X_1 + 13.57 X_2$	82.30	0.045
L*	$75.16 - 0.595 X_1 - 3.84 X_2 + 0.0855 X_1X_2$	45.36	0.735
b*	$54.31 - 0.334 X_1$	23.35	0.553

$Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_{11}X_1^2+b_{12}X_1X_2+b_{22}X_2^2$; X_1 : Temperature (°C), X_2 : Time (h).

성이 좋으며, 당도가 높고 질감이 부드러운 건조 단호박을 제조할 수 있어 마이크로웨이브 처리를 가장 적합한 전처리 방법으로 선정하고 이후 실험에서 단호박 건조의 전처리 방법으로 이용하였다.

반응표면분석법을 이용한 최적 건조 조건 예측

전처리 방법별 품질 분석 결과에 따라 적합하다고 평가된 마이크로웨이브 전처리를 실시한 단호박의 열풍 건조 조건을 최적화하기 위하여 반응표면분석법을 이용하였다. 각 건조 조건에 따른 건조 단호박의 품질 요소가 되는 수분 함량, 수분활성도, 가용성 고형분, 강도, 경도, 과당, 자당, 포도당, 색도를 측정된 결과는 Table 5에 나타냈으며, 회귀식은 Table 6에 나타냈다. Lee et al. (2015)은 반응표면분석법에서 나타날 수 있는 오류인 적합성 결여 검증에서 $Pr>F$ 값이 0.0000일 때 유의수준 1% 이내에서 회귀모델의 부적합성을 없다고 하였고, 0.05보다 큰 값을 보일 때 적합성을 없다고 하였고, 0.05가 넘는 종속변수 인 수분 함량, 수분활성도, 가용성 고형분 3가지가 최적화 변수로써 이용되었다. 해당하는 각 변수들의 반응표면은 Fig. 4와 같았고, 우리나라에서 유통되고 있는 고구마말랭이의 평균치인 수분 함량 21.30%, 수분활성도 0.820, 가용

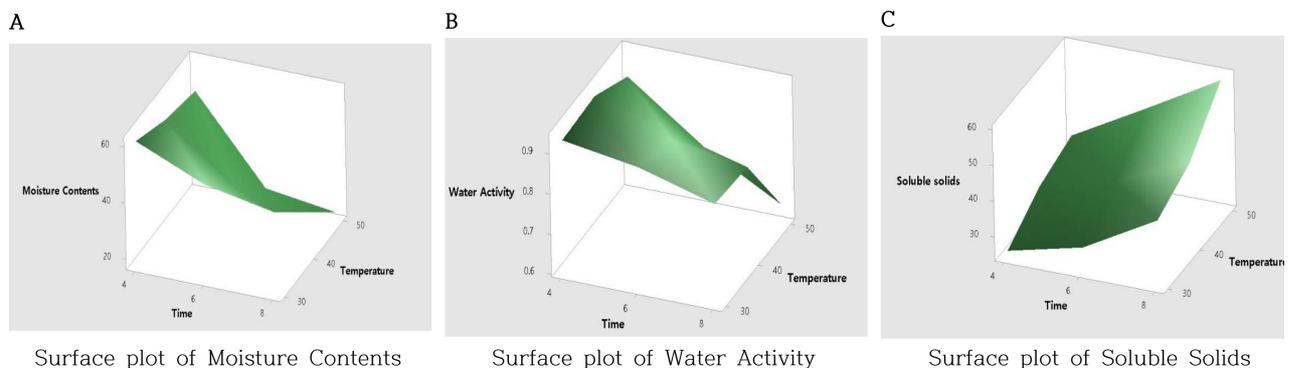
성 고형분 48.00 °Bx (Hwang et al., 2020)를 목표치로 최적화를 진행하였다.

최적화된 건조 조건은 43°C의 온도와 7.2시간으로 나타났다. 이에 해당하는 예측값은 수분 함량 28.19%, 수분활성도 0.796, 가용성 고형분 46.90 °Bx로 나타났다. 그리고 그 실험값은 수분 함량 30.02%, 수분활성도 0.796, 가용성 고형분 51.33 °Bx로 나타났다. 예측값과 실험값의 비교를 통해 모델의 정확도를 검증하고자 하였으며, 그 내용은 Table 7에 나타났다. 예측값과 실험값을 비교해보았을 때 90% 이상의 유사한 비율을 보였으며, 수분 함량과 수분활성도는 95% 신뢰구간 범위에 들어가 있으며(각각 25.56-30.82%, 0.7659-0.8275), 당도는 95% 예측구간 범위(40.36-53.55)에 들어가 있었으며, 가용성 고형분은 예측값보다 더 높게 측정되어 설계한 실험 디자인과 모델이 적합할 뿐만 아니라 이상적인 조건으로 판단된다.

Table 7. Comparison between predicted observed values of response variables with optimum drying condition

Response Variables	A	B	A/B
Moisture Content (%)	28.19	30.02±0.24	0.93
Water Activity (Aw)	0.796	0.796±0.097	1
Soluble Solids (Brix)	46.95	51.33±3.06	0.91

A: Predicted value B: Experimental value

**Fig. 4. Response surface for optimizing variables in dried sweet pumpkin according to temperature and time.**

요 약

본 연구에서는 전처리 방법별 건조 단호박의 이화학적 특성을 비교 분석하고 반응표면분석법을 이용하여 단호박 말랭이의 최적 건조 조건을 설정하였다. 단호박의 이취 제거와 가공적성을 위한 건열(굽기), 습열(증자), 마이크로웨이브 처리의 전처리 방법을 비교하고자 호화 점도를 측정하여 전처리 시간을 설정하였다. 각 전처리 방법별 열풍 건조 전후의 단호박 품질특성을 비교한 결과, 마이크로웨이브 처리에서 가용성 고형분, 과당, 포도당, 자당 함량이 건열과 습열 처리보다 높았고, 수분 함량, 강도 및 경도가 낮게 나타나 마이크로웨이브 처리를 단호박 열풍 건조를 위한 최적의 전처리 방법으로 설정하였고 반응표면분석법을 이용하여 최적의 열풍 건조 조건을 확인하였다.

반응표면분석은 중심합성 계획법으로 실험을 디자인하여 독립변수로서 건조 온도(30, 40, 50°C, X_1)와 건조 시간(4, 6, 8 h, X_2)을 설정하고, 종속변수로는 건조 단호박의 수분 함량, 수분활성도, 가용성 고형분, 강도, 경도, 과당, 포도당, 자당 함량, 색도(L^* , a^* , b^*)를 측정하여 건조 조건을 최적화하였다. 최적화 변수로는 적합성 결여 검증에서 $Pr > F$ 값이 0.05 이상인 수분 함량, 수분활성도, 가용성 고형분을 최적화 변수로 설정하였으며, 최적화 결과 43°C의 온도와 7.2시간이 최적 건조 조건으로 확인되었고, 예측값과 실험값을 비교한 결과 90% 이상의 최적 비율을 보였으며, 해당하는 값이 95% 신뢰구간과 예측구간 범위에 들어 실험 디자인과 모델의 적합성 또한 검증되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 기관 고유 과제 연구사업(과제번호: PJ01433701)의 연구비 지원으로 수행된 과제로 이에 감사드립니다.

References

- Cha YH. 2017. Effect of ohmic heating on pasting property of starches. *Korean J. Food Nutr.* 30: 689-695.
- Chang YE, Kim JS. 2011. Effects of pretreatment and drying methods on the quality and physiological activities of garlic powders. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 1680-1687.
- Cho DH, Park HY, Lee SK, Park JY, Choi HS, Woo KS, Kim HJ, Sim EY, Won YJ, Lee DH, Oh SK. 2017. Differences in physicochemical and textural properties of germinated brown rice in various rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 62: 172-183.
- Chung KM, Moon TW, Chun JK. 2000. Influence of annealing on gel properties of mung bean starch. *Cereal Chem.* 77: 567-571.
- Ha JY, Lee SH, Jung KJ, Jo YD, Kim JC. 2010. Drying of Alaska pollack in controlled conditions to identify major factors for textural properties of Hwangtae. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 1903-1907.
- Han SK, Song YS, Ahn SH, Yang JW, Lee HU, Lee JS, Chung MN, Nam SS, Choi IH, Park KH. 2014. Physicochemical characteristics of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) starch depending on cultivation periods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 750-756.
- Heo SJ, Kin JH, Kim JK, Moon KD. 1998. The comparison of food constituents in pumpkin and sweet-pumpkin. *Korean J. of Dietary Culture.* 13: 91-96.
- Hwang IG, Jeong HS, Lee JS, Kim HY, Yoo SM. 2012. Influences of freezing and thawing temperature on the quality characteristics of mashed red pepper. *Korean J. Food & Nutr.* 25(3): 691-696.
- Hwang Y, Son YL, Kim HY, Lee HJ, Lee HW, Kim KM, Jang HW, Cho YS. 2020. Comparison of quality characteristics of dried sweet potatoes from Korea, China, and Japan. *Food Eng. Prog.* 24: 366-375.
- Jaspreet S, Owen JM, Harjinder S. 2006. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydr Polym.* 64: 569-581.
- Kang HJ, Lee YJ, Kim SJ, Han JJ. 2010. Active food packaging and distribution - O₂, CO₂, ethylene gas, moisture and odor scavenger and emitter. *Food Sci. Ind.* 43: 22-31.
- Kim JG, Choi JW, Cho MA. 2014a. Quality changes of fresh-cut winter squash treated with different postharvest ripening periods and packaging methods. *Korean J. Food Preserv.* 21: 17-24.
- Kim KI, Hwang IG, Yu SM, Min SG, Cho MJ. 2014b. Effect of various pretreatments methods on physicochemical and nutritional properties of carrot. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 1881-1888.
- Kim KI, Hwang IG, Yu SM, Min SG, Lee SY, Cho MJ. 2014. Effect of various pretreatments methods under physicochemical and nutritional properties of onions. *Food Eng. Prog.* 18: 382-390.
- Kim KJ, Cho SS, Kim NS, Kim HD. 2000. Study on the variety characteristics of sweet pumpkin in optimum middle northern area of Korea. *KGARR.* 10: 169-175.
- Kim SR, Ha TY, Song HN, Kim YS, Park YK. 2005. Comparison of nutritional composition and antioxidative activity for kabocha squash and pumpkin. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 171-177.
- Kum JS, Han O. 1996. Effects of ceramic coating for microwave blanching on vegetables. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 25: 951-957.
- Lee JJ, Jung HO. 2012. Changes in physicochemical properties of *Spergularia marina* Griseb by blanching. *Korean J. Food Preserv.* 19: 866-872.
- Lee SE, Kim JK, Han SK, Chae JS, Lee KD, Koo KK. 2015. Optimization of a crystallization process by response surface methodology. *Appl. Chem. Eng.* 26: 730-736.
- Lee YR, Woo KS, Hwang IG, Kim HY, Lee SH, Lee JS, Jeong HS. 2012. Physicochemical properties and antioxidant activities of garlic (*Allium sativum* L.) with different heat and pressure treatments. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 278-282.
- Maksan A, Kaya S, Maksan M. 2002. Hot air and sun drying of grape leather (pestil). *J. Food Eng.* 54: 81-88.
- Na KM, Hong JH, Cha WS, Park JH, Oh SL, Cho YJ, Lee WY. 2004. Optimization of osmotic dehydration process for manufacturing a dried sweet pumpkin. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 433-438.

- Oh CH, Oh NS. 2020. Manufacturing characteristics of hot-air dried apple chips at different cube size. *Culinary Soc. Korea*. 26: 159-169.
- Park JJ, Park JH, Son YR, Kim KM, Cho YS, Kim HY. 2019. Effects of freezing methods on various peach cultivars. *Culinary Sci. Hospitality Res.* 25: 33-43.
- Quenzer NM, Burns EE. 1981. Effects of microwave, steam and water blanching on freeze-dried spinach. *J. Food Sci.* 46: 410-413.
- Shin DS, Yoo SM, Hwang Y. 2012. Effect of sugar infusions and pretreatment conditions on quality characteristics of dried sweet pumpkin. *Korean J. Food Cockery Sci.* 28: 857-863.
- Shin YM, Lee WY. 2011. Physical properties and preference of a steamed sweet potato slab after mild hot air drying. *Korean J. Food Cockery Sci.* 27: 73-81.
- Woo IS, Ko YD, Jeong HY, Seo CH, Chung SK, Park HD. 1997. Effects of microwave treatment on the preservation of foods. *Korean J. Post-harvest Sci. Technol. Agri. Products.* 4: 17-25.
- Youn KS. 1998. Utilization of osmotic dehydration as pretreatment prior to drying. *J. Korean Soc. Post-harvest Sci. Tech. Agric. Prod.* 5: 305-314.
- Youn KS, Bae DH, Choi YH. 1997. Effects of pretreatments on the drying characteristics of dried vegetables. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 292-301.

Author Information

송정무: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 학연산 연구원

김하윤: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 농업연구사

장현욱: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 농업연구사

조용식: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 농업연구관

황영: 농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 농업연구사