

잠재적 효소식품 원료로서 발아현미의 마이크로파 진공건조

김석신 · 김상용* · 이원종**

가톨릭대학교 식품영양학과, 동양제과(주) 기술개발연구소,

**강릉대학교 식품과학과

Microwave Vacuum Drying of Germinated Brown Rice as a Potential Raw Material for Enzyme Food

Suk Shin Kim, Sang Yong Kim* and Won Jong Lee**

Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea

*R&D Center, Tong Yang Confectionery Co.

**Department of Food Science, Kang Nung National University

Abstract

This work was to study the potential use of germinated and microwave-vacuum-dried brown rice as a raw material for enzyme food. Brown rice was soaked in water at 15°C for 2 days and then germinated at 25°C for 4 days. The germinated brown rice was then dried by different drying methods: microwave vacuum drying 1(drying only), microwave vacuum drying 2 (drying→crushing→drying), hot air drying, vacuum drying and freeze drying. Each drier except freeze drier was set to maintain the sample temperature to be 60°C. During microwave vacuum drying 1 and 2 the sample reached 60°C much faster (5 min) and was dried much faster (2 to 3 hrs for microwave vacuum drying 1 and 2 than the other drying methods. The initial drying rate of microwave vacuum drying was ten times faster than that of hot air drying. The microwave vacuum drying produced a dry sample of the highly retained enzymic activity, followed by freeze drying, vacuum drying and hot air drying.

Key words: brown rice, germination, microwave vacuum drying, enzyme activity, enzyme food

서 론

최근 건강증진, 질병 예방 및 치유, 나아가 평균수명의 연장 등에 기여하는 건강기능성 식품에 대한 관심이 깊어짐에 따라 이에 대한 수요도 증가하고 있다. 이에 따라 효소식품 등 기능성식품의 다양화 및 판매량 증가는 물론 보다 새롭고 보다 품질과 경제성이 높은 제품 개발을 위한 연구도 경쟁적으로 진행되고 있다⁽¹⁾.

효소식품^(2,3)은 곡물에 *Aspergillus*속의 곰팡이를 증식시킨 후 건조·과립화한 것을 주재료로 하고 이에 여러 가지 원료를 첨가한 식품으로서 각종 효소류 특히 α -amylase 함량이 높은 영양성분 보충식품이다. 이 α -amylase는 곡물의 발아시에도 다량 생성되기 때문에 발아곡물을 건조한 후 효소식품에 원료의 일부로

서 첨가할 경우 효소는 물론 곡물자체의 영양/특수성분도 활용할 수 있고 동시에 최종제품의 관능적 성질도 개선할 수 있는 유리한 점이 있다.

이런 용도로 활용가능한 여러가지 곡물중 현미는 영양성분 함량이 높은 데다가 쉽게 구할 수 있으며 발아도 가능하고 발아시 여러 가지 건강기능성 물질도 형성⁽⁴⁾되는 것으로 알려져 있으므로 건강보호효소식품의 잠재적 원료로서 가 능하다.

효소식품중 분말형이나 과립형은 일반적으로 동결건조나 열풍건조 또는 유동층 건조 등의 건조공정을 거치게 된다⁽¹⁾. 동결건조는 건조후의 복원성이나 향미 및 영양소 보존 면에서 가장 우수한 건조방법으로 간주되어 널리 활용되고 있다⁽⁵⁾. 그러나 건조시간이 길고 에너지 소모가 커 경제성이 떨어지는데다가 동결순상에 의한 품질손상도 있기 때문에 실제 이용에 제약이 따르게 된다. 이에 비해 열풍건조나 유동층 건조는 경비는 저렴하지만 건조제품의 품질이 열등한 점이 문

Corresponding author: Suk Shin Kim, Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea, Buchon, Kyonggi-do 422-743, Korea

제로 지적되고 있다.

효소식품 건조에 마이크로파를 적용할 경우 마이크로파 에너지에 의해 시료 내부에 유도되는 순간적 발열현상을 활용하므로 건조시간의 감축과 낮은 온도에서의 건조 및 품질보존효과 증대 등의 잇점이 예상된다^(6,9). 마이크로파 열풍건조⁽⁹⁾는 제조비는 저렴하지만 피건품의 품질이 가장 낮고, 마이크로파 동결건조^(8,10)는 동결부위의 직접 가열로 건조시간의 단축이 가능하나 경제성이 낮고 방전에 의해 식품이 탈 가능성이 있다. 마이크로파 진공건조는 동결건조보다 3~4배 정도 저렴한 방법^(8,11)으로서, 품질도 대단히 우수한 것으로 알려져 있는데 특히 이 방법으로 제조된 주스분말은 동결건조품보다 비타민이나 향기성분 보존효과가 더 높은 것으로 보고 되었다⁽⁸⁾. 마이크로파 진공건조는 오렌지주스 분말의 제조⁽⁸⁾, 버섯이나 아스파라거스의 건조, parboiled rice의 건조⁽¹²⁾, 의약품의 과립화⁽¹³⁾ 등에 활용된 것으로 보고되었으나 효소식품 제조에 이를 적용한 연구는 아직 시도된 바 없다.

본 연구에서는 발아현미를 제조하고 이를 마이크로파 진공건조로 건조한 후 그 건조특성과 효소활성 중심의 품질특성을 열풍건조, 진공건조, 그리고 동결건조의 경우와 비교해 보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 쌀은 1996년산 일품벼로서 농촌진흥청에서 제공받아 현미기로 왕겨를 제거한 후 사용하였다.

발아현미 제조

발아현미의 제조는 김과 이⁽¹⁴⁾의 방법에 따랐다. 현미를 15°C의 물에 담그어 15°C의 항온기(Cold Lab Chamber KMC 1302-L, Vision Scientific Co., Ltd., Korea) 내에서 2일간 또는 수분함량이 45% 이상이 될 때까지 침지시켰다. 침지시킨 후 25°C로 유지되는 항온기 내에서 어두운 상태로 4일간 발아시켰다.

수분함량 측정

수분함량은 AACC method 44-15A⁽¹⁵⁾를 기준으로 삼아 약간 수정하여 측정하였다. 즉, 발아시킨 시료는 생화학적 변화를 중단시키기 위하여 일단 동결건조시켜 수분함량을 구한 다음 105°C에서 3시간 건조하여 최종 수분함량을 구하였고, 발아후 건조한 시료는 105°C에서 3시간 재건조하여 수분함량을 측정하였다.

마이크로파 진공건조

건조실험시 본 연구팀에서 직접 제작한 마이크로파 진공건조기(Microwave vacuum drier, model MVD-1, The Catholic Univ. of Korea)를 사용하였다(Fig. 1 참조). 마이크로파 진공건조시 teflon dish 위에 일정량의 발아현미를 취하고 품온을 60°C로 유지하며 10 mmHg의 압력조건에서 2~3시간 건조하였다. 건조중 일정 시간 간격으로 시료의 중량과 온도를 측정·기록하였다. 마이크로파 진공건조 1은 발아현미를 3시간내내 건조한 것이고, 마이크로파 진공건조 2는 발아현미를 1시간 건조한 후 마쇄하고 다시 1시간 건조한 것이다. 마이크로파 진공건조 2의 경우 건조중 시료를 마쇄하여 시료의 표면적을 확대하고 수분확산 경로를 짧게 함으로써 마이크로파 진공건조 1보다 건조시간을 1시간 단축시킬 수 있었다. 건조한 시료는 알미늄적층 방습포장재(polyester 12 µm/aluminum foil 9 µm/nylon 15 µm/polypropylene 60 µm)에 기밀포장하여 보관하며 실험에 사용하였다.

열풍건조, 진공건조 및 동결건조

열풍건조나 진공건조시 발아현미 시료에 thermocouple probe를 꽂고 이를 on-off controller에 연결하여 품온을 60°C로 유지하며 4시간동안 건조하였다. 열풍건조시 열풍건조기(Yamato Constant Temperature Oven, model DN-61, Japan)를, 진공건조시 진공건조기(Fisher Isotemp Vacuum Oven, model 281, USA)를 사용하였다. 동결건조시 시료를 -20°C의 냉동고에서 24시간 동결시킨 후 동결건조기(Labconco Freeze drier 5, Labconco Corp., Kansas City, MO, USA)를 사용하여 압력 100 µmHg, 응축기 온도 -50°C에서 10시간 이상 건조하였다.

Fig. 1. Schematic presentation of microwave vacuum drier.

다. 열풍건조중 일정시간 간격으로 시료의 중량과 온도를 측정·기록하였고 진공건조의 경우는 진공해제작업의 시간소요로 인해 중량측정은 하지 않고 온도만 측정·기록하였으며 동결건조는 중량이나 온도 측정을 하지 않았다. 건조한 시료는 알미늄적층 방습포장재 (polyester 12 µm/aluminum foil 9 µm/nylon 15 µm/polypropylene 60 µm)에 기밀포장하여 보관하며 실험에 사용하였다.

건조특성 비교

건조중 얻은 시간 대 중량변화 데이터를 이용하여 건조방법별로 시료의 건조특성을 비교하였다. 이 때 시간 대 품온 변화, 시간 대 수분함량 변화, 시간 대 건조속도 변화, 수분함량 대 건조속도 변화로 구분하여 도시함으로써 각각의 건조특성과 건조효율을 용이하게 비교·판단하였다.

α-Amylase 활성 측정

각 방법으로 건조시킨 발아유색미의 α-amylase 활성은 AOAC Official Method 955.22⁽¹⁰⁾을 약간 변형하여 측정하였다. 분쇄한 시료 5 g에 0.5% NaCl 용액 100 mL를 가해 30°C에서 1시간 추출한 후 여과하고 여액 10 mL를 0.5% NaCl 용액으로 100 mL로 희석한 다음 희석액 10 mL와 limit dextrin 용액 20 mL를 혼합한 후 20°C의 수조에 넣고 시간별로 1 mL씩 취해 묽은 요오드 용액 5 mL씩 들어 있는 비색관에 가해 α-amylase color disk와 색을 비교하여 호화소요시간을 구한 후 다음 식에 의해 α-amylase 활성을 계산하였다.

$$\alpha\text{-amylase unit}=24/(\text{엿기름 양(g)} \times \text{호화시간(분)})$$

Diastatic activity 측정

Diastatic activity 측정은 α-amylase와 β-amylase의 공동작용으로 생성되는 환원당의 양으로부터 효소의 당화력을 판단하기 위한 것으로서 AACC method 22-16⁽¹³⁾을 적용하여 구하였다. 분쇄한 시료 25 g에 500 mL의 증류수를 가해 20°C에서 2.5시간 추출한 후 여과하고 여액 2 mL를 100 mL 전분액에 가한 다음 30분 경과후 0.5 N NaOH 용액 10 mL를 가하고 그중 5 mL를 취하여 0.05 N ferricyanide 용액 10 mL와 섞은 다음 100°C 수조에서 20분 가열하고 초산용액 25 mL와 수용성전분-KI용액 1 mL를 섞은 후 0.05 N thiosulfate 용액으로 청색이 사라질 때까지 적정하였다.

별도로 발아현미 추출액을 가하지 않은 전분액을 사용하여 공시험을 행하여 다음과 같이 diastatic activity를 계산하여 °L로 나타내었다.

$$\text{diastatic activity (°L)} = (\text{공시험 적정 mL수} - \text{시료 적정 mL수}) \times 18$$

Protease activity 측정

시료의 protease 활성은 AACC method 22-62⁽¹³⁾를 약간 변형하여 측정하였다. 분쇄한 시료 20 g에 acetate buffer (pH 4.7) 100 mL를 가해 40°C에서 1시간 추출한 후 여과하고 여액 2 mL와 hemoglobin 용액 10 mL를 섞어 40°C에서 30분 가열한 후 TCA용액 10 mL를 가하고 1시간 방치한 후 여과하였다. 별도로 hemoglobin 용액 10 mL에 TCA용액 10 mL를 먼저 가한 후 효소추출액 2 mL를 넣은 enzyme blank를 만들었으며 효소추출액 2 mL 대신 0.1 M acetate buffer 2 mL를 가한 substrate blank도 제조하였다. 파장 275 nm에서 substrate blank의 흡광도를 '0'으로 맞춘 후 시료의 흡광도 값에서 enzyme blank의 흡광도를 뺀 후 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{protease 활성(HUT/g)} = (\text{시료 흡광도} - \text{enzyme blank 흡광도}) \times 218$$

결과 및 고찰

건조과정중 시료의 온도 변화

발아현미의 마이크로파 진공건조 1 및 2, 열풍건조 및 진공건조 중 품온의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 마이크로파 진공건조 1 및 2의 경우 건조 시작 5분 경과후 60°C 근방에 도달한 다음 건조시간 내내 60±2°C를 유지하였다. 열풍건조의 경우는 건조시작 60분이 지난 후에야 60°C에 도달하였으며 그 후 건조시간 내내 60±1°C를 유지하였다. 열풍건조 초기에 온도가 상승하지 못한 이유는 초기의 증발속도가 시료내부로의 열전달속도보다 빨랐기 때문이라 생각되었다. 그러나 진공건조의 경우는 건조시작후 2시간이 경과해서야 60°C에 도달하였으며 그 후 건조시간 내내 60±1°C를 유지하였는데 이처럼 진공건조중 품온 상승이 느린 이유는 열관을 경유한 시료내부로의 열전달이 느리기 때문인 것으로 보였다. 이 결과를 종합해 볼 때 마이크로파 진공건조는 짧은 시간내에 원하는 품온까지 올린 후 그 온도유지도 쉽게 할 수 있기 때문에 유리한 건조방법이라 할 수 있다.

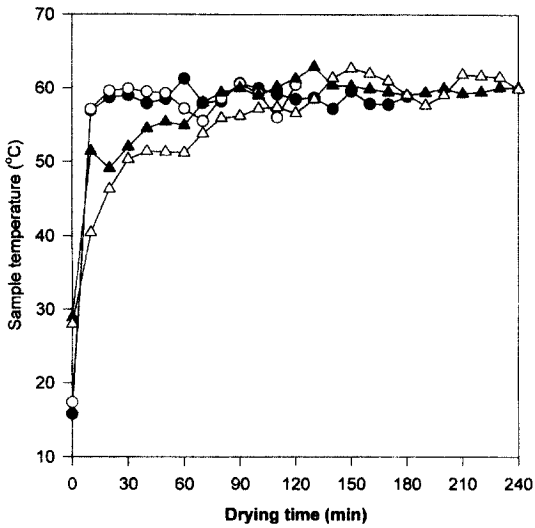


Fig. 2. Changes in temperature of germinated brown rice during microwave vacuum drying 1 and 2, hot air drying and vacuum drying.

건조과정중 시료의 수분함량 변화

발아현미의 마이크로파 진공건조 1 및 2, 그리고 열풍건조중 수분함량의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 마이크로파 진공건조 1의 경우 건조 시작 1시간만에 수분함량 0.14 kg water/kg solid까지 감소한 후 총건조시간 3시간만에 수분함량 0.08 kg water/kg solid까지 감소하였다. 마이크로파 진

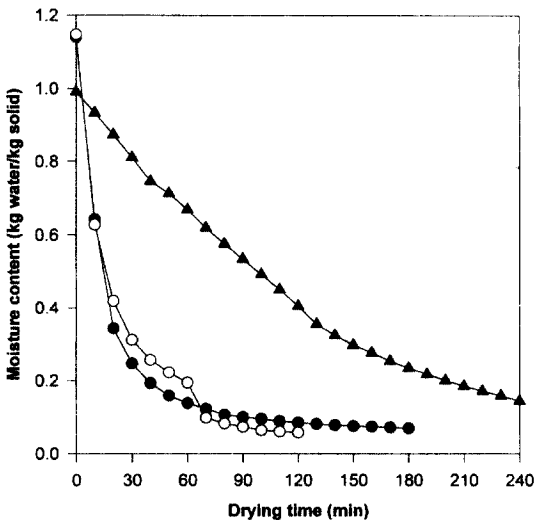


Fig. 3. Changes in moisture content of germinated brown rice during microwave vacuum drying 1, 2 and hot air drying.

공건조 2의 경우 1시간 건조하고 시료를 마쇄한 다음 다시 1시간 건조함으로써 시료의 수분함량도나 증발 속도를 증가시켰다. 이 경우 총건조시간 2시간만에 시료의 수분함량이 0.06 kg water/kg solid까지 감소하였다. 이에 비해 열풍건조의 경우 건조개시후 4시간만에 수분함량 0.14 kg water/kg solid까지 감소하였으며 최소한 2시간은 더 건조시켜야 마이크로파 진공건조 시료만큼 건조될 것으로 추정되었다. 일반적으로 건조 후반부에 과열로 인해 품질변화가 더 심해지므로 건조시간 연장시 품질이 더 나빠질 것으로 예상되었다.

건조과정중 시료의 건조속도 변화

건조중 현미의 건조속도의 변화를 건조시간에 대해서는 Fig. 4에, 수분함량에 대해서는 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 열풍건조의 경우는 건조개시 30분까지 항률건조를 보이다가 그 이후 감률건조가 시작되었다. 이에 비해 마이크로파 진공건조 1 및 2의 경우는 처음부터 건조속도가 계속 감소하는 감률건조를 보였는데 건조 전반부의 건조속도는 0.05 kg water/kg solid/min으로서 열풍건조의 경우인 0.0058 kg water/kg solid/min보다 거의 10배 빠른 것으로 나타났다. 또한 Fig. 5를 보면 열풍건조시 임계수분함량은 0.76 kg water/kg solid부근이고 수분함량 0.1 kg water/kg solid 이하에서는 열풍건조와 마이크로파 진공건조의 건조속도가 거의 같아지는 것을 알 수 있었다.

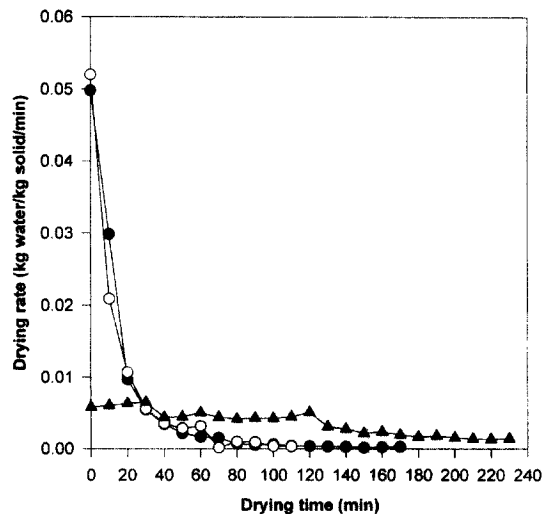


Fig. 4. Changes in drying rate of germinated brown rice during microwave vacuum drying 1, 2 and hot air drying. ●—●: Microwave vacuum drying 1 at 60°C, ○—○: Microwave vacuum drying 2 at 60°C, ▲—▲: Hot air drying at 60°C.

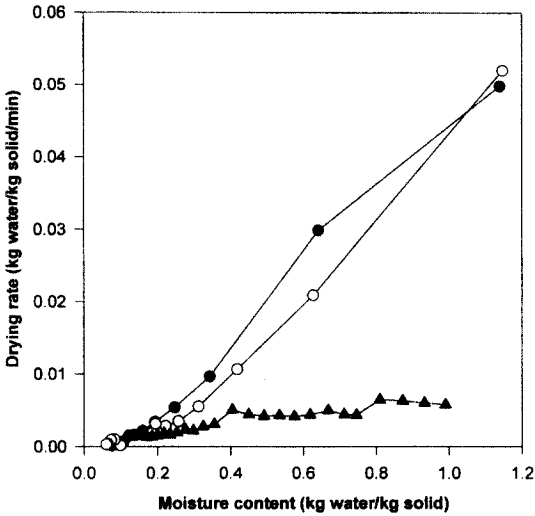


Fig. 5. Changes in drying rate of germinated brown rice with respect to its moisture content during microwave vacuum drying 1, 2 and hot air drying. ●—●: Microwave vacuum drying 1 at 60°C, ○—○: Microwave vacuum drying 2 at 60°C, ▲—▲: Hot air drying at 60°C.

건조시료의 α-amylase 활성 비교

각 건조시료의 α-amylase 활성을 Fig. 6에 비교하여 나타내었다. 마이크로파 진공건조 1보다 2의 건조시료에 α-amylase가 더 많이 잔존하는 것은 마이크로파 진공건조 1의 건조시간이 더 짧았기 때문이라 판단되었다. 또 마이크로파 진공건조한 시료는 둘다 동결건조

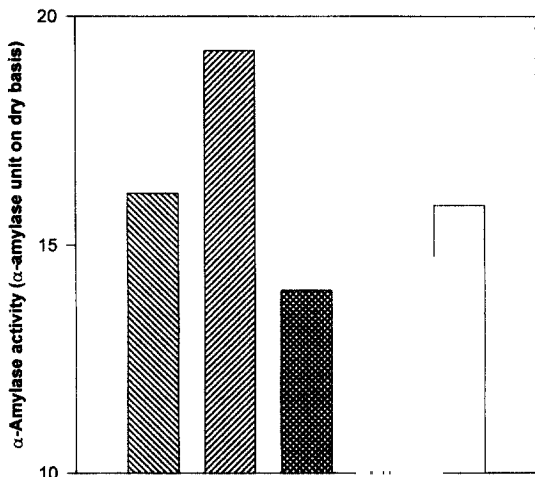


Fig. 6. Comparison of α-amylase activity of germinated brown rice after drying by microwave vacuum drying 1 and 2, hot air drying, vacuum drying and freeze drying. ▨: Microwave vacuum drying 1 at 60°C, ▩: Microwave vacuum drying 2 at 60°C, ▤: Hot air drying at 60°C, ▥: Vacuum drying at 60°C, □: Freeze drying

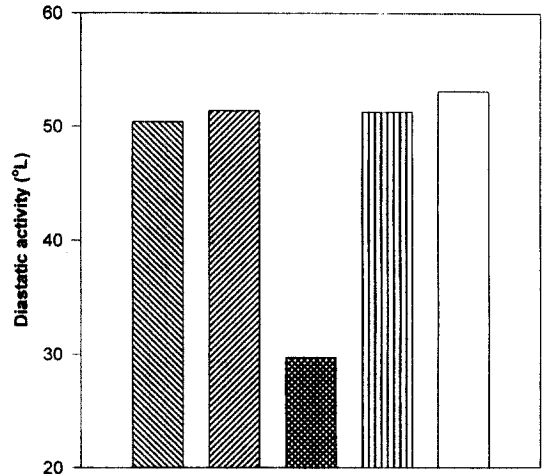


Fig. 7. Comparison of diastatic activity of germinated brown rice after drying by microwave vacuum drying 1 and 2, hot air drying, vacuum drying and freeze drying. ▨: Microwave vacuum drying 1 at 60°C, ▩: Microwave vacuum drying 2 at 60°C, ▤: Hot air drying at 60°C, ▥: Vacuum drying at 60°C, □: Freeze drying

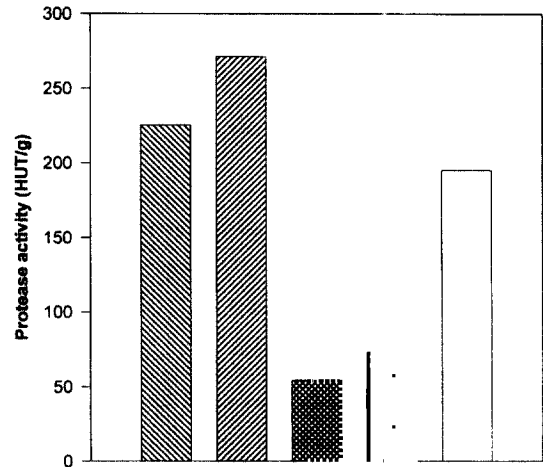


Fig. 8. Comparison of protease activity of germinated brown rice after drying by microwave vacuum drying 1 and 2, hot air drying, vacuum drying and freeze drying. ▨: Microwave vacuum drying 1 at 60°C, ▩: Microwave vacuum drying 2 at 60°C, ▤: Hot air drying at 60°C, ▥: Vacuum drying at 60°C, □: Freeze drying

시료보다 α-amylase 활성이 더 높았다. 이러한 뜻밖의 결과는 동결건조시 동결에 의한 손상과 장시간 건조에 따른 효소활성에 기인된 것으로 추측하였다. 그러나 동결건조 시료는 진공건조 시료보다, 진공건조 시료는 열풍건조 시료보다 효소활성이 더 높았다. 이로부터 효소식품 건조시 온도가 낮거나 건조시간이 짧아야 품질의 변화를 최소화할 수 있을 것으로 생각되었다.

이 결과로부터 마이크로파 진공건조가 α -amylase를 함유하는 식품의 건조에 적합한 방법임을 입증할 수 있었다.

건조시료의 diastatic activity 비교

각 건조시료의 diastatic activity를 Fig. 7에 도시하였다. 건조방법에 따른 diastatic activity의 변화의 경우 동결건조와 진공건조 및 마이크로파 진공건조가 거의 대등한 품질보존효과를 보여 주었다. 이로부터 마이크로파 진공건조를 이용하여 건조할 경우 최소한 동결건조와 대등한 품질의 건조제품을 제조할 수 있으리라 예상되었다.

건조시료의 protease 활성 비교

각 건조시료의 protease 활성을 Fig. 8에서 비교하였다. 건조방법에 따른 protease 활성의 변화는 동결건조 시료와 마이크로파 진공건조 시료의 활성이 거의 비슷한 점만 빼면 앞의 α -amylase의 경우와 유사하였다. 따라서 마이크로파 진공건조를 사용하여 발아현미를 건조하면 최소한 동결건조제품과 같은 수준의 품질을 지닌 건조제품을 제조할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

요 약

품질이 우수한 효소식품으로의 활용가능성 검토를 위해 현미를 발아시킨 후 마이크로파 진공건조로 건조하고 그 건조특성과 품질특성을 열풍건조, 진공건조, 그리고 동결건조의 경우와 비교해 보았다. 마이크로파 진공건조 1 및 2의 경우 열전달속도가 빨라 건조 개시후 5분 경과후 60°C에 도달하였고 건조시간 내내 60±2°C를 유지하였으나 열풍건조의 경우는 건조개시 60분 경과 후, 진공건조의 경우는 2시간 경과 후에야 60°C에 도달하였다. 마이크로파 진공건조 1의 경우 건조 3시간 후 수분함량 0.08 kg water/kg solid까지 감소하였으나, 마이크로파 진공건조 2의 경우 총건조시간 2시간만에 수분함량 0.06 kg water/kg solid까지 감소하였다. 열풍건조의 경우 건조시간 4시간만에 수분함량 0.14 kg water/kg solid까지 감소하였으나 최소한 2시간은 더 건조시켜야 할 것으로 예상되었다. 마이크로파 진공건조 1 및 2의 초기 건조속도는 0.05 kg water/kg solid/min이었으며 처음부터 건조속도가 계속 감소하는 감률건조를 보였다. 열풍건조의 경우는 초기 건조속도가 0.0057 kg water/kg solid/min으로서 마이크로파 진공건조 1 및 2의 1/10 수준이었으며 건조 개시 30분까지 항률건조를 보이다가 임계수분함량

0.81 kg water/kg solid 부근부터 감률건조가 시작되었다. 건조시료의 α -amylase 활성 및 protease 활성은 마이크로파 진공건조, 동결건조, 진공건조 및 열풍건조의 순서를 보였고, diastatic activity의 경우 동결건조와 마이크로파 진공건조가 거의 대등한 품질보존효과를 보여 주었다. 이로부터 마이크로파 진공건조를 이용하여 건조할 경우 최소한 동결건조와 대등한 품질의 건조제품을 제조할 수 있으리라 예상되었다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 한국음식문화연구원 연구용역 과제로 수행된 연구결과의 일부이며 연구비지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Park, M.Y.: *Health Supplement Foods*. Life & Wisdom, Seoul (1995)
2. Ministry of Health and Welfare, Korea: *Food Manual*. Seoul (1995)
3. Chun, H.S., Kim, I.H., and Kim, H.J.: Effect of brown rice extract on mitomycin C-induced chromosome aberration in cultured CHL cells (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **27**, 1003-1007 (1995)
4. Lee, Y.C.: Freeze drying of foods. *Food Science*, **14**(4), 34-40 (1981)
5. Mudgite, R.E.: Microwave properties and heating characteristics of foods. *Food Technol.*, **40**(6), 84-89 (1986)
6. IFT: Microwave food processing. *Food Technol.* **43**(1), 117 (1989)
7. Giese, J.: Advances in microwave food processing. *Food Technol.*, **46**(9), 118-122 (1992)
8. Decareau, R.V.: *Microwaves in the Food Processing Industry*. Academic Press, New York, N.Y., USA (1985)
9. Shiffmann, R.F.: Microwave and dielectric drying. In *Handbook of Industrial Drying*, Mujumdar, A.S.(ed.), Marcel Dekker, Inc., p. 327-356, New York, N.Y., USA (1987)
10. Copson, D.A.: *Microwave Heating in Freeze Drying, Electronic Ovens, and Other Applications*. AVI Publishing Co., Inc., West Port, Connecticut, USA (1962)
11. Meisel, N.: Microwave vacuum drying by Gigavecc-process for continuous manufacture of instantly soluble fruit powders. *Microwave Energy Appl. Newsletter*, **12**(6), 3-9 (1979)
12. Velupillai, L., Verma, L.P. and Wadsworth, J.I.: Quality aspects of microwave vacuum dried parboiled rice. *Trans. ASAE*, **32**(5), 1759-1762 (1989)
13. Mullin, J.: Microwave processing. In *New Method of Food Preservation*, Gould, G.W.(ed.), Blackie Academic and Professional, London, UK (1995)
14. Kim, S.S. and Lee, W.J.: Characteristics of germinated rice as a potential raw material for sikhe production (in

- Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **29**, 101-106 (1997)
15. American Association of Cereal Chemists, Inc.: *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist.* 8th ed., St. Paul, Minnesota, USA (1983)
16. AOAC International: *Official Methods of Analysis of AOAC Intenational.* 16th ed., Aelington, Virginia, USA (1995)
-
- (1998년 3월 27일 접수)