바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 34, No. 3, pp. 175~182 (2009. 6)

산삼배양근의 원적외선 건조특성

리 혁 강태환 녕효봉 조성찬 한충수

Far Infrared Rays Drying Characteristics of Tissue Cultured Mountain Ginseng Roots

H. Li T. H. Kwang X. F. Ning S. C. Cho C. S. Han

Abstract

This study was conducted to investigate the drying characteristics of tissue cultured mountain ginseng roots. The far infrared rays dryer of a double blast system used for this experiment can control the drying parameters such as far infrared heater temperature and air velocity. The far infrared rays drying tests of tissue cultured mountain ginseng roots were performed at air velocity of 0.4, 0.6, 0.8 m/s, under drying air temperature of 50, 60, and 70℃, respectively. The results were compared with one obtained by the heated air drying method. The drying characteristics such as drying rate, color, energy consumption, saponin components and antioxidant activities were analyzed. The results showed that the drying rate of far infrared rays drying was faster than that of heated air drying and due to high temperature of drying air and fast air velocity, the far infrared rays drying of double blast type was superior to the heated air drying. The value of the color difference for heated air drying was 10.11~12.99 and that of far infrared rays drying was in the range of 7.05~7.54, which was in the same drying condition, also energy consumption of far infrared rays drying was in the range of 3575~6898 kJ/kg-water. At the same time, the antioxidant activities using far infrared rays drying were higher than those using heated air drying.

Keywords : Far infrared rays, Drying rate, Tissue cultured mountain ginseng roots, Far infrared rays dryer

1. 서 론

인삼(Panax ginseng C.A. Meyer)은 식물학적으로 오가과(五加科, Araliaceae) 인삼속(人蔘屬, Panax)에 속하고, 뿌리를 식용과 약용으로 이용하는 식물이다. 인삼은 주로 약재로 사용되어 왔으나 경제성장과 더불어 국민소득이 향상됨에 따라 건강식품, 차, 음료, 화장품 등에 이용 확대되고 있다. 그러나 인삼은 다년생식물로써 그 세대기간이 4~6년으로 연작이 불가능하고 재배가능 면적이 점차 줄어들고 있으며, 해가림이라는 특수한 시설조건 하에서만 재배가 가능하기 때문에 재배기간이 긴 재배인삼을 이용하여 산업적으로 응용하기에는 어려운 점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 최근 국내의 인삼 연구방향은 고품질을 지향하면서 조직배양에 의해 생산된 인삼 캘러스나 뿌리를 재배인삼 대용으로 사용하기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Oh et al., 2000). 이 중 인삼의 부정근 배양기술을 이용한 ginsenoside의 생산은 세포배양과 모상근 배양에 비하여 유전적 안전성과 높은 생산성을 가지고 있어 산업화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(Paek et al., 2001).

최근 산삼배양근의 대량생산으로 인하여 농축 및 분말제품은 건강식품, 약품, 음료, 술 등 다양한 분야에 사용되고 있지만, 산삼배양근에 대한 연구는 주로 조직배양기술 및 성분 분석에 관한 것이 대부분이고, 산삼배양근 건조에 관한 연구는 매우 미진한 실정이다. 산삼 배양근의 건조는 주로 열풍건조

This study was conducted by the research grant of the Chungbuk National University in 2007. The article was submitted for publication on 2009-04-27, reviewed on 2009-05-28, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-06-12. The author are He Li, Graduate Student, KSAM member, Tae Hwann Kang, KSAM member, Agriculture Science & Technology Research Institute of Chungbuk National University, Xiao Feng Ning, Graduate Student, KSAM member, Sung Chan Cho, Professor, KSAM member, Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, and Chung Su Han, Professor, KSAM member. Corresponding author: C. S. Han, Professor, Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea; Phone: 043-261-2580; Fax: 043-271-2580; E-mail: <hansu@chungbuk.ac.kr>.

방법으로 건조하고 있으며, 건조 후 품질 및 건조 에너지 절감 등에 개선할 점이 있다고 판단된다.

원적외선을 농산물 및 식품 건조에 이용한 연구로 Yeon 등(2004)은 컨베이어 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯의 건조특성을 연구하였고, 원적외선건조가 열풍건조 보다 건조속도가 빠르고, 에너지 소비량은 열풍건조보다 31~44% 감소하였으며, 원적외선건조가 열풍건조 보다 품질이 양호한 것으로 보고하였다.

Li 등(2005)은 원적외선을 이용한 발효녹차의 건조특성에 관한 연구에서 건조속도는 원적외선건조가 재래식 온돌 건조방법 보다 빨랐으며 품질도 우수하다고 보고하였다.

Kim 등(2007)은 정치식 원적외선 건조기를 이용한 표고버섯 건조특성에 관한 연구에서 원적외선건조가 열풍건조 보다 건조속도가 빠를 뿐만 아니라 피건조물 품질도 우수하고 에너지 소비량도 열풍건조 보다 적은 것으로 보고하였다. 이와 같이 농산물 및 식품 건조 공정에 원적외선을 이용함으로서 에너지 절감 효과, 건조시간 단축 및 생산성 향상과 건조의 균일화로 제품의 부가가치를 높이는 데 효과가 있는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 원적외선 가열 메커니즘을 도입한 정치식 원적외선 건조 방법이 산삼배양근의 건조에 미치는 영향 및 적정 조건을 구명하고, 원적외선 건조기 설계에 필요한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

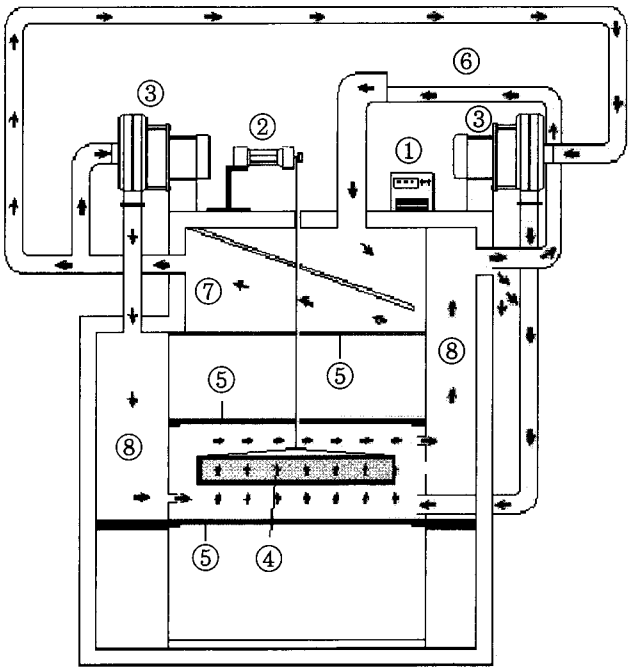
공시재료인 산삼배양근은 충북대학교 첨단원예기술개발센터에서 생산한 것으로서 초기평균 함수율이 852.4% d.b.(이후 %로만 표시)이었고, 초기색도 L(명도)값은 44.71~50.18, a(적색도)값 0.35~2.78, b(황색도)값 23.00~27.71이었다. 또한 저장 중 품질변화를 최소화하기 위하여 저온창고(0~5℃)에 보관하였고, 실험시작 전 상온에서 5시간 보관한 후 실험에 사용하였다.

나. 실험장치

그림 1은 산삼배양근 건조에 사용된 양방향 송풍방식인 실험용 정치식 원적외선 건조기의 개략도를 나타낸 것이다.

실험용 원적외선 건조기는 인버터(SVO22iG-2U, LG, Korea), 송풍기(DB270, DongMyung, Korea), 로드셀(BCA-10L, CAS, Korea), 원적외선 방사체(CEP450-0806, MAGICYU-RA, Korea), 채반(700×500×70 mm), 공기순환관 등으로 구성되어 있다.

시료가 담긴 채반은 그림 1과 같이 원적외선 상·하 방사체로터 각각 45 mm 이격시켜 로드셀과 연결시켰고, 건조 중 산삼배양근의 중량변화는 1분 간격으로 컴퓨터에 자동으로



① Inverter ② Load cell ③ Blast fan ④ Sample tray
⑤ Far infrared rays heater ⑥ Blast pipe
⑦ Preheating chamber ⑧ Plenum chamber

Fig. 1 Schematic diagram of far infrared rays dryer using double air flow system.

기록하였다.

송풍속도 측정은 채반의 가로와 세로 방향을 각각 100 mm로 등분하여 24지점의 송풍속도측정 위치를 정하고, 디지털 풍속계(8360-M-GB, TSI, USA)로 측정하여 평균값으로 나타내었다.

건조실내 송풍방식은 그림 1과 같이 양방향으로 하였다. 예열실 ⑦에서 예열된 공기는 좌·우 송풍팬 ③을 통과한 후 공기충만실 ⑧을 통해 채반 밑으로 송풍된다. 송풍속도는 인버터로 송풍팬의 회전수를 조절하였다. 산삼배양근이 담긴 채반을 통과한 건조공기는 공기 재순환관을 통해 건조실 내부로 재순환되게 하여 배출공기의 열을 재활용하였다. 단, 상대습도가 높을 때에는 배습구를 통해 건조실 외부로 배출되게 하였다. 건조공기 온도는 제어부에서 자동 조절하였다.

다. 실험방법

산삼배양근 원적외선 건조시 1회 시료량을 2 kg으로 건조 후 최종 함수율이 11.0 ± 0.5%가 되도록 3회 반복 실험하였다. 건조실내 송풍속도와 온도는 각각 0.4, 0.6, 0.8 m/s와 50, 60, 70℃ 건조조건으로 하였다.

대조구는 상용화된 정치식 열풍건조기(BOPP-1.5, ShinHeung, Korea)를 사용하였고, 상용열풍 건조기의 1회 시료량은 16 kg으로 하였다. 건조조건은 송풍속도 0.8 m/s, 건조온도는 50, 60℃로 2회 반복 실험하였다. 건조 후 최종 함수율은 11.0 ± 0.5%로

하였다.

원적외선건조와 열풍건조 시료의 건조특성 분석은 건조속도, 색도 변화, 에너지 소비량, 항산화성, 사포닌 함량 등을 비교하였다.

라. 측정항목

1) 함수율

함수율 측정은 무작위로 선택한 시료를 전자저울(HF-200GD, AND, Japan)로 20 ± 0.5 g을 칭량하고, 실험용건조기(WFO-600ND, Tokoy Rikakai Co., Japan)로 70℃에서 24시간 건조한 후 중량비로 계산하여 함수율로 나타내었다(Choi, 1992).

2) 건조속도

건조속도는 함수율비로 표시하였다. 함수율비는 로드셀에 의해 측정된 시료 중량을 함수율로 환산하고, 식 (1)과 (2)를 이용하여 함수율비로 나타내었다(Henderson and Pery, 1976; Keum et al., 2003).

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

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

where, MR : Moisture ratio
M_t : Moisture content at time t (%, d.b.)
M_e : Equilibrium moisture content (%, d.b.)
M_0 : 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.)

3) 색도

산삼배양근의 색도변화는 색도색차계(JX-777, C.T.S., Japan)를 이용하여 건조 전·후 채반에 담긴 시료에 대해 무작위로 10곳을 선정하여 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값을 측정한 후 평균값으로 나타내었다. L, a, b의 변화 값을 종합적으로 나타내는 색차(△E)는 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\triangle E = \sqrt{\triangle L^2 + \triangle a^2 + \triangle b^2} \tag{3}$$

where, $\triangle E$: Difference values of the color between after and before drying
$\triangle L$: Difference values of the lightness between after and before drying
$\triangle a$: Difference values of the redness between after and before drying
$\triangle b$: Difference values of the yellowness between after and before drying

4) 에너지 소비량

원적외선건조의 소비전력량은 소비전력량계(WL, LG, Korea)를 이용하여 측정하였고, 수분 1 kg을 건조시키는데 필요한 에너지 소비량으로 환산하여 나타내었다.

5) 사포닌 함량

사포닌 함량은 건조한 산삼배양근을 분쇄기로 분쇄한 후 분말 2 g을 채취하여 75% 메탄올용액에 용해한 후 진공 건조한 다음, 에테르 용액 60 mL 넣어 불순물을 제거하고, 부탄을 50 mL를 첨가하여 사포닌용액을 추출하였다. 추출한 사포닌용액은 50℃에서 진공건조한 후 메탄올 10 mL 첨가한 후, HPLC(2690, Waters, USA)로 사포닌 함량을 비교·분석하였다(Kim, 2002).

6) 항산화력

항산화력은 추출물의 총 폴리페놀 화합물 및 플라보노이드를 정량한 후 DPPH 라디칼을 이용한 전자공여능과 ABTS 라디칼을 이용한 AEAC 값으로 나타냈다.

총 폴리페놀 화합물의 정량은 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 측정하였으며, 총 플라보노이드 함량은 Jia 등(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다.

DPPH 라디칼을 이용한 전자공여능의 측정은 Leong과 Shui(2002)의 방법을 변형하여 실행하였다. 추출물 0.2 mL에 에탄올에 용해된 0.2 mM DPPH용액을 0.8 mL 첨가하여 10초간 충분히 혼합하였다. 10분 동안 실온에서 보관 한 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 식 (4)와 같이 시료 첨가구와 비첨가구의 흡광도차를 백분율로 표시하여 전자공여능으로 나타내었다.

$$EDA(\%) = \left[1 - \frac{A}{B}\right] \times 100 \times A(\%) \tag{4}$$

where, EDA : Electron donating abilities
A : Absorbance of sample at 520 nm
B : Absorbance of control at 520 nm

ABTS 라디칼을 이용한 총 항산화력은 $ABTS^{\cdot+}$ cation decolorization assay 방법(Robert et al., 1999)에 의하여 시행하였다. 측정방법은 2,2'-Azino-bis-(3-ethylbenzothia zoline-6-sulfonic acid) (ABTS, Sigma Chemical Co., USA) 7.4

mM에 potassium persul- phate 2.6 mM을 넣어 혼합물을 만들어 하루 동안 암소에 보관하여 ABTS cation 라디칼을 형성시킨 후, 이 용액을 414 nm에서 흡광도 값이 1.5가 되도록 몰 흡광계수($\varepsilon = 3.6\times10^{4}M^{-1}cm^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS cation 라디칼 용액 1 mL에 추출물 50 μL을 첨가하여 90분 후 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 L-ascorbic acid를 동량 첨가하였다. 총 항산화력(AEAC : mg ascorbic acid equivalent antioxidant capacity per 100 g of sample)은 식 (5)로 계산하였다.

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

where, $AEAC$: 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
C_{aa} : Concentration of ascorbic acid standard solution (mg/mL)
V : Volume of sample (mL)
W : Weight of sample (g)

7) 통계처리

색도 측정값들은 Windows용 SAS 통계 프로그램 일원배치 분산분석(One-Way ANOVA)방법 중 DUNCAN의 다중검정 방법으로 유의수준 0.05에서 각 건조조건 간의 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

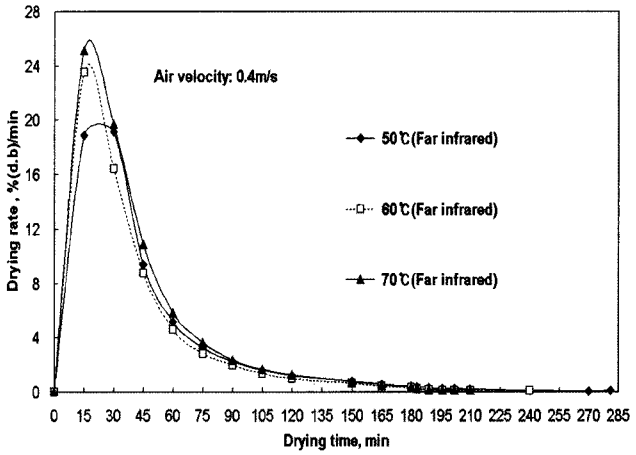
가. 건조특성

그림 2는 산삼배양근을 원적외선 및 열풍건조 할 경우 송풍속도와 건조온도별 건조시간에 따른 건감율 변화를 나타낸 것이다.

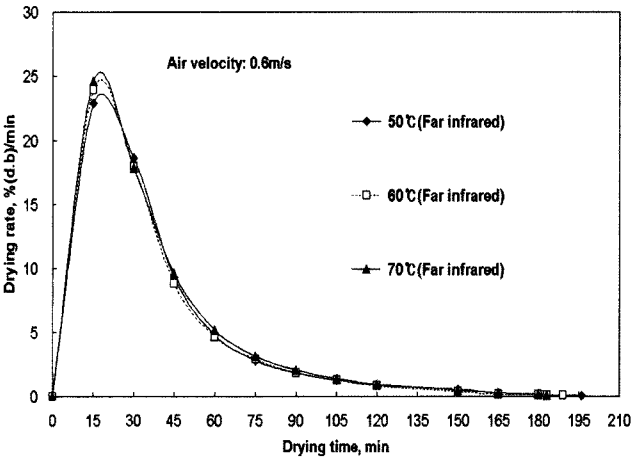
그림 2에서 보는 바와 같이 원적외선건조의 경우 70℃-0.8 m/s 건조조건에서 평균 건감율은 5.75 %/min으로 가장 높게 나타났고, 50℃-0.4 m/s 건조조건에서 평균 건감율은 3.21 %/min으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 열풍건조에서의 평균 건감율은 60℃-0.8 m/s 조건에서 2.83 %/min으로 가장 높았고, 50℃-0.8 m/s에서 2.39 %/min으로 낮게 나타났다.

건조시작 후 15분 내의 원적외선건조 건감율은 18.57~26.81 %/min로 열풍건조의 건감율 4.29~4.44 %/min보다 14.28~22.37 %/min 높게 나타났다.

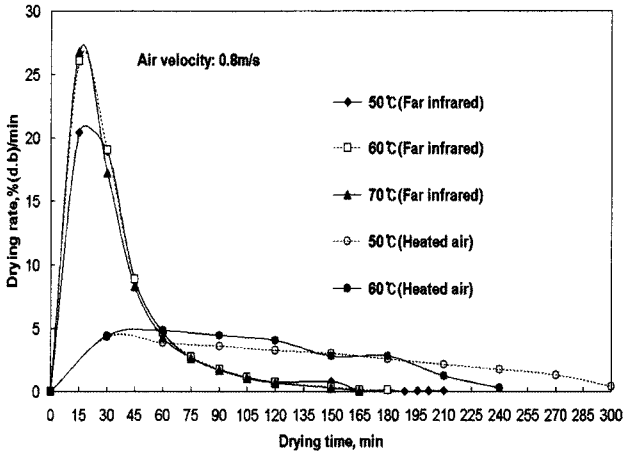
그림 2 (a)와 (b)에서 알 수 있듯이 송풍속도가 0.4, 0.6 m/s일 때 원적외선 건조온도 50, 60, 70℃에서 평균 건감율은 각각 3.21, 3.67, 4.37 %/min와 4.55, 4.85, 5.07 %/min이었으



(a) Ventilation velocity of 0.4 m/s.



(b) Ventilation velocity of 0.6 m/s.



(c) Ventilation velocity of 0.8 m/s.

Fig. 2 Effect of drying temperature on drying rate at ventilation velocity of 0.8 m/s.

며, 건조온도 70℃가 50, 60℃보다 각각 1.16, 0.46 %/min와 0.52, 0.22 %/min 정도 높은 것으로 나타나 건조온도가 높을수록 평균 검감율이 높았다.

그림 2(c)는 송풍속도 0.8 m/s일 때 건조온도에 따른 원적외선 및 열풍건조의 건감율를 나타낸 것이다.

그림 2(c)에서 보는 바와 같이 원적외선건조의 경우 건조온도 50, 60, 70℃일 때 평균 건감율은 각각 3.77, 5.06, 5.75 %/min로 나타났고, 건조온도가 상승함에 따라 평균 건감율이 높아지는 경향을 나타내었다. 또한 열풍건조는 건조온도 50, 60℃에서 각각 2.39, 2.83 %/min로 나타나, 동일한 건조조건의 원적외선건조보다 1.38, 3.23 %/min 낮게 나타났다.

동일한 건조조건에서 원적외선건조가 열풍건조보다 평균 건감율이 높은 것은 원적외선건조의 경우 복사열전달에 의한 건조방법으로 피건조물 내부온도 상승이 빠르기 때문이라고 판단된다. 이것은 원적외선 열원이 열풍보다 에너지절감과 열효율이 높다는 연구결과와 일치하였다(Han et al., 2003).

나. 색도

원적외선건조와 열풍건조에 의한 건조 전·후의 L(명도), a (적색도), b(황색도) 변화와 $\triangle E$(색차) 값을 그림 3에 나타내었다.

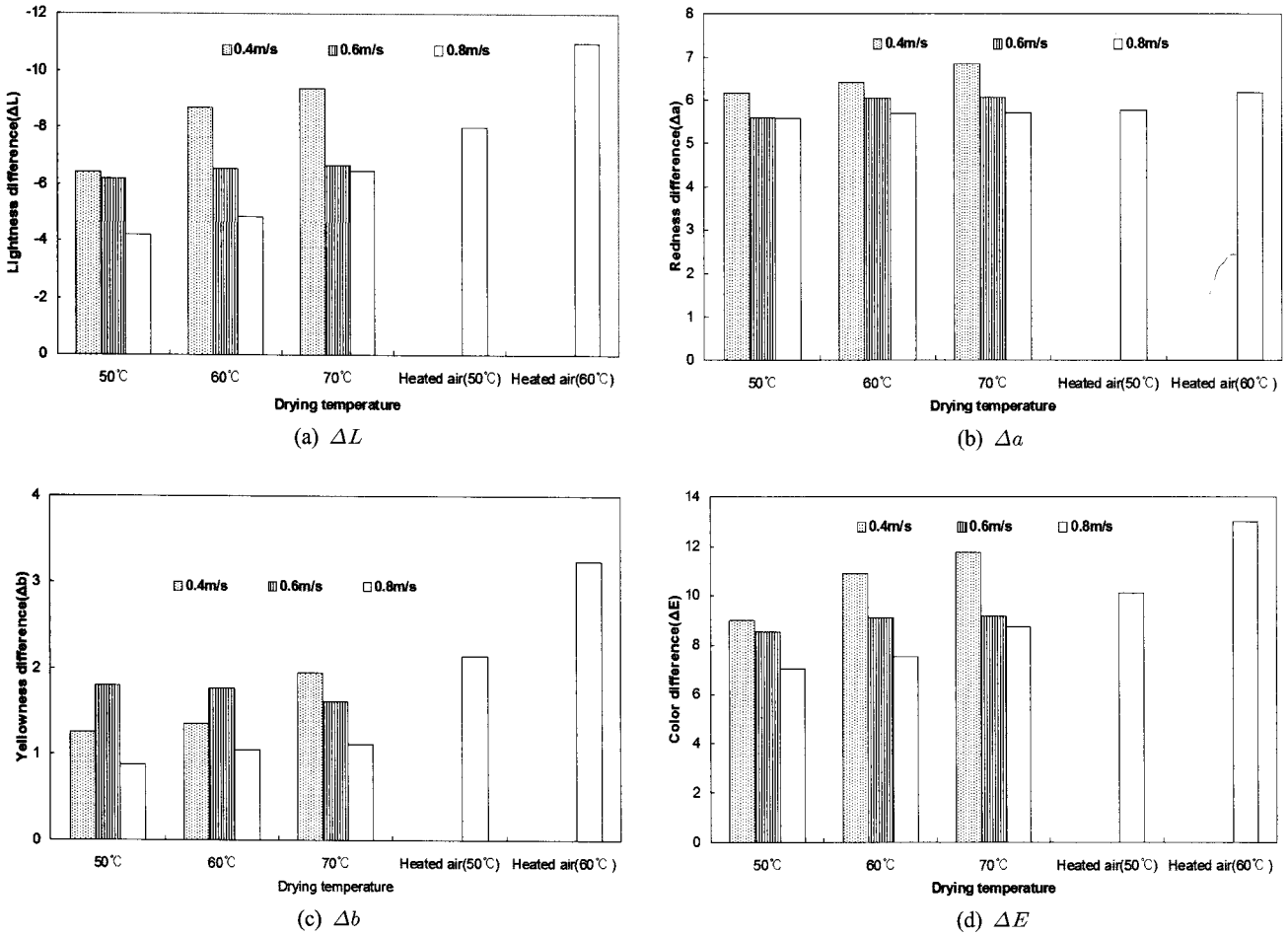
그림 3에 나타냈듯이 L 값, a 값, b 값의 변화는 건조 조건에 관계없이 건조 후 L값은 감소하는 경향을 나타내었고, a 값과 b값은 증가하는 것으로 나타났다.

그림 3(a)는 건조 조건별 건조 전 · 후 L 값의 차인 변화값($\triangle$L)을 나타낸 것이다.

그림 3(a)에서 보듯이 건조온도 50℃에서 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 $\triangle$L 값은 각각 6.42, 6.19, 4.21로 나타났고, 건조온도 60℃에 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s인 경우 각각 8.69, 6.57, 4.84, 건조온도 70℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서는 각각 9.37, 6.67, 6.48 감소하는 것으로 나타났다.

열풍건조는 송풍속도 0.8 m/s, 건조온도 50, 60℃일 경우 각각 8.01, 10.96 감소하였고, 동일한 원적외선건조 조건에서의 L 값 변화보다 3.80~6.12 더 낮아, 원적외선건조가 열풍건조보다 건조 시료의 명도 값이 높은 것으로 나타났다.

원적외선건조의 경우 건조 후 L 변화 값은 건조온도가 동일한 조건에서 송풍속도가 빠를수록 작아지는 경향을 나타내었고, 동일한 송풍속도에서 온도가 높을수록 커지는 경향을



(a) ΔL (b) Δa

(c) Δb (d) ΔE

Fig. 3 Comparison of ΔL, Δa, Δb and ΔE of Tissue cultured mountain ginseng roots before and after drying.

보였다. 건조조건 중 L 값의 감소가 가장 작은 조건은 50℃ -0.8 m/s 이었고, 60℃-0.8 m/s, 50℃-0.6 m/s 순으로 나타났으며, L 변화 값이 가장 큰 건조조건은 70℃-0.4 m/s이었다.

동일한 원적외선 건조온도 조건에서 송풍속도가 빠를수록 건조 후 L 변화 값이 작은 것은 송풍속도가 빠를수록 건조속도가 빨라짐으로 건조시간이 단축되어 시료가 고온에 노출되는 시간이 짧았기 때문이라고 판단되며, 동일한 송풍속도에서 온도가 높을수록 건조 후 L 변화 값이 큰 것은 배양근의 경우 건조온도가 높을수록 외부 갈변현상이 심하기 때문이라고 사료된다.

산삼배양근 건조조건이 L 값에 미치는 영향을 DUNCAN의 다중검정 방법으로 분석한 결과, 검정통계량 p-값이 0.0001로 유의수준 0.05보다 매우 작게 나타나 유의성이 인정되었다.

그림 3(b)와 그림 3(c)에서 알 수 있듯이 건조 전·후의 a, b 값의 차는 원적외선건조가 각각 5.58~6.84, 0.88~1.95 증가하는 것으로 나타났고, 열풍건조의 경우는 각각 5.78~6.18, 2.15~3.24 증가하였다.

건조방법이 a, b 값에 미치는 영향은 검정통계량 p-값이 각각 0.3581, 0.0001로 a 값 변화는 건조조건에 따라 유의성이 인정되지 않았고, b 값 변화의 검정통계량은 유의수준 0.05보다 작기 때문에 건조조건에 따른 b 값 변화는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

각 건조조건별 건조 전·후의 전체적인 색도 차이를 나타내는 $\triangle E$ 값을 그림 3(d)에 나타내었다.

그림에서 같이 건조온도 50℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서$\triangle E$ 값은 각각 8.99, 8.53, 7.05로 나타났고, 건조온도 60℃인 경우 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서 각각 10.89, 9.11, 7.54로 변화하였으며, 건조온도 70℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 각각 11.76, 9.17, 8.71 변화하는 것으로 나타났다.

열풍건조는 송풍속도 0.8 m/s, 건조온도 50℃, 60℃에서 각각 10.11, 12.99 변화하는 것으로 나타났고, 동일한 원적외선 건조조건에서의$\triangle E$ 값 보다 3.06~5.45 정도로 열풍건조가 원적외선건조보다 색도 변화가 큰 것으로 나타났다.

원적외선건조의 경우 건조 후 $\triangle E$ 값은 일정한 건조온도 조건에서 송풍속도가 빠를수록 작아지는 경향을 나타내었고, 동일한 송풍속도에서 온도가 높을수록 증가하는 것으로 나타났다. 건조조건 중 $\triangle E$ 값이 가장 작은 건조조건은 50℃-0.8 m/s이었고, 다음이 60℃-0.8 m/s, 50℃-0.6 m/s 순으로 나타났으며, $\triangle E$ 값이 가장 큰 건조조건은 70℃-0.4 m/s이었다. 따라서 건조온도가 낮은 조건이 색도변화가 작은 것으로 나타났다.

건조조건이 $\triangle$E 값에 미치는 영향의 유의성을 분석한 결과, p-값이 0.0001로 유의수준 0.05보다 작아 유의성이 인정되었다.

다. 에너지 소비량

그림 4는 산삼배양근의 원적외선 건조조건에 따른 에너지 소비량을 비교한 것이다.

그림 4에서 알 수 있듯이 원적외선건조시 에너지 소비량은 건조온도 50℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s인 경우 각각 4229, 4129, 3605 kJ/kg-water 이었고, 건조온도 60℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s에서는 각각 5664, 5237, 5146 kJ/kg-water로 나타났다. 건조온도 70℃, 송풍속도 0.4, 0.6, 0.8 m/s일 때 에너지 소비량은 각각 6886, 6137, 5356 kJ/kg-water로 나타났다.

산삼배양근 원적외선건조의 경우 일정한 건조온도에서 송풍속도가 빠를수록 에너지 소비량이 적은 것은 송풍속도가 빠를수록 건조속도가 빨라짐으로 건조시간이 단축되어 에너지 소비량이 적은 것으로 나타났다.

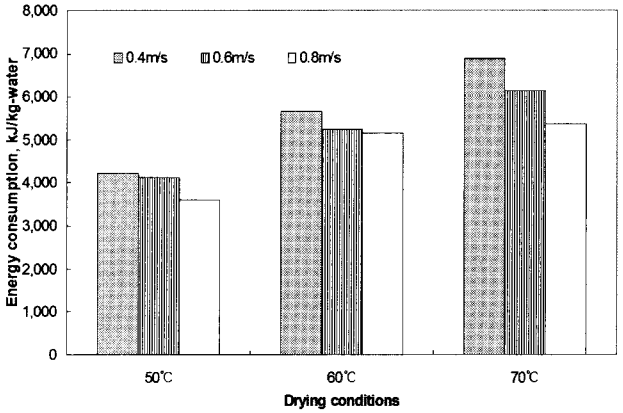


Fig. 4 Comparison of energy consumption for Tissue cultured mountain ginseng roots using far infrared rays drying.

라. 사포닌 함량

그림 5는 건조전 원료의 사포닌 함량을 기준으로 원적외선 및 열풍건조 후 시료의 사포닌 함량의 증감을 나타낸 것이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 사포닌 함량은 건조 후 모두 감소하는 경향을 보였고, 원적외선건조의 경우 건조조건에 따른 사포닌 성분 감소량은 0.11~3.11 mg/g(DW)정도 이었고, 건조조건 중 건조속도가 빠르고 건조시간이 짧은 70℃-0.8 m/s, 70℃-0.6 m/s, 60℃-0.6 m/s 등의 건조조건이 사포닌 잔류량이 많은 것으로 나타났다.

한편, 열풍건조의 경우 사포닌 성분의 감소량은 2.99~3.12 mg/g(DW)로 원적외선건조보다 감소량이 많은 것으로 나타났다.

이와 같이 원적외선건조가 열풍건조보다 건조 후 시료의 사포닌 잔류량이 많은 것은 원적외선건조가 공기를 열매체로 사용하는 열풍건조와는 달리 원적외선 복사에너지를 이용하여 건조시간 단축으로 인해 열에 노출시간이 짧아 사포닌 성분의 손상이 적었기 때문이라고 판단된다.

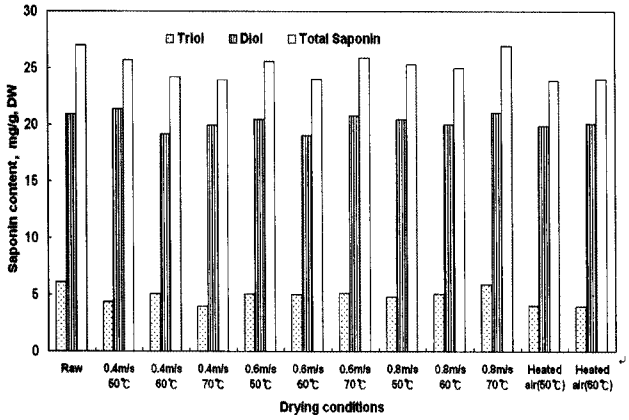


Fig. 5 Comparison of saponin content variation of tissue cultured mountain ginseng roots before and after drying.

마. 항산화력 분석

그림 6은 건조 전 산삼배양근의 항산화성분인 폴리페놀 화합물, 플라보노이드, 전자공여능 및 항산화력을 기준으로 원적외선과 열풍건조 후 증감을 나타낸 것이다.

그림 6에서 알 수 있듯이 원적외선건조의 경우 건조조건에 따른 항산화 성분 폴리페놀 화합물과 플라보노이드 감소량은 각각 129.72~311.15 mg, 69.1~128.51 mg 정도이었고, 전자공여능과 항산화력 감소량은 각각 14.41~37.42%, 552.4~907.41 mg/100g으로 나타났다. 건조조건 60℃-0.4, 60℃-0.6, 60℃-0.8 m/s일 때 건조 후 항산화 성분 잔류량이 많은 것으로 나타났고, 전자공여능 및 항산화력이 높은 것으로 나타났다.

열풍건조의 경우 건조 후 항산화 성분 폴리페놀 화합물과 플라보노이드 그리고 전자공여능 및 항산산화력 감소량은 각각 265.86~291.37 mg, 133.00~140.59, 36.73~48.27%, 822.49~900.85 mg/100g으로 원적외선건조보다 감소량이 많은 것으로 나타났다.

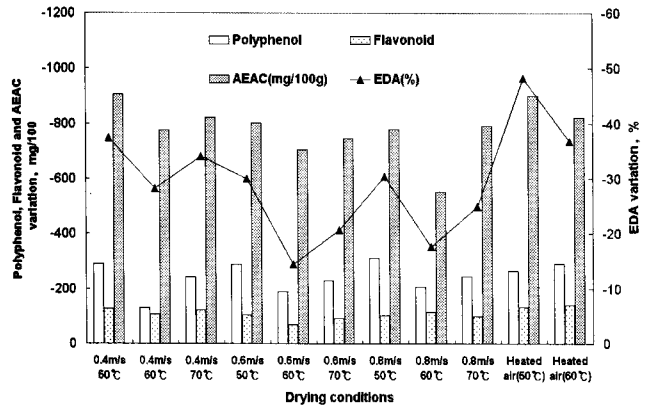


Fig. 6 Comparison of antioxidant activities variation of tissue cultured mountain ginseng roots before and after drying.

이와 같이 원적외선건조가 열풍건조보다 건조 후 시료의 항산화 성분 잔류량이 많고, 전자공여능 및 항산화력이 높은 것은 앞에서 서술한 바와 같이 원적외선건조가 건조시간 단축으로 인해 열에 노출시간이 짧아 항산화 성분의 손상이 적었기 때문이라고 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 산삼배양근의 고품질화 및 건조효율 향상을 위한 건조방법과 시스템 개발을 위해 원적외선가열 메커니즘을 도입하여 건조온도 및 송풍속도 변화에 따른 산삼배양근의 건조특성을 비교·분석하고, 산삼배양근의 정치식 원적외선 건조에 필요한 기초자료로 제공하고자 한다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 동일한 건조조건에서 건조속도는 원적외선건조가 열풍건조보다 1.38~3.23 %/min 빠른 것으로 나타났고, 원적외선건조의 경우 건조온도가 높고 송풍속도가 빠른 조건이 건조속도가 빠른 경향을 나타내었다.

(2) 건조 후 산삼배양근의 L 값은 모두 감소하는 것으로 나타났고, a와 b 값은 건조 후 증가하는 것으로 나타났다. 원적외선건조의 경우 ΔE 값은 건조온도가 높고 송풍속도가 느린 조건이 큰 것으로 나타났다. 또한 원적외선 건조가 열풍건조 보다 ΔE 값이 작아 색도 변화가 작은 것으로 나타났다.

(3) 산삼배양근 원적외선건조시 에너지 소비량은 3605~6886 kJ/kg-water로 건조온도가 높고 송풍속도가 느린 조건이 많은 것으로 나타났다.

(4) 산삼배양근의 사포닌 함량은 건조 후 모두 약간 감소하는 것으로 나타났고, 원적외선건조가 열풍건조보다 Triol계와 총 사포닌 잔류량이 많은 것으로 나타났다. 원적외선건조의 경우 건조속도가 빠르고 건조시간이 짧은 건조조건이 총 사포닌 잔류량이 많은 것으로 나타났다.

(5) 산삼배양근의 항산화 성분 및 항산화력은 모든 건조조건이 초기 시료에 비해 감소하였으며, 원적외선건조가 열풍건조보다 건조 후 항산화 성분 잔류량이 많고, 항산화력이 높은 것으로 나타났다. 원적외선건조의 경우 건조온도 60℃에서 건조 후 항산화력이 다른 건조조건보다 높은 것으로 나타났다.

(6) 산삼배양근의 건조속도, 색차, 에너지 소비량, 사포닌 함량 및 항산화력 등을 종합적으로 고려할 때 원적외선 건조조건 중에서 60℃-0.8m/s와 60℃-0.6m/s 조건이 적정한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Choi, B. M. 1992. Equilibrium Moisture Content and Drying Model of Korean Ginseng. Thesis. Chonbuk National University, Cheongju, Korea. (In Korean)
2. Dewanto, V., X. Z. Wen and R. H. Riu. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. Journal of Agricultural Food Chemistry 50: 4959-4964.
3. Han, C. S., S. C. Cho, T. K. Kang, C. B. Kim, M. H. Kim and H. C. Lee. 2003. Drying characteristics of oak mushroom using stationary far-Infrared dryer. Proceedings of the KSAM 2003 Winter Conference 8(1): 106-111. (In Korean)
4. Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. Agricultural Process Engineering. AVI Publishing Company Inc., Univ. California, Davis, Calif., USA.
5. Jia, Z., M. Tang and J. Wu. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chemistry 64: 555-559.
6. Keum, D. H., J. G. Ro, T. Y. Jung, S. R. Hong, K. M. Park, H. Kim and J. W. Han. 2003. Drying equation of sarcodon aspratus. Proceedings of the KSAM 2003 Winter Conference 8(1): 354-359. (In Korean)
7. Kim, C. F., H. Li, C. S. Han, J. S. Park, H. C. Lee and S. C. Cho. 2007. Drying characteristics of oak mushroom using stationary far-Infrared dryer. Journal of Biosystems Engineering 32(1): 6-12. (In Korean)
8. Kim, Y. S. 2002. Production of Ginsenosides through Bioreactor Cultures of Adventitious Roots in Ginseng. Thesis. Chungbuk National University, Cheongju, Korea. (In Korean)
9. Leong, L. P. and G. Shui. 2002. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore Markets. Food Chemistry 76: 69-75.
10. Li, H., C. S. Han, Y. H. Kim, J. M. Choi, T. H. Kang and S. C. Cho. 2005. Drying characteristics of fermented green tea using a far infrared heater. Food Engineering Progress 9(3): 171-176. (In Korean)
11. Oh, H. I., E. J. Chang, and S. K. Lee. 2000. Optimization of submerged ginseng root culture conditions for the production of saponin. Journal of Ginseng Research 24: 118-122.
12. Paek, K. Y., E. J. Hahn, and S. H. Son. 2001. Application of bioreactors for large-scale micropropagation systems of plants- In Vitro Cellular and Developmental Biology-. Plant 37: 149-157.
13. Robert, R., P. Nicoletta, P. Anna, P. Ananth, Y. Min and R. E. Catherine. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization Assay Free Radical Biology and Medicine 26: 1231-1237.
14. Yeon, G. S., M. H. Kim, C. S. Han, S. C. Cho, T. H. Kang, H. C. Lee, C. B. Kim and J. G. Kim. 2004. Drying characteristics of oak mushroom using conveyer far infrared dryer-down draft air flow type-. Journal of Biosystems Engineering 29: 37-44. (In Korean)