

플라스틱 적층 필름 포장재를 이용한 현미의 저장중 물리화학적 변화

한재경 · 김 관 · 강길진 · 김성곤* · 이상규**

전남대학교 식품공학과, *단국대학교 식품영양학과, **국방과학연구소

Physicochemical Properties of Brown Rice During Storage in Laminated Film Pouches

Jae-Gyoung Han, Kwan Kim, Kil-Jin Kang, Sung-Kon Kim* and Sang-Kyu Lee**

Department of Food Science and Technology, Chonnam National University

*Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

**Agency for Defense Development

Abstract

Changes in physicochemical properties of brown rice (Chu-chung byeo, Japonica type) kept at 4°C, 20°C, 30°C and 40°C in laminated film (4 layer) pouches were analyzed. Hardness of brown rice grain increased during storage periods. In case of color changes, "L" value increased during storage below 30°C, and decreased after three months at 40°C. The "a" value did not change below 30°C, but increased at 40°C. The "b" value increased under all storage conditions. Percent germination was above 97% below 20°C regardless of storage period and was inhibited by heat above 30°C. The rice did not germinate after one month storage at 40°C. Gelatinization enthalpy and gelatinization peak temperature by DSC of brown rice powder decreased during storage. As a result, storage below 20°C in laminated film pouch is recommended for brown rice.

Key word: brown rice, storage, laminated film pouch, germination, DSC

서 론

쌀(*Oryza sativa* L.)은 우리 나라를 비롯한 아시아, 아프리카와 라틴아메리카 지역의 주식으로 이용되고 있는 것으로 특히 아시아 지역에서는 하루 섭취 열량의 절반 이상을 쌀로부터 섭취하고 있는 것으로 알려진 중요한 곡류이다. 쌀알의 구조¹⁾를 보면 곡립의 무게 비로 16-28%를 차지하고 있는 껍질은 잎이 변형된 것으로서 규산질 성분으로 구성되어 완숙 이후 곰팡이나 곤충 등의 침입을 막는 역할을 하고, 껍질과 배유의 중간에 두께가 10 μm 정도되는 중피와 호분층이 씨눈을 둘러싸고 있다. 현미는 최외각 층인 껍질만이 벗겨진 것으로서 현미 그 상태로 혹은 도정 과정을 거쳐 백미로 가공하여 이용되기도 한다.

미곡 저장의 목적은 어떠한 저장 조건이나 시설, 방법 등을 이용하여 수확 직후의 곡물의 생물학적 및 이화학적 상태를 저장 기간동안 최대한 유지함으로써

본질적으로 소비자의 기호를 충족시키고, 수요와 공급을 조절하는데 있다고 할 수 있다. 이러한 저장은 기상 조건, 저장 시설, 포장 용기, 가공형태(벼, 현미, parboiled미와 백미), 건조 및 기타 여러 요인의 지배를 받는다. 지금까지 미국의 저장성, 저장 중의 성분 변화, 방사선 조사에 의한 미곡의 저장법, 방사선 조사의 안전성, 저장 중의 해충 및 미생물 등에 대한 다각적인 보고가 있었다²⁾.

미곡은 전통적으로 벼의 형태로 저장 후 백미로 도정하여 이용하고 있으며, 저장에 사용되는 포장 재료는 벗짚을 이용한 가마니를 비롯하여 일반 화학 섬유로 짠 포대류를 사용하여 왔다. 그러나 이들 포장 재료는 저장 중 저장시설 내부의 습도 변화에 영향을 받아 수분의 흡/탈착이 반복되는 관계로 인하여 일정한 저장 중의 변화 특성을 연구하기에는 매우 부적합하다. 한편 최근에는 현미도 취반 등의 가공에 널리 이용되고 있으나 현미의 저장성에 대한 연구는 극히 제한되어 있다.

따라서 본 연구에서는 현미를 대상으로 투습, 투기성이 없는 플라스틱 필름 적층 4겹 포장재를 이용하

Corresponding author: Jae-Gyoung Han, Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

여 저장 온도에 따른 경도, 색도, 발아율, 호화 온도 등의 물리화학적 변화를 분석하여 현미의 저장성을 예측하고자 하였다.

실험 재료 및 방법

재료

충청남도 금산군 금양리에서 1990년산 일반계 벼(추청벼)를 수확 직후 구입하여 cyclone형 Torses현미기(Tokyo Testing Machine Co., Japan)로 왕겨를 제거하여 현미를 얻었고, 청미, 싸래기 및 표면의 이물질들을 제거한 다음, 20°C의 송풍 항온기 내에서 3일간 수분 평형시킨 후 -25°C에 보관하면서 시료로 사용하였다. 시료의 일반 성분은 수분 12.29%, 단백질 8.36%, 지방질 2.94%, 회분 1.64%이었다.

저장조건

시료 약 200 g씩을 Table 1과 같은 물성치를 지닌 플라스틱 적층 4겹 기밀포장 용기(16 cm × 15 cm)에 넣고 입구를 열봉함기로 밀봉한 후 4°C, 20°C, 30°C 및 40°C에서 6개월간 저장하면서 1개월 간격으로 꺼내어 실험에 사용하였다.

곡립 경도의 측정

시료 곡립의 경도(hardness)는 Instron Model 1193을 사용하여 곡립 1개를 파괴시키는데 소요되는 힘(Newton : N)으로 나타내었다. 기기의 조건은 cross head speed는 분당 1 mm, load scale은 500 N이었다. 측정은 최소한 20회 이상 반복하였다.

색도의 측정

시료 곡립의 색도는 색차계(Color difference meter, Micromatch 500 Instrumental Color System, Mi-

cromatch Co. Ltd., U. S. A.)를 이용하여 L 값(명도), a 값(적색도) 및 b 값(황색도)으로 나타내었다.

발아율의 측정

시료 현미의 발아율은 Lopez 등⁽⁴⁾의 방법에 따라 0.1% sodium hypochlorite 용액에 2시간 침지시켜 곡립의 표면을 살균시킨 뒤 Houston 등⁽⁵⁾의 방법을 변형하여 실시하였다. 즉 표면을 살균한 현미 100립을 Whatman No.1 여과지를 깔고 살균 증류수 30 ml/를 넣은 직경 12 cm petri dish 에 넣고 때때로 살균 증류수를 보충해 주면서 25°C의 항온기에서 10일간 발아시켜 뿌리가 적어도 2 mm 이상 나온 것을 계수하여 발아율을 계산하였다.

호화 특성의 측정

현미가루(100 mesh) 11 mg과 증류수 10 μ l를 알루미늄제 DSC용기에 취하고 밀봉후 실온에서 3시간 방치하여 평형시킨 다음 Differential Scanning Calorimetry (DSC, Mettler TA3000 System)를 사용하여 10°C/min의 가열속도로 25°C로부터 100°C까지 가열하여 흡열 peak를 얻었다. 이 흡열 peak로부터 Mettler Graph Ware TA72AT.I 프로그램을 이용하여 호화 개시온도(T_o : onset temperature), 호화 정점온도(T_p : peak temperature), 호화 종료온도(T_c : conclusion temperature) 및 호화 엔탈피(ΔH , gelatinization enthalpy)를 구하였다.

결과 및 고찰

곡립의 경도

현미의 저장 기간별 경도의 변화는 Fig. 1과 같다. 저장 전 현미의 경도는 76.0 N이었는데 저장 6개월 이후 4°C 저장구에서는 77.2 N, 20°C 저장구에서는 78.7 N, 30°C 저장구에서는 84.6 N에 달하여 초기에 비하면 8.6 N이 증가하여 11.3% 정도 변화하였다. 각 저장구에서 저장 기간의 경과와 함께 경도는 증가하는 현상을 보여주고 있는데 4°C와 20°C 저장구에서의 증가 정도는 아주 완만하였고, 40°C 저장구에서는 곡립의 균열 현상에 의해 일정하지 않은 변화 양상을 나타내었다. 본 연구에서 시료는 외부로부터의 수분의 이동이 불가능한 포장 재질⁽⁶⁾로 포장되었기 때문에 포장 내부 전체의 수분 함량에는 변화가 없으나 저장 직후부터 열에 의해 곡립 내부로부터 포장 내부공간으로 수분 이동이 일어나는 것으로 판단된다. 따라서 40°C 저장구에서의 경도 변화는 고온에 의한 입자 내부의 미

Table 1. Physical properties of packaging material⁽⁶⁾

Physical properties
Construction : PET 12 μ m/Al-foil 7 μ m/o-Nylon 15 μ m/L-Mix 100 μ m
Tensile strength (kg/15 mm) : cross direction, 11.3 : mechanical direction, 11.6
Elongation (%) : cross direction, 105.0 : mechanical direction, 88.4
Pin hole resistance (kg) : 2.15
Heat seal strength (kg/15 mm) : 7.96
O ₂ transmission rate (ml/m ² · 24 hr · atm) : 0.0
CO ₂ transmission rate (ml/m ² · 24 hr · atm) : 0.0
Water vapor transmission rate (ml/m ² · 24 hr) : 0.0

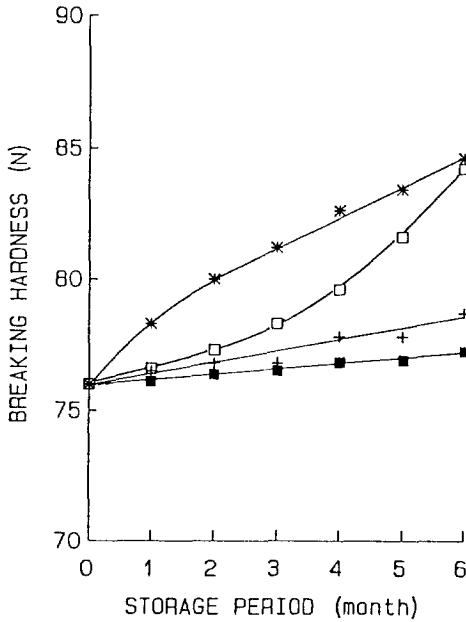


Fig. 1. Changes in breaking hardness of brown rice during storage ■—■: 4°C, +—+: 20°C, *—*: 30°C, □—□: 40°C

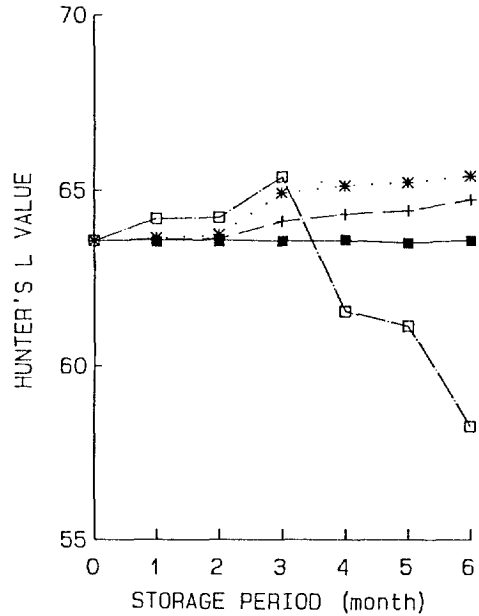


Fig. 2. Changes in "L" value of brown rice during storage ■—■: 4°C, +—+: 20°C, *—*: 30°C, □—□: 40°C

제한 균열에 의한 것으로 판단된다.

조와 김¹⁰⁾은 현미와 백미를 4°C와 25°C에서 5개월간 저장하며 경도 변화를 보고하였는데 초기값이 6.63 kg (64.97 N)으로서 본 연구에서 사용된 시료보다는 15% 정도 낮은 값을 보였고, 4°C 저장구의 경우 저장 5개월 이후에는 6.74 kg (66.05 N)로 증가하여 초기값보다는 1.7% 정도 증가하였고, 25°C 저장구의 경우에는 저장 5개월 이후 6.85 kg (67.13 N)으로서 3.3% 정도 증가하였다고 하였다.

쌀의 경도 변화는 수확 후 가공 적성의 향상, 해충의 침입, 유통 과정에서의 손실을 감소 및 저장성을 확보하기 위한 안정한 수분 함량까지의 건조 과정에서 나타나는 중요한 변화 중의 하나¹⁰⁾로, Barlow 등^{9,10)}은 곡립 중의 수용성 단백질과 전분 입자간의 matrix를 구성하게 된 결과라고 하였으며, Kondo 등¹¹⁾도 저장 기간의 경과와 함께 crushing 및 breaking hardness가 증가한다고 하였다. Nagato 등¹²⁾은 곡립의 수분 함량의 증감에 따라서 경도 변화가 직선적으로 비례한다고 하였다. Yamazaki 등¹³⁾은 밀의 경도는 단백질 함량과는 상관 관계를 나타내지 않았으나 수분 함량은 경도 변화와 깊은 상관 관계를 나타낸다고 하였다.

색도 변화

저장중 현미의 저장구별 경시적 색도 변화는 Fig. 2,

3 및 4와 같다. Fig. 2에 나타난 것과 같이 L 값(명도)은 저장 전의 초기 값이 63.57이었는데 저장 6개월 이후에 4°C 저장구에서는 63.69로 거의 변화가 없었으며, 20°C 저장구에서는 64.74, 30°C 저장구에서는 65.24로 증가되었다. 40°C 저장구의 경우는 저장 3개월에 65.39까지 증가하였으나 그 이후 감소하여 저장 6개월에는 58.27까지 감소되었다. Fig. 3은 a 값(적색도)의 변화를 나타낸 것으로 초기 값이 5.26이었는데 저장 6개월에 4°C 저장구에서는 5.29, 20°C 저장구에서는 5.37, 30°C 저장구에서는 5.54로서 30°C 이하의 저장구에서는 저장 6개월 동안에 거의 변색을 나타내지 않았다. 40°C 저장구에서는 저장 3개월에 6.04로, 저장 6개월에 9.54까지 증가하였다. 따라서 30°C 이하의 저장구에서는 저장 6개월까지 적색도는 큰 변화를 나타내지 않은 것으로 판단하였다.

Fig. 4는 b 값(황색도)의 변화를 나타낸 것으로 초기 값이 24.59었는데 저장 6개월에 20°C 이하의 저장구에서는 25.19로 약간 증가하였으나 뚜렷한 증가 현상은 아니었다. 30°C 저장구에서는 저장 1개월에 25.14에 이르렀으나 그 이후부터는 완만히 증가하는 경향을 나타내었다. 40°C 저장구에서는 저장 1개월부터 급격히 증가하여 저장 6개월에 29.13까지 증가하였다.

이상의 결과를 종합해 보면, 저장 6개월 동안 현미의 L, a와 b값의 변화는 30°C이하의 경우 거의 변화를

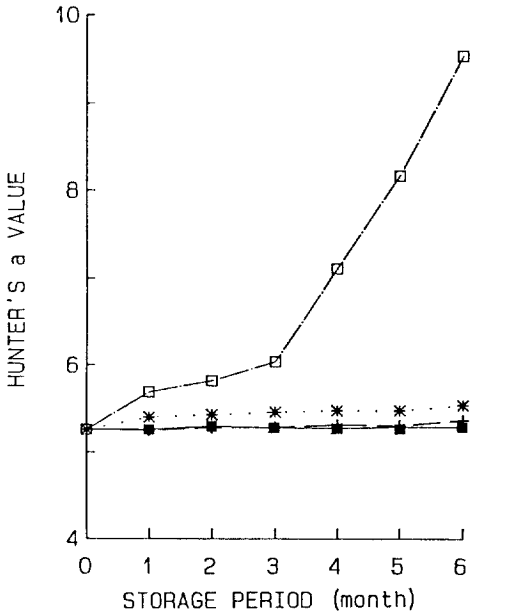


Fig. 3. Changes in "a" value of brown rice during storage ■—■: 4°C, +—+: 20°C, *—*: 30°C, □—□: 40°C

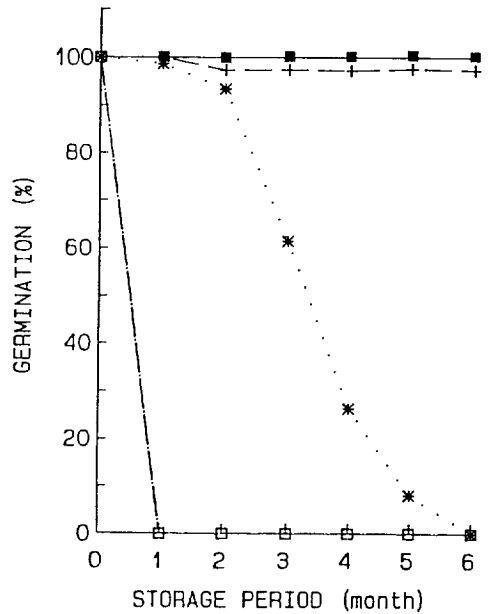


Fig. 5. Changes in percent germination of brown rice kernel during storage at various temperatures ■—■: 4°C, +—+: 20°C, *—*: 30°C, □—□: 40°C

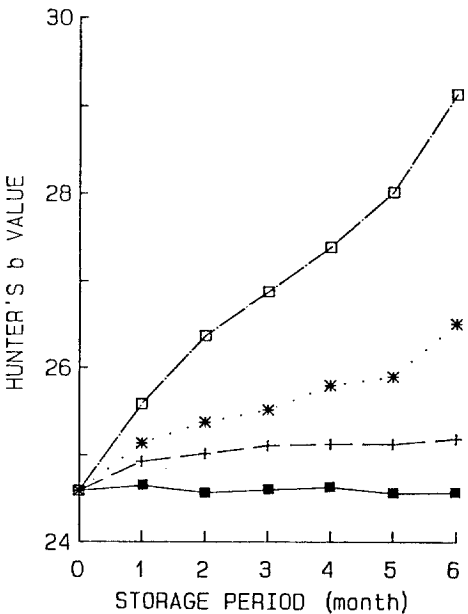


Fig. 4. Changes in "b" value of brown rice during storage ■—■: 4°C, +—+: 20°C, *—*: 30°C, □—□: 40°C

나타내지 않았으나, 40°C의 경우 L 값은 저장 3개월 이후 급격히 감소하였으며 a, b 값은 저장초기부터 급격한 증가 현상을 보였다. 한편, 육안 검정 결과, 40°C

저장구에서 곡립은 붉은색을 띄었고 씨눈은 까맣게 변해갔는데 이로부터 열에 의한 변성이 일어나고 있음을 간접적으로 알 수 있었다. 조와 김¹²⁾은 현미를 4°C와 25°C에서 5개월간 저장하면서 색도의 변화를 조사하였는데, 저장 초기 L, a, b 값이 각각 51.4, 5.8, 15.8에서 4°C 저장 5개월 후 52.5, 5.4, 16.3으로, 25°C 저장 5개월 후 55.0, 6.5, 16.7로 변하였다고 하였다.

Pelshenke 등¹⁴⁾은 백미를 공기, 질소, 산소 및 이산화탄소 조건에서 1년간 저장하면서 색도의 변화를 조사하였는데 20°C 이하의 온도에서는 별 다른 변화 없었지만, 35°C에서는 모두 황색으로 변하였다고 하였으며 저장 환경의 기체 조성 및 색도의 변화는 무시할 만한 것이었다고 하였다.

발아율

저장 현미의 발아율을 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. 4°C에 저장한 시료의 발아율은 6개월 저장기간동안 변화를 받지 않았으며, 20°C에서도 저장기간에 상관 없이 97% 이상을 나타내었다. 30°C의 저장구에서는 저장 2개월 이후부터는 발아율이 급격히 저하되어 저장 3개월에 93.55%, 저장 4개월에 61.4%, 저장 5개월에 26.3%, 저장 6개월에 8.1%로 저하되었다. 40°C 저장구에서는 1개월에 발아율이 0%로 떨어졌고 씨눈 부위는 까맣게 변하여 씨눈이 사멸되었음을 육안으로

판별할 수 있었다.

Kreyger⁽¹⁵⁾는 밀, 귀리·옥수수 및 호밀의 건조에 따른 발아율의 영향을 조사하였는데 모든 곡립의 발아율은 낮은 수분 함량에서 열에 민감하게 저하된다고 하였고, Burrell⁽¹⁶⁾은 발아율이 저장 환경의 가스 조성, 물리적인 손상, 곡립 내부 요인등에 의해서도 영향을 받지만 주로 온도와 수분함량에 의해서 영향을 받게 된다고 하였다.

저장 중에 곡립의 발아율 저하 현상에 대하여는 여러 가지 이론^(17,18)이 있는데 기본적으로 곡립의 대사 저하에 의한 것과 미생물에 의한 곡립의 동화에 의한 것으로 나눌 수 있다. Copeland⁽¹⁹⁾은 곡립의 발아율에 영향을 주는 인자로서 첫째, 상대 습도와 온도 등의 외부적인 것과 둘째, 곡립의 물리적 조건, 생리적 상태 등의 내부적인 것의 2가지로 분류하였고 발아율이 저하될 때 생리적으로 나타나는 징후로는 decarboxylase 등의 효소 활성의 저하, 호흡 감소, 유리 지방산의 증가 등이 있다고 하였다. Robert⁽²⁰⁾는 발아율의 저하에 대한 3가지 내적인 요인으로 phenolics, Indolacetics, abscissic acid 및 발효 산물 등의 대사독(代謝毒)의 축적, 핵산과 핵단백질막의 변성 및 호흡으로 탄수화물, 지방질 및 단백질 손실 또는 비타민이나 호르몬의 손실로 인한 필수 대사 물질의 고갈을 들었는데 이들이 씨눈의 발육을 저해시킨다고 보고하였다. 발아 과정은 곡립이 수분을 흡수함에 따라서 배유 내에 들어있는 protease⁽²¹⁾, α -amylase⁽²²⁾가 활성화되면서 시작되는데, Robert⁽²³⁾는 온도, 수분 함량과 산소 분

압이 주로 영향을 미친다고 하였다.

따라서 본 연구의 결과 나타난 발아율의 저하는 외적인 요인 중 저장 온도에 의한 영향을 가장 심하게 받은 것으로 보인다.

호화특성

30°C에서 저장한 현미를 가루로 분쇄하여 일정량의 수분 함량이 되도록 한 후 이것의 DSC thermogram 변화 양상을 나타낸 것은 Fig. 6과 같고, 저장 온도 및 기간별 특성값의 변화는 Table 2와 같다. 저장 전 현미의 호화 개시 온도는 60°C, 호화 정점 온도는 70.7°C, 호화 종료 온도는 83.9°C로 호화 온도 범위는 23.9°C였으며, 호화 엔탈피는 6.4 (J/g)이었다.

4°C 저장구의 경우 저장 6개월간의 호화 엔탈피 변화 범위는 6.4에서 6.1 (J/g)로 나타났고, 저장 기간의

Table 2. Changes in DSC thermogram characteristics of brown rice flour during storage at various temperatures

Storage temperature (°C)	Storage time (months)	Temperature (°C) ¹⁾				ΔH (J/g)
		To	Tp	Tc	ΔT	
0	0	60.0	70.7	83.9	23.9	6.4
	1	60.4	70.6	83.3	22.9	6.4
	2	60.4	70.2	83.0	22.6	6.3
	3	60.7	70.6	83.3	22.6	6.5
	4	59.4	70.6	83.9	24.5	6.2
	5	59.8	70.6	83.2	23.4	6.2
4	6	59.1	70.9	82.6	23.5	6.1
	1	59.2	70.0	83.3	24.1	6.7
	2	58.9	70.7	83.8	24.9	6.4
	3	58.7	70.7	84.1	25.4	6.1
	4	58.9	70.7	84.4	25.5	6.0
	5	60.1	70.7	84.6	24.5	6.1
20	6	60.6	70.4	84.7	24.1	6.3
	1	58.5	70.6	83.5	25.0	6.2
	2	55.2	70.2	84.6	29.4	6.1
	3	55.2	70.7	83.1	27.9	6.2
	4	55.2	70.7	83.5	28.3	6.2
	5	56.1	70.7	84.6	28.5	6.3
30	6	54.3	70.0	84.1	29.8	6.5
	1	57.6	70.4	83.1	25.5	6.5
	2	57.8	69.4	83.9	26.1	6.5
	3	57.8	70.2	85.0	27.2	6.5
	4	60.0	72.8	84.4	24.4	6.4
	5	57.8	70.6	85.9	28.1	6.6
40	6	58.1	69.8	84.6	26.5	6.4

¹⁾To, onset temperature; Tp, peak temperature; Tc, conclusion temperature

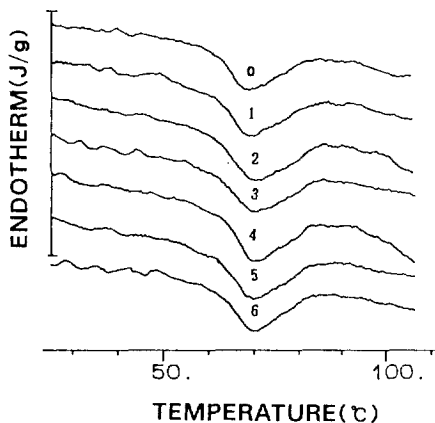


Fig. 6. Changes in DSC thermograms of brown rice flour during storage at 30°C Numbers are the storage period (month) (brown rice flour/water=1.1; heating rate, 10°C/min; initial temperature, 25°C; final temperature, 105°C)

경과에 따라 호화 개시 온도가 낮아지고 있었다. 이러한 특성치의 변화는 20°C 저장구의 경우를 비롯한 전 저장구에서 나타나는 공통적인 현상이었다.

본 연구에서 DSC에 의한 저장 중 현미가루의 호화 특성치에서 호화 엔탈피, 호화 피크 온도는 대체적으로 뚜렷한 차이가 보이지 않았다. 초기 호화 온도는 저장 온도에 상관없이 약간 감소하였지만 큰 변화는 보이지 않았다. 호화 온도범위(ΔT)는 저장 온도 30°C까지는 저장 온도가 높을수록, 저장 기간이 경과될수록 증가하는 현상을 보였으나, 저장온도 40°C에서는 30°C보다도 오히려 낮아지는 현상을 보였다. 한편, 조와 김⁽⁷⁾은 4°C와 25°C에서의 현미와 백미 가루에 대한 호화 현상은 저장 온도와 기간에 관계없이 일정한 호화 특성값(DSC에 의한 특성값)을 보인다고 하였다.

요 약

현미를 투습 투기성이 없는 플라스틱 필름 적층 4겹 포장재에 넣고 저장 온도를 달리하면서 물리화학적 변화를 관찰 하였다. 곡립의 경도는 20°C 이하에서는 거의 변화가 없었으며 30°C에서는 저장기간이 길수록 증가하였다. 그러나 40°C에서의 경우는 30°C와는 다른 양상으로 증가하였다. 곡립의 색도는 L, a, b값 모두 30°C에서는 큰 변화를 보이지 않았지만 40°C에서는 a와 b값은 급격히 증가하였으며, L값은 오히려 저장 3개월 이후부터 급격한 감소 현상을 보였다. 발아율은 20°C에서는 변화가 없었으나 30°C에서는 저장 2개월 이후부터 급격히 감소하였으며 40°C에서는 저장 1개월에 전혀 발아되지 않았다. 현미 가루의 DSC 특성치는 큰 변화를 보이지 않았지만 호화 온도 범위는 저장 온도 30°C까지는 저장 온도가 높을수록 저장 기간이 길수록 증가하는 현상을 보였다. 이러한 결과로 볼 때, 저장중 현미의 품질을 유지하기 위해서는 플라스틱 필름 적층 4겹 포장재를 이용하여 20°C 이하의 온도에서 저장하는 것도 하나의 방법임을 알 수 있었다.

문 헌

1. Juliano, B.O.: Production and utilization of rice. In *Rice Chemistry and Technology*, 2nd ed., Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, p.1 (1985)
2. Juliano, J. R. and Aldama, M. J.: Morphology of *Oryza sativa* Linnaeus. *Philipp. Agric.*, **26**, 1 (1937)
3. 한국 식품 연구 문헌 총람 편찬위원회 : 한국 식품 연구 문헌 총람(2) 1969-1976, p.22 (1977)
4. Lopez, O.P., Trejo, A.C., Herrera, S.P. and Castaneda, J. G.: Influence of germination on physicochemical pro-

- erties of amaranth flour and starch microscopic structure. *Starch*, **40**, 290 (1980)
5. Houston, D.F., Straka, R.P., Hunter, I.R., Robert, R.L. and Kester, E. B.: Changes in rough rice of different moisture content during storage at controlled temperatures. *Cereal Chem.*, **34**, 444 (1957)
6. 이상규, 한병근, 김석신, 김광중, 한재경 : 국방과학연구소 기술보고서(CBRD-206-87294), (1987)
7. 조은자, 김성근 : 쌀의 저장중 이화학적 성질변화. *한국 농화학회지*, **3**, 24 (1990)
8. Pomeranz, Y. and Webb, B.D.: Rice hardness and functional properties. *Cereal Foods World*, **30**, 784 (1985)
9. Barlow, K.K., Buttrose, S.M., Simmonds, D.H. and Veski, M.: The nature of the starch protein interface in wheat endosperm. *Cereal Chem.*, **50**, 443 (1973)
10. Barlow, K.K., Simmonds, D.H. and Kenrick, K.G.: The localization of water-soluble proteins in the wheat endosperm as revealed by fluorescent antibody techniques. *Experientia*, **29**, 229 (1973)
11. Kondo, M. and Okamura, T.: Storage of rice. XVII. Comparative study of unhulled rice and hulled rice in regard to the changes of its qualities during long storage in straw bags. *Ber. Ohara. Inst. Agric. Biol. Okayama Uni.*, **7**, 483 (1937)
12. Nagato, K., Ebata, M. and Ishikawa, M.: On the formation of cracks in rice kernels during wetting and drying of paddies. *Nippon Sakumotsu Gakkai Kiji*, **33**, 82 (1964)
13. Yamazaki, W. T and Donelson, J.R.: Kernel hardness of some U.S. wheats. *Cereal Chem.*, **60**, 344 (1983)
14. Pelshenke, P. F. and Hampel, G.: Studies of the effect of extreme storage conditions on white rice. *Milling*, **149**, 192 (1967)
15. Kreyger, J.: Drying and storing grains, seed and pulses in temperate climates. *Ins. Stor. Proc. Agr. Prod. Wageningen, The Netherlands* (1972)
16. Burrell, N.J.: *Refrigeration in Storage of Cereal Grains and Their Products*. Christensen, C.M. (Ed.), American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul MN. p.407 (1982)
17. Anderson, J.D.: Physiological and biochemical differences in deteriorating barley seed. *Corp Sci.*, **10**, 36 (1970)
18. Roberts, E.H.: The viability of cereal seed in relation to temperature and moisture. *Ann. Bot. N. S.*, **24**, 12 (1960)
19. Copeland, L.O.: *Principles of Seed Science and Technology*. Burgess Publ. Co., Minneapolis, MN (1976)
20. Robert, E.H.: *Viability of Seed*. Chapman & Hall, London (1972)
21. Ingle, J. and Hageman, R.H.: Metabolic changes associated with the germination of corn. III. Effects of gibberellic acid on endosperm metabolism. *Plant Physiol.* **40**, 672(1965)
22. Harvey, M.R. and Oaks, A.: The hydrolysis of endosperm protein in Zeamays. *Plant Physiol.* **63**, 453 (1974)
23. Roberts, E. H.: Predicting the storage life of seeds. *Seed Sci. Technol.*, **1**, 499 (1973)