

원적외선을 이용한 단풍취의 박층 건조 및 품질 특성

녕효봉^{1*} · 리 혁^{2*} · 강태환³ · 이준수⁴ · 이정현⁵ · 한충수^{5†}

¹선양농업대학교 농업기계학과, ²하남농업대학교 메카트로닉스공학과
³공주대학교 생물생산기계공학전공, ⁴충북대학교 식품공학과
⁵충북대학교 바이오시스템공학과

Thin Layer Drying and Quality Characteristics of *Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip. Using Far Infrared Radiation

Xiao Feng Ning^{1*}, He Li^{2*}, Tae Hwan Kang³, Jun Soo Lee⁴,
Jeong Hyun Lee⁵, and Chung Su Han^{5†}

¹Dept. of Agricultural Mechanization Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110-866, China

²Dept. of Mechatronics Engineering, Henan Agricultural University, ZhengZhou 450-002, China

³Major in Bio-Industry Mechanical Engineering, Kongju National University, Chungnam 340-702, Korea

⁴Dept. of Food Science & Technology and ⁵Dept. of Biosystems Engineering,
Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

ABSTRACT The purpose of this study was to investigate the drying characteristics and drying models of *Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip. using far-infrared thin layer drying. Far-infrared thin layer drying test on *Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip. was conducted at two air velocities of 0.6 and 0.8 m/sec, as well as three drying temperatures of 40, 45, and 50°C respectively. The drying models were estimated using coefficient of determination and root mean square error. Drying characteristics were analyzed based on factors such as drying rate, leaf color changes, antioxidant activity, and contents of polyphenolics and flavonoids. The results revealed that increases in drying temperature and air velocity caused a reduction in drying time. The Thompson model was considered suitable for thin layer drying using far-infrared radiation for *Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip. Greenness and yellowness values decreased and lightness values increased after far-infrared thin layer drying, and the color difference (ΔE) values at 40°C were higher than those at 45°C and 50°C. The antioxidant properties of *Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip. decreased under all far-infrared thin layer drying conditions, and the highest polyphenolic content (37.9 mg/g), flavonoid content (22.7 mg/g), DPPH radical scavenging activity (32.5), and ABTS radical scavenging activity (31.1) were observed at a drying temperature of 40°C with an air velocity of 0.8 m/sec.

Key words: *Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip., far-infrared thin layer drying, antioxidant activity, polyphenolics, flavonoids

서 론

취나물은 국화과에 속하는 식물로 우리나라에는 60여 종이 자생하고 있다. 대표적인 식용 취나물은 단풍취, 참취, 곰취, 개미취, 각시취, 수리취, 미역취 등 24종이 있고, 주로 자연산을 채취하거나 재배하여 식용으로 이용한다. 취나물에는 일반성분 중 조지방이 5.2~9.0%, 조단백질은 8.7~13% 그리고 회분은 12.2~15.9% 수준으로 높은 함량을 보이는 것으로 알려져 있고, 취나물 종류별로 유사한 함량 분포를 보이는 것으로 보고되고 있다(1). 식용 취나물 중 단풍취(*Ainsliaea acerifolia* Sch. Bip.)는 한국, 중국 및 일본

등 동북아시아 지역에 분포하고 있고, 어린순이나 잎을 나물로 하여 식용으로 사용하며, 높이가 35~80 cm, 잎 길이는 6~12.5 cm, 폭은 6.5~19 cm의 크기로서 국내 각처의 산에서 자라는 다년생 초본이다(2,3). 또한 단풍취에는 단백질, 갈슘, 인, β -카로틴, 회분 등이 함유되어 있는 알칼리성 식품으로 맛과 향기가 뛰어나 산채류 중에서 비교적 선호도가 높다.

한편 단풍취는 생채를 식용으로 이용하기도 하지만 대부분 채취 후 건조하여 저장하였다가 식용으로 이용되고 있다. 기존의 산채류의 건조방법은 천일건조나 열풍건조를 이용하고 있고, 종류에 따라 데친 후 응달에서 건조하기도 한다. 천일건조나 음건의 경우 특별한 설비가 필요하지 않고 사용이 간편하며 경제적이라는 장점이 있다. 그러나 이 방식들은 기후의 영향을 받으며, 장기간의 건조시간이 소요되므로 건조 도중에 산화반응이나 광화학반응에 의해 제품의 색깔이

Received 7 April 2014; Accepted 5 June 2014

*These authors contributed equally to this work.

†Corresponding author.

E-mail: hansu@cbnu.ac.kr, Phone: +82-43-261-2580

퇴색 또는 변색되고, 영양 성분이 파괴되는 등의 품질 저하 현상이 발생할 수 있는 단점이 있다. 한편 열풍건조의 경우 제품 전체를 가열하여야 하므로 열효율이 낮고, 가열로 인한 제품의 향기나 무기질 등이 파괴되어 영양적 손실과 함께 표면경화, 낮은 복원력 등의 문제점이 있다(4). 따라서 산채류의 건조 품질과 영양소 파괴 등을 최소화할 수 있는 건조 방법과 건조기술이 필요하고, 최근 농산물 건조 열원으로 원적외선을 이용하는 건조방법이 제시되고 있다.

원적외선을 농산물 및 식품 건조에 이용한 연구로는 녹차 완제품에 원적외선을 처리한 후 녹차 추출물의 flavanol 함량이 무처리구(145 mg/g)에 비하여 원적외선을 10분간 처리한 경우 160 mg/g으로 증가하고, DPPH 라디칼 소거능의 경우에는 원적외선을 10분간 처리한 녹차 추출물의 경우 62.57%로서 무처리구의 61.58%에 비해 약간 증가했다고 보고하였다(5). Kim 등(6)은 정치식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯의 건조특성 연구에서 원적외선 건조가 열풍 건조보다 건조속도가 빠르고 색도 변화가 적으며 유리아미노산 잔류량도 높아 건조표고버섯의 고품질 생산이 가능하다고 보고하였다. Li(7)는 원적외선을 이용한 농수산물의 건조 및 품질특성 연구에서 원적외선을 이용하여 당근, 표고버섯, 홍고추 및 오징어 건조 시 송풍속도, 건조실 내부의 온도 변화에 따른 건조율을 측정하여 각 인자들이 건조에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 결과에 의하면 건조속도는 모두 원적외선 건조온도 및 송풍속도가 증가할수록 빨라지고, 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다. 건조속도는 송풍속도보다 건조온도의 영향이 지배적인 것으로 나타났고 원적외선 건조속도가 열풍건조보다 빠른 것으로 보고되었다. 최근까지 취나물의 연구보고로는 주로 비타민 및 성분분석, 물질 생산, 발아와 광합성 특성에 관한 연구가 대부분이고, 건조특성 및 품질변화에 대한 연구는 매우 미진한 실정이다(8,9).

따라서 본 연구에서는 원적외선을 이용하여 단풍취를 박층 건조할 경우 건조온도와 송풍속도에 따른 건조특성과 건조제품의 색도 변화, 건조 전후 취나물의 항산화 성분 및

항산화력 변화 등 품질특성을 분석함으로써 고품질의 원적외선 건조 취나물 제품 생산을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료

공시재료는 2007년 5월 강원도에서 수확한 단풍취를 사용하였고, 원적외선 건조 전 초기함수율은 약 79.0~79.8%이었다. 또한 원적외선 건조 전 초기 색도 L(명도), a(녹색도), b(황색도) 값은 각각 37.28~48.5, -20.69~-16.68, 26.61~35.91이었다.

실험방법

단풍취 건조실험에 사용된 컨베이어식 원적외선 건조기의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 컨베이어식 원적외선 건조기의 크기는 5,500×1,800×900 mm(L×H×W)이고, 주요 구성요소는 원적외선 방사체(MEP-550, Restoration, Hwaseong, Korea), 건조실, 반송 컨베이어(5단), 송풍팬(DTB-402, Dongkun, Incheon, Korea) 및 제어반으로 구성되어 있다.

컨베이어식 원적외선 건조에 사용된 단풍취의 1회 시료량은 5 kg이었고, 컨베이어 벨트 위에 2 cm 두께로 깔고 원적외선 건조 후 최종 함수율이 7.5±0.5%로 건조하였으며, 2회 반복 실험하였다. 예비실험 결과 단풍취의 원적외선 건조 실험조건은 건조실 내부온도와 풍속을 각각 40, 45, 50°C와 0.6, 0.8 m/sec로 하였다. 건조된 시료는 함수율, 건조속도, 색도, 항산화성을 측정하여 실험 조건별로 비교 분석하였다.

측정항목

함수율: 건조 전후 시료의 함수율은 시료 20개를 무작위로 채취하여 세절한 후 전자저울(HF-200GD, AND, Tokyo, Japan)로 20±0.5 g을 계량하여 실험용 건조기(WFD600

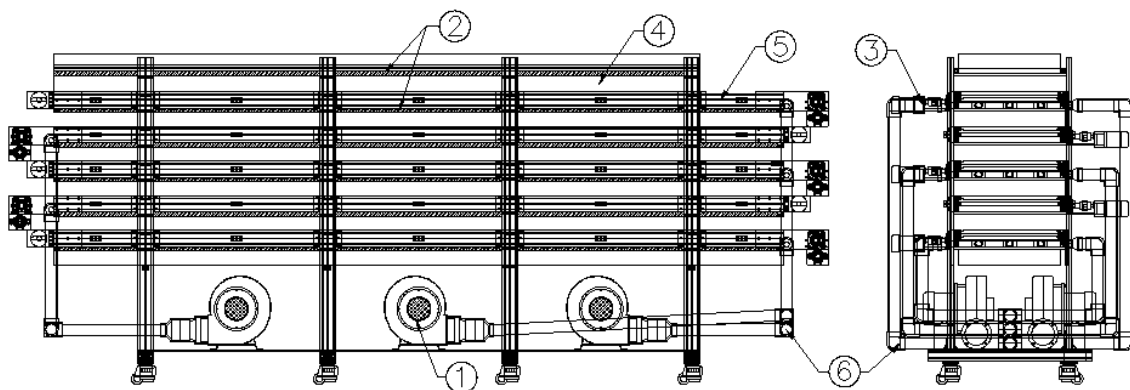


Fig. 1. Schematic diagram of the far-infrared dryer. (1) blast fan, (2) far-infrared heater, (3) motor, (4) drying chamber, (5) belt conveyor, and (6) blast pipe.

ND, EYELA, Tokyo, Japan)에서 105°C로 24시간 건조한 후 중량비로 산출하여 습량기준함수율로 나타내었다(10).

건조속도: 건조속도는 함수율비(moisture ratio)로 표시하였다. 함수율비는 건조시간별 측정된 중량을 함수율로 환산하고 식(1)과 (2)를 이용하여 함수율비로 나타내었다(11,12).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \tag{1}$$

$$M_e = \frac{M_0 - M_f - M_m^2}{M_0 - M_f - 2 \cdot M_m} \tag{2}$$

MR: Moisture ratio

M_t: Moisture content at time t (% , d.b.)

M_e: Equilibrium moisture content (% , d.b.)

M₀: Initial moisture content at time 0 (% , d.b.)

M_m: Middle moisture content in the middle of drying time (% , d.b.)

M_f: Final moisture content at drying finished time (% , d.b.)

건조모델: Table 1은 단풍취의 원적외선 박층 건조모델을 결정하기 위하여 기존의 건조방정식 중에서 널리 사용되고 있는 Lewis, Page, Henderson, Thompson 건조모델을 나타내었다.

실험상수의 결정은 함수율비의 실험값을 모델에 적용하여 SAS의 비선형회귀분석 프로그램 중 DUD(Doesn't Use Derivatives)법을 이용하여 각각의 건조조건별로 건조모델의 실험상수 값을 산출하였다. 실험상수 P, Q, k₁, A₁, k₂, A₂, B를 건조온도와 송풍속도의 함수로 가정하고 다음의 식(3)로 설정하였다(3). 식(3)의 상수 a₀~a₅는 SAS PROC STEPWISE 프로그램을 이용하여 시행착오법에 의해 산출하였고, 함수율비의 실험값과 건조모델을 이용한 예측값 사이의 결정계수 R²과 평균오차제곱근 RMSE로 모델의 적합성을 비교 검증하였다.

$$\text{실험상수} = a_0 + a_1 \cdot (T) + a_2 \cdot (AV) + a_3 \cdot (T)^2 + a_4 \cdot (AV)^2 + a_5 \cdot (T \cdot AV) \tag{3}$$

T: Drying temperature (°C)

AV: Air velocity (m/sec)

색도: 단풍취의 색도 변화는 색도색차계(JX-777, C.T.S., Tokyo, Japan)를 사용하였고, 색도 측정용 샘플을 6개 선정하여 건조 전후 취나물 6부위의 L(명도), a(적색도), b(황색

도) 값을 6회 측정 후 평균값으로 나타내었다. 또한 L, a, b의 변화 값을 종합적으로 반영하는 색차 ΔE 값은 식(4)를 이용하여 산출하였다(16,17).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{4}$$

ΔE: Difference values of the color between after and before drying

ΔL: Difference values of the lightness between after and before drying

Δa: Difference values of the redness between after and before drying

Δb: Difference values of the yellowness between after and before drying

항산화 활성 측정을 위한 취나물 추출물의 제조: 항산화성 실험에 사용한 시료 추출액은 취나물 5 g을 증류수 100 mL에 넣고 5분간 균질화시킨 후 상온에서 12시간 shaking 하였다. 이것을 10,000 rpm에서 5분간 원심분리 한 후 상정액을 filter paper(No. 2, Adventec TOYO, Tokyo, Japan)로 여과하였다. 각각의 추출액은 증류수 100 mL로 희석한 후 질소 충전하여 -20°C에 보관하면서 실험에 사용하였다(18).

총 폴리페놀 화합물: Dewanto 등(19)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu's reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 추출액 100 μL에 2% Na₂CO₃ 용액 2 mL를 가한 후 3분 방치하여 50% Folin-Ciocalteu's reagent 100 μL를 가하였다. 3분 후 반응액의 흡광도 값을 720 nm에서 측정하였고, 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. 검량선을 작성 후 추출물의 총 폴리페놀 함량은 취나물 100 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다(20).

총 플라보노이드: 총 플라보노이드 함량은 Jia 등의 방법을 변형하여 측정하였다(21). 추출물 250 μL에 5% NaNO₂ 75 μL, 10% AlCl₃ 150 μL를 각각 가한 뒤 6분 후 1 M NaOH 500 μL와 증류수 275 μL를 가하여 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로 (+)-catechin을 사용하였으며, 검량선 작성 후 추출물의 플라보노이드 함량은 취나물 100 g 중의 mg (+)-catechin으로 나타내었다(21,22).

ABTS 라디칼을 이용한 총 항산화력 측정: 총 항산화력의 측정은 ABTS radical cation decolorization assay 방법에 의하여 시행하였다. 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS, Sigma-Aldrich Co.) 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 하루 동안 암소에 방치하여 ABST cation 라디칼을 형성시킨 후 이 용액을 414 nm에서 흡광도 값이 1.5가 되도록 물 흡광계수(ε = 3.6×10⁴ M⁻¹cm⁻¹)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS cation 라디칼 용액 1 mL에 추출액 50 μL를 가하여 90분 후 흡광도의 변화를 측정하였으며, 표준물질로서

Table 1. Semi-theoretical and empirical thin layer drying models

No.	Model name	Model	References
1	Page	MR=exp(-P·t ^Q)	Page (13)
2	Lewis	MR=exp(-k ₁ ·t)	Bruce (14)
3	Henderson	MR=A ₁ ·exp(-k ₂ ·t)	Westerman et al. (15)
4	Thompson	t ₂ =A ₂ ·ln(MR)+ B·ln(MR) ²	Ning et al. (3)

MR: moisture ratio.

L-ascorbic acid를 동량 첨가하였다(22). 총 항산화력은 식(5)로 나타내었다.

$$AEAC = \frac{\Delta A}{\Delta A_{aa}} \times \Delta C_{aa} \times V \times \frac{100}{W} \quad (5)$$

AEAC: Mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity per 100 g of sample

ΔA: Change of absorbance in the presence of sample

ΔA_{aa}: Change of absorbance after addition of ascorbic acid standard solution

ΔC_{aa}: Concentration of ascorbic acid standard solution (mg/mL)

V: Volume of sample (mL)

W: Weight of sample (g)

건조모델 및 유의성: 건조모델 및 유의성 검증은 windows용 SAS 통계 프로그램(Release 6.03, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)의 이원배치 분산분석(two-way AVOVA) 방법을 이용하였고, 원적외선 건조온도와 송풍속도에 따라 유의 수준은 5% 이내에서 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

건조속도

Fig. 2는 단풍취의 원적외선 건조조건별 건조시간에 따른 습량기준 함수율 변화를 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 원적외선 박층 건조방법을 이용한 단풍취의 건조

시간은 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다. 또한 원적외선 건조온도 40, 45°C 경우에는 단풍취의 함수율이 건조시간이 경과할수록 선형적으로 감소하는 경향을 보였고, 원적외선 건조온도 50°C의 경우 단풍취의 원적외선 박층 건조는 항율건조기간과 감율건조기간이 뚜렷이 나타나는 건조특성을 보였다.

단풍취의 최종함수율이 7.5±0.5%까지 건조시키는데 소요된 건조시간은 원적외선 건조온도 40°C의 경우 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 360분과 300분이 소요되어, 동일한 건조온도에서 송풍속도 0.8 m/sec가 0.6 m/sec보다 약 60분 정도 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다. 또한 원적외선 건조온도가 45°C의 경우에도 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec의 조건에서 각각 270분과 210분으로 나타나 송풍속도가 빠를수록 약 60분 정도 건조 소요시간이 짧은 것으로 나타났다. 원적외선 건조온도 50°C의 경우 단풍취의 건조시간은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec의 실험조건에서 각각 150분과 120분이 소요되는 것으로 나타나 원적외선 건조온도 40, 45°C보다 송풍속도 0.6 m/sec에서 각각 210분, 120분 건조시간이 빠르고, 송풍속도 0.8 m/sec의 경우에는 각각 180분, 90분 건조소요시간이 단축되는 것으로 나타났다.

이와 같이 원적외선 건조온도 50°C가 40, 45°C의 건조조건보다 건조속도가 빠른 이유는 원적외선 건조온도 50°C의 경우 건조기간 중 단풍취의 함수율이 급격히 감소하는 항율 건조기간이 건조특성으로 나타났기 때문으로 판단된다(23). 또한 Kooli 등(24)의 건조온도가 높고, 송풍속도가 빠를수록 건조시간이 단축된다는 연구결과와 유사하였다.

Fig. 3에 단풍취의 원적외선 건조조건별 건조시간에 따른 함수율비 변화를 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 건조 시작 후 90분이 경과된 시점에서의 함수율비는 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 0.553, 0.465로 나타나 건조속도가 가장 느린 것으로 나타났다. 또한 원적외선 건조온도 45°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서는 함수율비가 각각 0.3176, 0.2331로 송풍속도가 빠를수록 함수율비가 낮은 것으로 나타났으며, 원적외선 건조온도 50°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec의 함수율비는 건조시간 90분에서 0.1658, 0.0002로 단풍취의 건조속도는 원적외선 건조온도 50°C, 0.8 m/sec 조건이 가장 빠른 것으로 나타났다.

건조모델

단풍취의 원적외선 박층 건조시간에 따른 함수율비 예측모델의 모델상수와 결정계수를 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 바와 같이 단풍취의 건조모델 모델상수는 함수율비의 실험값을 Lewis, Page, Thompson 및 Henderson 건조모델에 적용하여 결정하였고, 각 모델의 모델상수는 원적외선 건조온도와 송풍속도 함수로 나타내었다. 모든 건조모델 모델상수의 결정계수는 0.9000 이상으로 나타났고, 그중에서 Thompson 건조모델 모델상수 A₂, B의 결

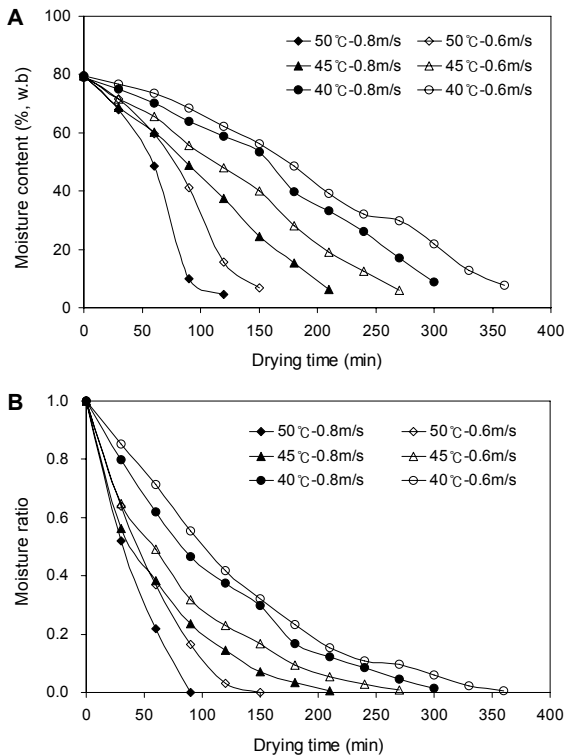


Fig. 2. Comparison of moisture content (A) and moisture ratio (B) according to the drying time.

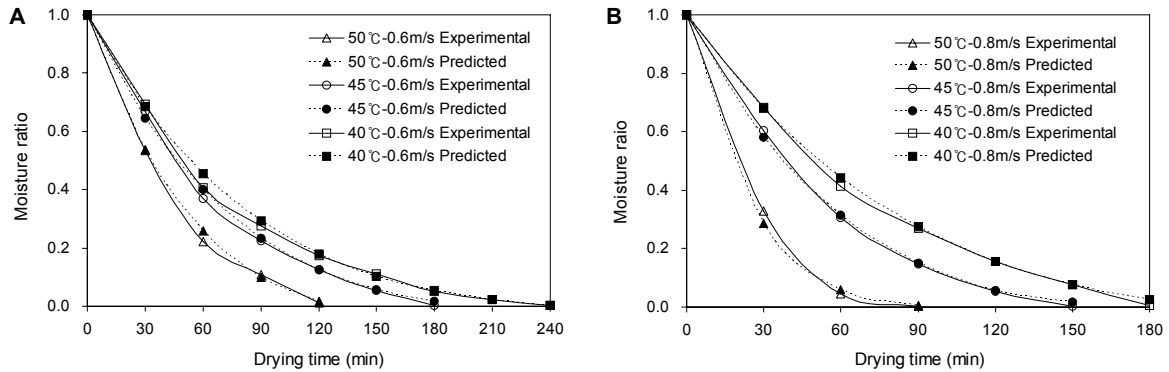


Fig. 3. Variations in experimental and predicted moisture ratios with far infrared thin layer drying time by the Thompson model at air velocities of 0.6 m/sec (A) and 0.8 m/sec (B).

Table 2. Estimated values of model constants

Drying model	Model constants	R ²
Page	$P = -2.8507 + 0.1276 \times T + 0.0014 \times (T)^2 + 0.04722 \times T \times AV$	0.9023
	$Q = 31.874 - 1.424 \times T + 0.0157 \times (T)^2 + 2.1984 \times (AV)^2 + 0.0691 \times T \times AV$	0.9823
Lewis	$k_1 = 0.00031 - 0.0682 \times AV + 0.00199 \times T \times AV$	0.9944
Henderson	$A_1 = 5.0574 - 0.1696 \times T - 0.4774 \times (AV) + 0.0017 \times (T)^2 + 0.0088 \times T \times AV$	0.9678
	$k_2 = 0.0351 - 0.0007 \times T - 0.1172 \times (AV) + 0.00172 + 0.0030 \times T \times AV$	0.9948
Thompson	$A_2 = -24.5525 + 0.8451 \times T + 1.2035 \times (AV) - 0.0077 \times (T)^2$	0.9952
	$B = -4.5636 + 0.1799 \times T - 0.0018 \times (T)^2 + 0.0014 \times T \times AV$	0.9970

T: drying temperature (°C), AV: air velocity (m/sec).

정계수가 각각 0.9952, 0.9970으로 가장 높게 나타났다.

4가지 건조모델의 적합성을 검증하기 위하여 단풍취 원적외선 박층 건조 시 함수율비 실험값과 예측값 사이의 결정계수(R²)와 RMSE를 Table 3에 비교하여 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 모든 건조모델에서 결정계수가 0.9525 이상, RMSE는 0.3020 이하로 나타났다. 특히 Thompson 모델의 결정계수가 0.9826 이상, RMSE는 0.1277 이하로 다른 건조모델보다 예측 정밀도가 높은 것으로 나타났다

Fig. 3은 원적외선 박층 건조온도 조건별 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에 따른 함수율비의 실험값과 Thompson 건조모델을 이용한 함수율비의 예측값을 비교한 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 함수율비의 실험값과 예측값은 송풍속도와 상관없이 모든 원적외선 박층 건조온도 조건에서 건조중

기에 함수율비의 실험값과 예측값은 오차가 있는 것으로 나타났다지만 전체적인 건조시간대에서 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 원적외선 박층 건조를 이용하여 단풍취를 건조할 경우 건조온도, 송풍속도에 따른 건조속도는 Thompson 건조모델을 이용하면 높은 정밀도에서 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

색도 변화

Fig. 4는 원적외선 박층 건조에 의한 단풍취의 건조 전후 ΔL(명도), Δa(적색도/녹색도), Δb(황색도) 및 ΔE(색차) 값을 원적외선 건조조건별로 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 4(A)에 나타난 바와 같이 단풍취의 원적외선 박층 건조 후 ΔL(명도)값은 원적외선 건조온도가 높고 송풍속도가 느릴수록 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 3. Statistical results of the measured values fitted to the predicted values for drying models

Models		40°C		45°C		50°C	
		0.6 m/sec	0.8 m/sec	0.6 m/sec	0.8 m/sec	0.6 m/sec	0.8 m/sec
Page	R ²	0.9525	0.9753	0.9858	0.9798	0.9951	0.9617
	RMSE	0.2103	0.1601	0.1174	0.1444	0.0506	0.3020
Lewis	R ²	0.9799	0.9879	0.9963	0.9959	0.9787	0.9926
	RMSE	0.0589	0.0638	0.0688	0.0561	0.0397	0.0959
Henderson	R ²	0.9849	0.9894	0.9963	0.9961	0.9801	0.9927
	RMSE	0.0999	0.0885	0.0658	0.0506	0.0494	0.1153
Thompson	R ²	0.9939	0.9981	0.9929	0.9891	0.9826	0.9962
	RMSE	0.1029	0.0451	0.1012	0.1181	0.0654	0.1277

RMSE: root mean square error.

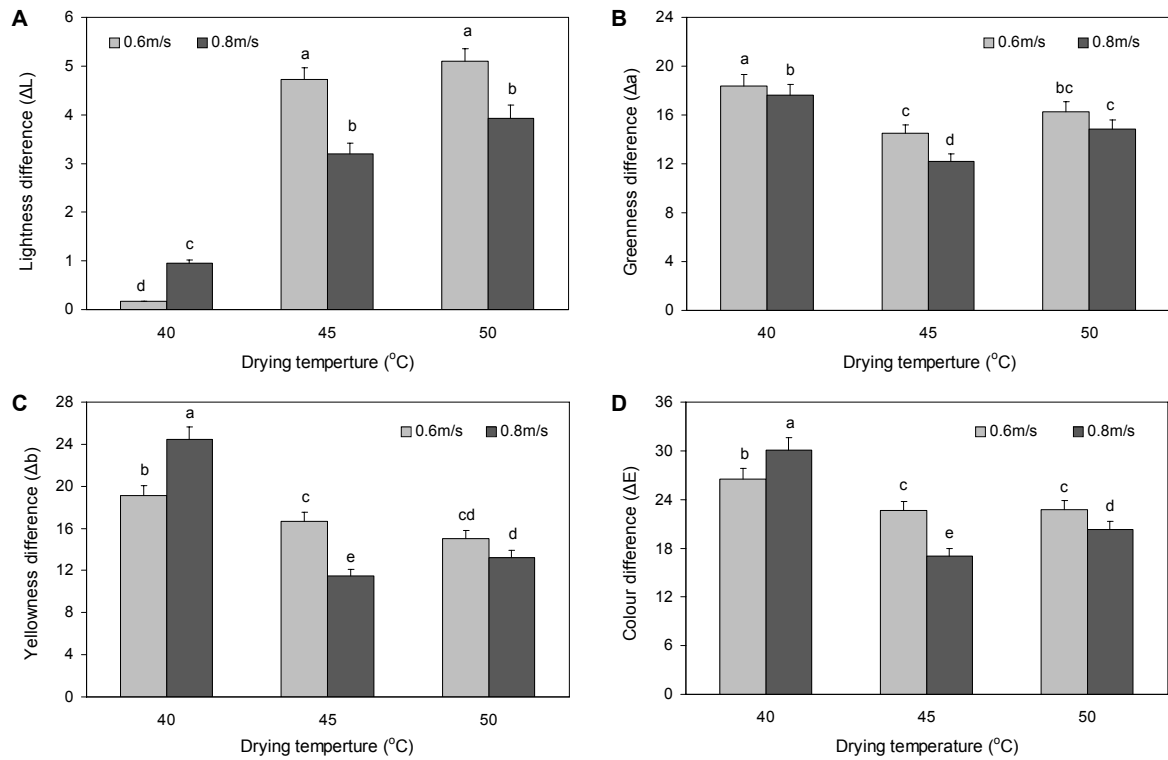


Fig. 4. Comparison of ΔL value, Δa value, Δb value, and ΔE value. Values are mean \pm SD. Means with different letters (a-e) above the bars are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

원적외선 건조온도 40°C의 경우 ΔL 값은 건조 전과 비교하여 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 0.17, 0.96 증가한 것으로 나타나 송풍속도 0.8 m/sec에서 건조한 단풍취의 ΔL 증가 값이 송풍속도 0.6 m/sec보다 0.79 더 높았지만 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조온도 45°C의 경우 건조 전후 ΔL 값은 건조 전보다 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 4.73, 3.20 증가하였고 송풍속도 0.6 m/sec가 0.8 m/sec보다 1.53 높은 것으로 나타났으며, 원적외선 건조온도 50°C의 경우에도 건조 전후 ΔL 값은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 5.10, 3.93 증가하여 송풍속도 0.6 m/sec가 0.8 m/sec보다 1.17 높은 것으로 나타났지만 육안으로는 큰 차이가 없었다. 한편 원적외선 건조온도와 송풍속도에 대한 유의성 검증에서 원적외선 건조온도 45, 50°C에서는 유의한 차이가 인정되지 않았지만 송풍속도에서는 유의성이 인정되었고, 원적외선 건조온도 40°C의 경우에는 건조온도와 송풍속도에서 유의성이 인정되었다. 이와 같이 단풍취의 원적외선 박층 건조 시 건조온도가 높을수록 ΔL 값이 증가한 이유는 전술한 바와 같이 원적외선 건조온도가 높을수록 건조속도가 빨라 온도에 의한 영향을 적게 받았기 때문으로 판단된다.

Fig. 4(B)는 원적외선 박층 건조에 의한 단풍취의 건조 전후 Δa 값을 나타낸 것으로서 a값이 측정 시 + 값을 나타내는 경우에는 적색도 값을 의미하고, -값인 경우에는 녹색도를 나타낸다. Fig. 4(B)에서 알 수 있듯이 단풍취의 원적외

선 박층 건조에 의한 건조 전후 Δa 값은 건조온도가 낮고, 송풍속도가 느릴수록 갈변하는 현상이 심화되는 것으로 나타났다.

원적외선 박층 건조 전 단풍취의 a값은 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 -18.13, -20.69이었고, 원적외선 박층 건조 후 단풍취의 Δa 값은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 18.08, 17.60 증가하였고, 동일한 건조온도에서 송풍속도가 빠를수록 갈변현상이 크지 않은 것으로 나타났다. 원적외선 건조온도 45°C의 경우 원적외선 박층 건조 전 단풍취의 a값은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 -19.55, -16.68로서 원적외선 박층 건조 후에는 Δa 값은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 14.63, 12.21 증가하였으며, 원적외선 건조온도 40°C와 비교하여 Δa 값이 3.45~5.39 낮은 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조온도 50°C의 경우에는 원적외선 박층 건조 전 단풍취의 a값이 -18.47, -19.04로 나타났고, 원적외선 건조 후에 단풍취의 Δa 값은 16.26, 14.83으로 증가하여 원적외선 건조온도 45°C와 비교하여 큰 차이는 없었지만 원적외선 건조온도 40°C보다는 Δa 값이 1.82~2.77 낮은 것으로 나타나, 원적외선 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 갈변현상이 적은 것으로 나타났다. 통계 분석 결과에서는 원적외선 건조온도와 송풍속도 조건별로 Δa 값이 유의성이 있는 것으로 분석되었다. 이와 같이 원적외선 건조온도가 높고 송풍속도가 빠를수록 갈변현상이 적은 이유는, 건조온도가 높고 송풍

속도가 빠를수록 건조속도가 빨라 고온에 노출되는 시간이 적어졌기 때문에 판단된다.

Fig. 4(C)는 원적외선 박층 건조에 의한 단풍취의 건조 전후 Δb 값의 변화를 나타낸 것으로서, Fig. 4(C)에 나타낸 바와 같이 단풍취의 원적외선 박층 건조에 의한 건조 전후 Δb 값도 Δa 값과 유사하게 건조온도가 낮고, 송풍속도가 느릴수록 Δb 값이 크게 변화하는 경향을 보였고, 특히 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.8 m/sec에서의 Δb 값이 가장 크게 변화되는 것으로 나타났다.

원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 Δb 값은 각각 19.08, 24.44로 다른 건조조건보다 가장 크게 황색도가 변화한 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조온도 45°C와 50°C의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 16.70, 11.50과 15.06, 13.23으로 유사한 값을 나타내었다.

원적외선 박층 건조조건별 단풍취의 건조 전후 ΔE 값을 Fig. 4(D)에 나타내었다. Fig. 4(D)에서 보는 바와 같이 단풍취의 건조 전후 ΔE 값은 원적외선 건조온도가 낮을수록 색도 크게 변화하는 경향을 보였다.

원적외선 박층 건조조건에 따른 단풍취의 ΔE 값은 원적외선 건조온도 40°C의 경우 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 26.28, 28.68로 나타났고, 송풍속도 0.8 m/sec 조건이 다른 건조조건보다 ΔE 값이 가장 크게 변화한 것으로 나타났다. 원적외선 건조온도 45°C의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 22.99, 17.07로 다른 건조조건과 비교하여 색도 변화가 가장 적은 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조온도 50°C의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 22.73, 20.26으로 나타나 원적외선 건조온도 45°C와 비교하여 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 단풍취의 외관 품질을 좌우하는 색도 값의 결과로 볼 때 원적외선 건조온도가 높고 송풍속도가 빨라 건조속도가 빠른 조건에서 건조하는 것이 품질유지를 위해 적정할 것으로 판단된다. 또한 이와 같은 결과는 건조시간과 건조온도가 증가할수록 천연색소의 안전성이 감소한다는 결과와 일치하였다(25).

항산화성

Table 4는 원적외선 박층 건조에 따른 단풍취의 건조 전후의 항산화 물질인 폴리페놀과 플라보노이드 함량 변화를

비교하여 나타낸 것이다. 원적외선 박층 건조 전 단풍취의 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 각각 60.5, 33.5 mg/g이었다. Table 4에서 보는 바와 같이 원적외선 박층 건조 후 단풍취의 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었고, 원적외선 건조온도가 높을수록 감소량이 큰 경향을 나타내었다.

원적외선 박층 건조 후 단풍취의 폴리페놀 함량은 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 31.0, 37.9 mg/g으로 원적외선 박층 건조 전보다 29.5, 22.6 mg/g이 감소하였고, 감소율로 각각 48.76, 37.36%를 나타내었다. 원적외선 건조온도 45°C의 경우 건조 후 폴리페놀 잔류량은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 37.2, 32.5 mg/g으로 나타나 건조 전과 비교하여 23.3, 28.0 mg/g이 감소한 것으로 나타났으며, 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 38.51, 46.28% 감소한 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조온도 50°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 건조할 경우 폴리페놀 함량은 각각 27.1, 29.4 mg/g을 나타내었고, 감소율로 보면 55.21, 51.40%가 원적외선 건조 전보다 감소한 것으로 나타나 다른 건조 조건보다 감소율이 높은 경향을 보였다.

단풍취의 원적외선 박층 건조 후 플라보노이드 함량은 원적외선 건조온도 40°C의 경우 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 19.1, 22.7 mg/g으로 원적외선 박층 건조 전보다 각각 42.99, 32.24% 감소한 것으로 나타났다. 원적외선 건조온도 45°C의 경우 건조 후 플라보노이드 잔류량은 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 21.5, 22.0 mg/g으로 나타나 건조 전과 비교하여 35.82, 34.32% 감소한 것으로 나타났다. 한편 원적외선 건조온도 50°C의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 건조할 경우 플라보노이드 함량은 각각 18.7, 16.0 mg/g으로 원적외선 건조 전보다 44.18, 52.24% 감소한 것으로 나타나 다른 건조조건보다 감소율이 가장 높은 경향을 보였다.

이와 같이 원적외선 건조온도가 높을수록 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 낮은 이유는 고온에서 폴리페놀과 플라보노이드 성분이 쉽게 파괴되기 때문으로 판단된다.

Table 5에 원적외선 박층 건조조건별 단풍취의 DPPH radical의 전자공여능과 ABTS·⁺ decolorization assay에

Table 4. Effect of drying temperature and air velocity on polyphenolic and flavonoid contents in *A. acerifolia*

Drying conditions		Content (mg/g DW)		Decrease ratio (%)	
		Polyphenolics	Flavonoids	Polyphenolics	Flavonoids
Raw materials		60.5 ^a	33.5 ^a	—	—
40°C	0.6 m/sec	31.0 ^c	19.1 ^c	48.76	42.99
	0.8 m/sec	37.9 ^b	22.7 ^b	37.36	32.24
45°C	0.6 m/sec	37.2 ^b	21.5 ^b	38.51	35.82
	0.8 m/sec	32.5 ^c	22.0 ^b	46.28	34.32
50°C	0.6 m/sec	27.1 ^d	18.7 ^c	55.21	44.18
	0.8 m/sec	29.4 ^{cd}	16.0 ^d	51.40	52.24

Means with different superscripts (a-d) in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

Table 5. Effects of drying temperature and air velocity on the antioxidant activity of *A. acerifolia*

Drying conditions		Antioxidant activity		Decrease ratio (%)	
		DPPH	ABTS	DPPH	ABTS
Raw materials		49.7 ^a	46.6 ^a	—	—
40°C	0.6 m/sec	23.5 ^d	23.3 ^d	52.72	50.00
	0.8 m/sec	32.5 ^b	31.1 ^b	34.61	33.26
45°C	0.6 m/sec	28.7 ^c	30.1 ^b	42.25	35.41
	0.8 m/sec	26.1 ^{cd}	25.8 ^c	47.48	44.64
50°C	0.6 m/sec	17.2 ^f	18.2 ^e	65.39	60.94
	0.8 m/sec	20.2 ^e	22.0 ^d	59.36	52.79

Means with different superscripts (a-f) in the same column are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

의한 항산화력을 나타내었다. Table 5에 나타낸 바와 같이 원적외선 박층 건조 후 단풍취의 DPPH radical의 전자공여 능력과 ABTS·⁺ decolorization assay에 의한 항산화력은 모든 건조조건에서 감소하는 것으로 나타났고, 특히 원적외선 건조온도가 높을수록 감소율이 큰 경향을 보였다.

원적외선 건조온도 40°C에서 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec로 건조할 경우 DPPH radical의 제거능 감소율은 각각 52.72, 34.61%로 나타났고, 원적외선 건조온도 45°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec로 건조할 경우에는 각각 42.25, 47.48% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 원적외선 건조온도 50°C의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 65.39, 59.36%의 DPPH radical의 제거능이 감소하는 것으로 나타나 다른 원적외선 건조조건과 비교하여 감소율이 가장 높은 경향을 나타내었다.

한편 원적외선 박층 건조 후 단풍취의 ABTS·⁺ decolorization assay에 의한 항산화력 감소율은 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec로 건조할 경우 각각 50.00, 33.26%로 나타났고, 원적외선 건조온도 45°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec의 경우에는 각각 35.41, 46.44% 감소하여 다른 원적외선 건조조건보다 감소율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 원적외선 건조온도 50°C의 경우에는 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec에서 각각 60.94, 52.79% 감소하는 것으로 나타나 다른 원적외선 건조조건과 비교하여 감소율이 가장 높은 경향을 나타내었다.

이와 같이 원적외선 건조온도가 높을수록 항산화 성분인 폴리페놀과 플라보노이드 함량과 항산화력이 낮은 이유는 고온에서의 열적 파괴와 산화에 의한 것으로 판단된다(3). 따라서 단풍취의 항산화 성분과 항산화력을 유지하기 위해서는 45°C 이하의 저온에서 건조하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 원적외선 이용하여 단풍취를 박층 건조할 경우 건조온도와 송풍속도에 따른 건조특성과 건조제품의 색도 변화를 조사하였고, 건조 전후 취나물의 항산화 성분과 항산화력 변화를 분석함으로써 고품질의 원적외선 건조 취

나물 제품 생산을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다. 단풍취의 건조속도는 원적외선 박층 건조온도와 송풍속도가 증가할수록 빨라지고, 건조시간이 단축되는 것으로 나타났다. 특히 원적외선 박층 건조온도 50°C의 송풍속도 0.8 m/sec에서 건조속도가 가장 빠른 것으로 나타났다. 본 연구에서 검증한 건조모델 중 Thompson 모델은 결정계수가 0.9826 이상, RMSE는 0.1277 이하로 나타나, Lewis, Page, Henderson 모델보다 단풍취의 원적외선 박층 건조 시 함수율비 예측 정밀도가 높은 것으로 나타났다. 원적외선 박층 건조 후 단풍취의 ΔL(명도)값은 원적외선 건조온도와 송풍속도가 빠를수록 증가하는 경향을 보였고, Δa(적색도/녹색도)와 Δb(황색도) 값은 원적외선 건조온도가 낮고, 송풍속도가 느릴수록 갈변하는 현상이 심화되는 것으로 나타났다. 원적외선 박층 건조 후 단풍취의 ΔE(색차)값도 원적외선 건조온도가 낮고, 송풍속도가 느릴수록 증가하는 경향을 보였다. 항산화 성분인 폴리페놀 함량의 경우 원적외선 건조온도가 높을수록 감소량이 증가하였고 원적외선 박층 건조 후 37.36~55.21% 감소하는 경향을 보였으며, 원적외선 박층 건조조건 중 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.8 m/sec와 45°C의 송풍속도 0.6 m/sec 조건에서 감소율이 낮은 것으로 나타났다. 플라보노이드 함량의 경우에도 원적외선 박층 건조 후 32.24~44.18% 감소하는 것으로 나타났고, 원적외선 건조온도 40°C의 송풍속도 0.8 m/sec와 45°C의 송풍속도 0.8 m/sec 조건에서 감소율이 낮은 것으로 나타났다. 항산화력의 경우에도 원적외선 건조온도가 높을수록 감소하는 경향을 보였고, 원적외선 건조조건 중 40°C의 송풍속도 0.8 m/sec와 45°C의 송풍속도 0.6 m/sec 조건에서 항산화력 감소율이 다른 건조조건보다 낮은 것으로 나타났다. 따라서 단풍취의 건조시간, 건조 중 변색, 항산화 성분 및 항산화력 등을 고려하면 단풍취 건조제품의 고품질화를 위해서는 원적외선 박층 건조온도 45°C의 송풍속도 0.6, 0.8 m/sec가 적절한 건조조건으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. Shin KH, Lee SH, Cho DH, Park CH. 1998. Analysis of vitamins and general components in the leaves of Chwinamul. *Korean J Plant Res* 11: 163-167.
2. Chung TY, Eiserich JP, Shibamoto T. 1993. Volatile compounds isolated from edible Korean chamchwi (*Aster scaber* Thumb). *J Agric Food Chem* 41: 1693-1697.
3. Ning X, Han C, Cho S, Lee J, Yoon S. 2013. Far-infrared drying characteristics and quality assessment of *Ligularia fischeri*. *Food Sci Biotechnol* 22(S): 281-288.
4. Lee MK, Kim SH, Ham SS, Lee SY, Chung CK, Kang IJ, Oh DH. 2000. The effect of far infrared ray-vacuum drying on the quality changes of *Pimpinella bracycarpa*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 561-567.
5. Kim SY, Jeong SM, Lee SC. 2004. Effect of far-infrared irradiation on the antioxidant activity and catechin of green tea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 753-756.
6. Kim CF, Li H, Han CS, Park JS, Lee HC, Cho SC. 2007. Drying characteristics of oak mushroom using stationary far-infrared dryer. *J Biosystems Eng* 32: 6-12.
7. Li H. 2009. Drying and quality characteristics of agricultural and fishery products using far infrared rays. *PhD Dissertation*. Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
8. Shin KH, Lee SH, Cho DH, Park CH. 1998. Analysis of vitamins and general components in the leaves of Chwinamul. *Korean J Plant Res* 11: 163-167.
9. Cho DH, Shin SE, Heo K, Yu CY. 1998. Study on matter production and photosynthetic characteristics in wild vegetable. *Korean J Plant Res* 11: 307-314.
10. Yon KS, Kim MH, Han CS, Cho SC, Kang TH, Lee HC, Kim CB, Kim JK. 2004. Drying characteristics of oak mushroom using conveyor far infrared dryer - down draft air flow type -. *J Biosystems Eng* 29: 37-44.
11. Altan A, Maskan M. 2005. Microwave assisted drying of short-cut (ditalini) macaroni: drying characteristics and effect of drying processes on starch properties. *Food Res Int* 38: 787-796.
12. Ning XF, Han CS, Li H. 2012. A mathematical model for color changes in red pepper during far infrared drying. *J Biosystems Eng* 37: 327-334.
13. Page GE. 1949. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. *MS Thesis*. Purdue University, West Lafayette, IN, USA.
14. Bruce DM. 1985. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150°C. *J Agric Eng Res* 32: 337-348.
15. Westerman PW, White GM, Ross IJ. 1973. Relative humidity effect on the high-temperature drying of shelled corn. *Trans ASAE* 16: 1136-1139.
16. Feng H, Tang J. 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *J Food Sci* 63: 679-683.
17. Lee SK, Park WJ, Kim W, Kang MH, Jeon MJ, Paik SW, Han JW. 2010. Analysis of the drying characteristics of *Lycii fructus* with drying plates. *J Biosystems Eng* 35: 250-256.
18. Choi YM, Jeong HS, Lee JS. 2007. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grain consumed in Korea. *Food Chem* 103: 130-138.
19. Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
20. Liu HY, Qiu NX, Ding HH, Yao RQ. 2008. Polyphenols contents and antioxidant capacity of 68 Chinese herbals suitable for medical or food uses. *Food Res Int* 41: 363-370.
21. Jia Z, Tang M, Wu J. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64: 555-559.
22. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26: 1231-1237.
23. Wang NR. 2002. *Yan ye de tiao zhi yu fen ji*. Press of University of Science and Technology of China, Hefei, China. p 83-85.
24. Kooli S, Fadhel A, Farhat A, Belghith A. 2007. Drying of red pepper in open sun and greenhouse conditions: mathematical modeling and experimental validation. *J Food Eng* 79: 1094-1103.
25. Vega-Gálvez A, Lemus-Mondaca R, Bilbao-Sáinz C, Fito P, Andrés A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *J Food Eng* 85: 42-50.