

겉보리 및 쌀보리의 수화속도

이종숙 · 김성곤

단국대학교 문리과대학 식품영양학과
(1983년 1월 4일 수리)

Absorption of Water by Husked and Naked Barley

Jong-Sook Lee and Sung-Kon Kim

Department of Food and Nutrition, Dankook University, Seoul 140
(Received January 4, 1983)

Abstract

The hydration of water, at 20°, 30° and 40°C for 10–360 minutes, by the two varieties of husked barley and of naked barley which were polished to 40 and 30%, respectively, was investigated. The absorption was directly proportional to the square root of the hydration time and accounted for by the diffusion equation: $1-M = (2/\sqrt{\pi})(S/V)\sqrt{Dt}$, where $1-M$ is the relative moisture gain and S/V is the surface-to-volume ratio. The average diffusion coefficient (D) was given by the Arrhenius relation: $D = D_0 \exp(-E_a/RT)$, where the activation energy for both husked and naked barley was about 7.2 Kcal/mole. The average value of D for naked barley was slightly higher than that for husked barley.

서 론

곡식을 주식으로 하고 있는 우리나라의 관점에서 볼 때, 보리는 쌀 다음 가는 중요한 위치를 차지하고 있다. 최근 정부에서는 식량 자급도의 향상 및 보리의 소비 향상을 위하여, 보리의 혼식을 적극 장려하고 있는 실정이다. 그러나 보리의 식품화학적 연구는 쌀에 비하여 미비한 편이며, 대부분이 1970년에 이루어 졌을 뿐이다. 지금까지 보리에 관한 연구로는 단백질⁽¹⁻⁴⁾, 무기질⁽⁵⁻⁶⁾, 아미노산^(3,6,7), 비타민^(3,6), 전분^(8,9) 등에 관한 연구 이외에 보리의 취반 특성⁽¹⁰⁾과 품질에 관한 연구⁽¹¹⁾가 단편적으로 보고되어 있을뿐이다. 최근 목들⁽¹²⁾은 쌀보리(세도하다가)의 도정도별 수화속도를 분석보고하였다.

최근 새로운 보리 품종이 개발 보급되고 있으나 이들 품종에 대한 기초 연구는 거의 없는 실정이다. 보리의 이용성을 높이기 위하여는 이에 대한 기초 연구가

우선적으로 앞서야 한다. 본 연구에서는 널리 재배되고 있는 겉보리(올리보와 강보리) 및 쌀보리(세도하다가와백동)를 대상으로 품종별 특성을 이해하는 기초 연구로서 수화속도를 비교하였다.

재료 및 방법

실험 재료

실험재료는 1981년도 생산된 겉보리(올리보와 강보리) 및 쌀보리(세도하다가와 백동)를 사용하였다.

겉보리와 쌀보리는 Stake test mill을 사용하여 각각 도정수율이 무게비로 60 및 70%가 되도록 도정하여 시료로 사용하였다.

수화속도의 측정

보리(1g)를 50ml 비이커에 넣고, 20°C, 30°C, 40°C 및 50°C로 조절한 물에 10~360분간 침지시킨 다음, 일정 시간별로 꺼내어 여과지위에 굴리어 표면수를 제거한 다음 수분 증가량을 측정하였다.

각 온도별 수분 증가량으로부터 시료 1g 당 (건물중)수분함량을 계산하였다.

유효수분함량의 측정

보리를 여러 농도의 황산 용액⁽¹³⁾을 건조제로 사용한 데시케이터속에 방치하여 평형 수분함량에 도달하게 한 다음 105℃ 건조법⁽¹⁴⁾으로 수분함량을 측정하였다.

초기 수분함량별의 보리 1g 을 30℃에서 15분간 침지하여 수분증가량을 위와 같이 측정하고, 이로 부터 보리 입자 표면의 유효 수분함량을 계산하였다⁽¹⁵⁾.

수화속도의 분석 및 계산 방법

가. 이론

임의의 형태의 고체에서있어서 nonstationary-state 확산 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다^(15, 16)

$$\bar{M} - 1 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} X + BX^2 \dots\dots\dots (1)$$

여기에서

$$\bar{M} \approx \frac{m_s - \bar{m}}{m_s - m_o}$$

$$X = \sqrt{\frac{S}{V}} \sqrt{Dt}$$

만일 X의 값이 작아지게 되면 식(1)에서 BX²은 무시될 수 있으므로 식(1)은 다음과 같이 표시된다.

$$1 - \bar{M} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} X \dots\dots\dots (2)$$

이를 실험의 변수로 표시하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{m} - m_o = k_o \sqrt{t} \dots\dots\dots (3)$$

여기에서

$$k_o = \sqrt{\frac{2}{\pi}} (m_s - m_o) \left(\frac{S}{V}\right) \sqrt{D} \dots\dots\dots (4)$$

또는

$$k_o \left(\frac{V}{S}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} (m_s - m_o) \sqrt{D} \dots\dots\dots (5)$$

보리를 물에 침지한 경우 확산에 의하여 보리가 수화된다고 하면, X의 값이 작은 경우에는 식(3)에 의하여 보리의 수분증가는 흡수 시간의 제곱근에 비례하게 된다.

나. 보리의 표면적 및 부피

보리 입자를 타원체로 가정하고, 그의 장반경을 a, 단반경을 b라 하면 표면적 및 부피는 각각 식(6) 및 식(7)로 표시된다⁽¹⁷⁾

$$S = 2\pi b^2 + 2\pi(ab/e) \sin^{-1}e \dots\dots\dots (6)$$

여기에서

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$V = (4/3) \pi ab^2 \dots\dots\dots (7)$$

다. 수화의 활성화 에너지

보리의 수화는 침지온도에도 영향을 받게 되므로 확산계수(D)와 침지온도(T)와의 관계는 Arrhenius관계식으로 나타낼 수 있다.

$$D = D_o \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \dots\dots\dots (8)$$

결과 및 고찰

여러 온도별로 침지 시간에 따른 보리의 수분 흡수는 강보리는 올보리보다, 백동은 세도하다가 보다 높은 수분 흡수를 보였다. 보리는 침지 시간 6시간 후에도 평형 수분 함량에 도달하지 않았다. 보리의 수분 흡수 정도는 품종의 특성에 의하여 좌우되며, 침지 시간 24시간 후 까지 계속 증가되는 경우도 보고 되어있다⁽¹¹⁾.

보리를 물에 침지한 경우 확산에 의하여 보리가 수화된다고 하면, 식(3)에 의하여 보리의 수분증가는 침지 시간의 제곱근에 비례하게 된다. 수분증가와 침지 시간의 관계를 나타낸 Fig.1, 2는 이러한 관계가 성립함을 보여 주고있다. 그러나 침지온도 20℃ 및 30℃에서는 120분, 40℃에서는 침지시간 90분후부터는 직선적인 관계를 벗어나는 현상을 보였다. 또한 침지시간 0일때의 수분증가는 이론적인 값 0과 일치하지 않았다. (Fig.1, 2). 따라서 침지시간 10~90분 사이의 자료로부터 직접 기울기(k_o)를 구하였다.

만일 수분증가가 침지 시간의 제곱근과 일정한 확산계수를 갖는 직선적인 관계가 있다면, Fig.1,2의 경우 침지시간 0일때 초기 수분증가가 0이 되지 않음은(즉 0이 아닌 점에서 절편을 보인다는것은) 어떤 현상에 의하여 초기수분흡수가 빨리 일어난다는 사실을 의미한다. 이러한 현상은 쌀⁽¹⁸⁾ 및 밀에서도 일어나는데 밀의 외부층인 파피(pericarp)는 porous한 조직특성에 의하여 capillary imbibition에 의하여 쉽게 포화되므로 초기흡수가 빨리 일어나는 것으로 보고 되어있다⁽¹⁸⁾. 그러나 보리의 경우 초기 수분 흡수가 빠른 이유가 capillary imbibition에 의한 것인지 또는 다른

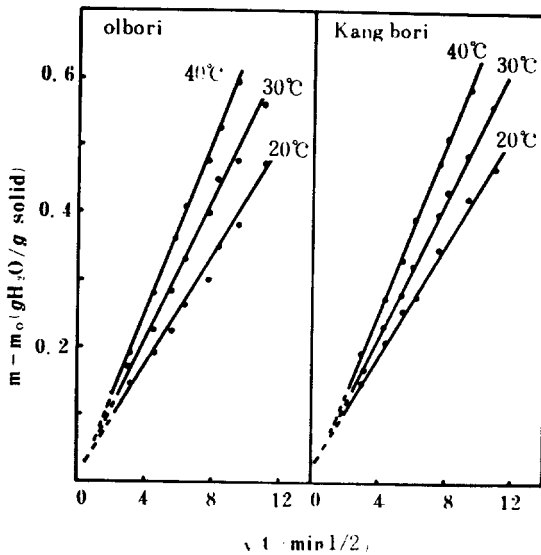


Fig 1. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for husked barley.

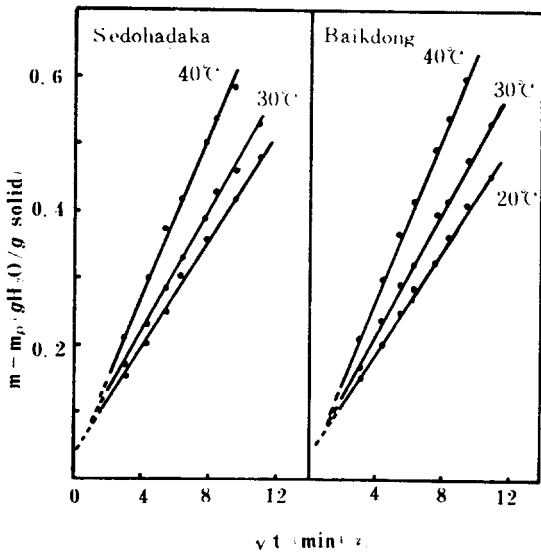


Fig 2. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for naked barley.

원인에 의한것인지는 알려져 있지 않다.

만일 확산계수가 본 실험에서 사용한 시료의 수분함량에 영향을 받지 않는다고 하면, 식(3) 및 식(5)에 의하여 $k_0(V/S)$ 는 초기 수분함량과 직선적인 관계를 보이게 되며, 또한 $k_0(V/S) = 0$ 인점에서 $m_0 = m_s$ 의 관계를 나타내게 된다. 따라서 초기수분함량을 변화시키면서 $k_0(V/S)$ 와 m_0 의 관계로부터 m_s 값을 구할 수

있다.

또한 m_s 값은 초기 수분함량을 변화시키면서 일정 온도에서 일정시간 침지후 수분증가(즉, $\bar{m} - m_0$)와의 관계로부터 구할 수 있다. 밀의 경우 $k_0(V/S)$ 와 m_0 또는 $\bar{m} - m_0$ 와 m_0 와의 관계로부터 구한 m_s 값은 동일한 결과를 보였다¹⁵. 따라서 본 실험에서는 $\bar{m} - m_0$ 와 m_0 와의 관계로부터 m_s 를 구하였으며, 그 결과는 표 1과 같다. 겉보리(올보리와 강보리)의 m_s 값은 0.750 g/g, 쌀보리(세도하다가와 백동)의 m_s 값은 0.745 g/g으로서 비슷한 값을 보였다. 보리의 m_s 값은 쌀의 m_s 값 0.247~0.330 g/g^{11,18} 보다 높았으며, 밀의 m_s 0.750 g/g¹⁵과 같은 값이었다. 목들¹²도 도정도가 다른 쌀보리의 경우 m_s 값은 0.61~0.89 g/g으로서 밀의 그것과 비슷하다고 보고하였다.

여러 침지 온도에서의 보리 품종별 확산계수(D)는 용적 및 부피, k_0 (Table 2) 그리고 m_s (Table 1) 값을 사용하여 식(5)로부터 구하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 보리 품종별 수분의 흡수에서 예측한대로, 확산계수의 값은 강보리가 올보리보다, 백동이 세도하다가 보다 다소 높았다. 그러나 쌀보리의 확산계수는 겉보리보다 다소 높은 경향을 보였다(Table 2).

목들¹²은 도정수율 70%인 세도하다가의 경우 확산계수는 20°C에서 1.1591×10^{-5} , 40°C에서 2.3298×10^{-5} cm²/min라고 보고하였는데 이는 Table 2의 결과와 비슷한 값이었다. 그러나 도정수율이 50%인 경우에는 오히려 확산계수값을 갖는다고 보고하였다.

확산계수와 침지의 절대온도의 역수와의 관계는 Fig. 3과 같다. 그림의 기울기로부터 구한 활성화 에너지는 올보리와 강보리는 각각 7.2 및 7.1 Kcal/mole, 세도하다가와 백동은 각각 7.3 및 7.1 Kcal/mole이었다. 목들¹²은 도정수율 70%인 세도하다가의 활성화에너지는 9.5 Kcal/mole, 도정수율 50 및 90%의 경우는 8 Kcal/mole라고 보고하였다.

Table 1. Effective surface moisture content (m_s) and volume-to-surface ratio of polished barley

Variety	m_0	m_s	V/S (cm)
<i>Husked barley</i>			
Olbori	0.101	0.750	0.05459
Kangbori	0.107	0.750	0.05526
<i>Naked barley</i>			
Sedohadaks	0.108	0.745	0.05769
Baikdong	0.104	0.745	0.05676

Table 2. The calculated values of the soaking rate parameters of polished barley

Variety	Soaking temp. (°C)	k_0 (cm/min)	D (cm ² /min)
<i>Husked barley</i>			
Olbori	20	0.0384	0.8343×10^{-5}
	30	0.0479	1.2982×10^{-5}
	40	0.0571	1.8447×10^{-5}
Kangbori	20	0.0400	0.9053×10^{-5}
	30	0.0501	1.4201×10^{-5}
	40	0.0590	1.9695×10^{-5}
<i>Naked barley</i>			
Sedohadaka	20	0.0120	1.1358×10^{-5}
	30	0.0492	1.5586×10^{-5}
	40	0.0630	2.4833×10^{-5}
Baikdong	20	0.0450	1.2464×10^{-5}
	30	0.0510	1.6009×10^{-5}
	40	0.0650	2.6004×10^{-5}

확산상수(D₀)는 앞에서 계산한 D값(ig.2)과 활성화에너지 값을 식(8)에 대입하여 구하였다. 이로부터 구한 보리 품종 별의 D값의 온도 의존성을 Table3과 같다.

기호 설명

- a : 보리의 장반경 (cm)
- b : 보리의 단반경 (cm)
- B : 무차원 상수
- D : 확산계수 (cm²/min)
- D₀ : 확산상수 (cm²/min)
- E : 활성화에너지 (cal/mol)
- k₀ : 식(3)의 기울기
- m₀ : 보리의 초기 수분 함량 (g H₂O/g dry matter)
- m : 일정한 침지시간후의 수분 함량 (g H₂O/g dry matter)
- m_s : 침지시간 t 분 이상에서와 보리표면부의 수분 수분함량 (g H₂O/g dry matter)
- R : 기체상수 (cal/mole °K)
- S : 보리입자의 표면적 (cm²)
- T : 절대온도 (°K)
- t : 침지시간 (min)
- V : 보리입자의 부피 (cm³)

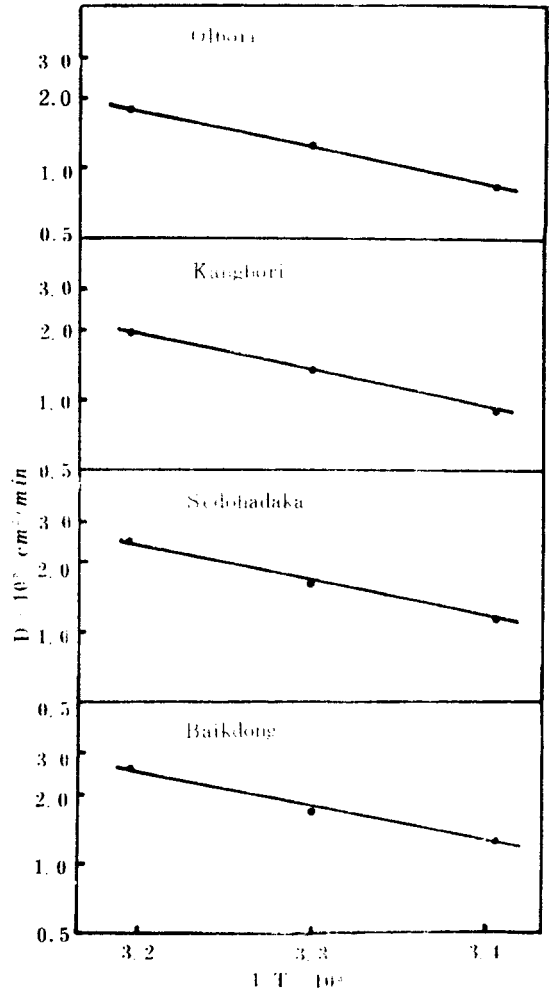


Fig 3. Diffusion coefficient as a funtion of reciprocal absolute temperature.

Table 3. Temperature dependence of diffusion coefficient of polished barley

Variety	D = D ₀ exp - Ea/RT
<i>Husked barley</i>	
Olbori	D = 2.0602 exp - 7200/RT
Kangbori	D = 1.9878 exp - 7100/RT
<i>Naked barley</i>	
Sedohadaka	D = 3.2115 exp - 7300/RT
Baikdong	D = 2.1116 exp - 7100/RT

요 약

겉보리(올보리와 강보리) 및 쌀보리(세도하다카와 백

동)를 각각 40 및 30%도정한 다음, 20, 30 및 40°C에서 6시간 침지하면서 수화속도를 검토하였다. 수화속도는 수화시간의 평방근에 비례하였고, 확산계수 (D , cm^2/min)는 $D = D_0 \exp(-E_a/RT)$ 로 표시되었다. 확산계수 값은 강보리가 돌보리보다 다소 높았으며, 세도 하다가와 백동은 비슷하였다. 쌀보리의 확산계수는 겉보리보다 다소 높았다.

문 헌

1. 이동석, 박훈 : 한국식품과학회지, 4, 90(1972)
2. 김형수, 이기열, 최미순 : 한국식품과학회지, 4, 77(1973)
3. 김희갑 : 한국식품과학회지, 10, 109(1978)
4. 박훈 : 한국농화학회지, 19, 31(1976)
5. 이동석, 박훈 : 한국식품과학회지, 7, 82(1975)
6. 최홍식, 이남숙, 권태완 : 한국식품과학회지, 8, 129(1976)
7. 박훈, 양차범 : 한국식품과학회지, 8, 129(1976)
8. 김용휘, 김형수 : 한국식품과학회지, 6, 30(1974)
9. 김용휘, 김형수 : 한국식품과학회지, 8, 42(1976)
10. 김혜란, 김성곤, 최홍식 : 한국식품과학회지, 12, 122(1980)
11. 이홍석, 이영호, 김영래 : 과학기술처 연구보고서, R-76-37(1976)
12. 목철균, 이현유, 남영중, 민병용 : 한국식품과학회지, 15, 136(1983)
13. Nara, S, mori, A. and Komiya, T. : *Staerke*, 30, 111(1978)
14. American Association of Cereal Chemists: *Approved methods of the AACC 44-15A*. The Association : St. Paul, MN(1969)
15. Becker, H. A. : *Cereal Chem.*, 37, 309(1960)
16. Becker, H. A. : *J. Appl. Polymer Sci.*, 1, 212(1959)
17. Beyer, W. H. : *CRC Standard Mathematical Tables*, CRC Press, West Palm Beach(1978)
18. Cho, E. K., Pyun, Y. R., Kim, S. K. and Yu, J. H. : *Korean J. Food Sci. Technol.*, 12, 285(1980)
19. 이순옥, 김성곤, 이상규 : 한국농화학회지, 26, 1(1983)