

대두의 수화속도에 미치는 침지온도의 영향

김동연 · 서인숙 · 이종욱

전남대학교 농과대학 식품공학과

Effect of Temperature on the Water Uptake during Soaking of Soybeans

Dong-Youn Kim, In-Sook Suh and Chong-Ouk Rhee

Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwang-ju, Korea

Abstract

The effects of temperature on the water uptake rate of soybeans soaked in tap water and 0.5% NaHCO₃ solution were studied. The higher the soaking temperature, the faster the hydration rate, and among the three soybean varieties (Tanyob, Kwanggyo and Saeal), Tanyob(the smallest variety) showed faster rate than other varieties when soaking in tap water and 0.5% NaHCO₃ solution. Activation energy due to weight increase was calculated using Arrhenius equation. z-Values calculated from weight changes to reach different degrees of hydration during soaking showed the tendency to decrease with the increase of hydration degree when soaking in tap water and 0.5% NaHCO₃ solution.

서 론

일반적으로 대두는 수확후 건조된 상태로 저장하였다가 침지 및 가열과정을 거쳐 두유, 콩자반 또는 밥밀콩, 콩밥 등으로 가공 또는 조리하여 섭취하게 되는 바 침지는 조식을 연하게 하여 조리 시간을 단축시키는 효과가 있으며¹⁾ 수용성 영양소의 손실과 함께 노력과 시간이 많이 소비되는 불리한 면이 있어 대두의 침지시간을 단축시키고 저 많은 노력이 있었다.^{2,3,4)}

Dawson등⁵⁾은 NaHCO₃ 용액에 대두를 침지시키면 겉질의 연화와 함께 침지시간이 단축되었다고 하였고 Nelson등⁶⁾은 부드러운 식감을 얻기 위해서는 0.5%의 NaHCO₃로 침지하는 것을 권장하였다. 그리고 Perry등⁷⁾은 물에 침지하고 0.5% NaHCO₃ 용액으로 조리하면 물에서 조리한 것보다 약 반정도의 조리시간을 단축하였다고 보고되

었다. Hsu등⁸⁾은 대두의 크기와 밀도는 대두의 흡수량 및 흡수속도와 상관관계를 보이거나 단백질 함량은 상관관계를 보이지 않는 것으로 알려져 있으며 침지 온도가 높을수록 흡수속도를 크게 한다고 보고하였다. Quast와 da Silva⁹⁾는 대두 흡수속도와 침지온도와의 관계를 z값으로, 김등¹⁰⁾ 및 Leopold¹¹⁾는 흡수초기의 수분함량의 증가를 Arrhenius 식으로, Hsu⁸⁾는 수분의 확산계수를 온도와의 관계로 설명하였다.

그러므로 본 연구에서는 우리나라 대두 품종으로서 단엽, 광교, 새알을 선택하여 tap water와 0.5% NaHCO₃ 용액에 침지시킨후 온도에 따른 흡수속도의 변화를 검토하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용한 대두는 1985년도에 수확된 것으로서 단엽, 광교, 새알의 제품종을 대상으로 하였으며 이들의 일반적 특징은 전보¹²⁾와 같다. 시료

1988년 1월 12일 수리

Corresponding author: C.O. Rhee

대두는 전라남도 농촌진흥원에서 제공 받았으며 시료는 4°C에 보관하면서 사용하였다.

흡수속도의 측정

흡수속도의 측정을 위하여 시료 20g을 5°C~50°C 범위의 온도에서 tap water와 0.5% NaHCO₃ 용액에 24시간 침지하는 동안 매시간 꺼내어 여과지로 표면수를 제거한 다음 무게 증가량을 측정하였으며 무게의 증가량으로부터 시료 1g(전량기준) 당 수분함량을 계산하였다. 흡수속도는 무게의 변화율(%)로부터 침지시간에 따른 변화속도로 부터 구하였으며 모든 결과는 4반복 실험을 하여 평균 값으로 나타내었다.

흡수속도 상수의 온도의존성

흡수속도 상수와 침지온도와는 다음의 Arrhenius식으로 부터 계산하였다.

$$\ln K = -\frac{Ea}{RT} + \ln A \dots\dots\dots(1)$$

여기에서 K는 흡수속도 상수(g H₂O/min), Ea는 활성화에너지(cal/mole), R는 기체상수(1.987 cal/mole·K), T는 침지온도(K), A는 빈도상수이다.

수화도의 침지온도 의존성

여러 침지온도에서의 대두의 수화도(degree of hydration)의 온도 의존성은 다음 식⁹⁾에 의하여 계산하였다.

$$z = \frac{T_1 - T_2}{\log(t_2/t_1)} \dots\dots\dots(2)$$

여기에서 t₁은 침지온도 T₁에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간, t₂는 침지온도 T₂에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간이다.

결과 및 고찰

수화 양상

침지시간에 따른 대두의 무게 증가율은 tap water에 침지 하였을 때는 Fig. 1과 같고, 0.5% NaHCO₃에 침지하였을 때는 Fig. 2와 같다. 세 품종 모두 5°C에서는 본 실험의 12시간 동안 평형상태에 도달하지 않았으나, 20°C~40°C에서는 12시간안에 평형상태에 도달하였다.

Wang 등¹⁰⁾은 대두를 20°C~30°C에서 침지하는 경우에 초기 2시간 동안에 수분이 급속히 흡수되

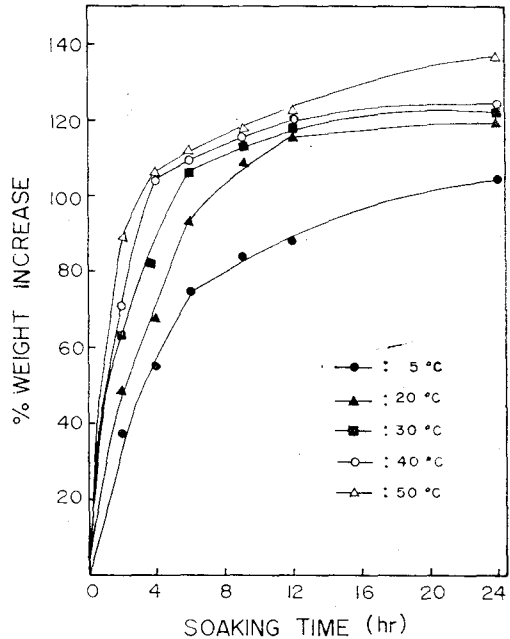


Fig. 1. Changes in weight of Tanyob during soaking at various temperatures with tap water

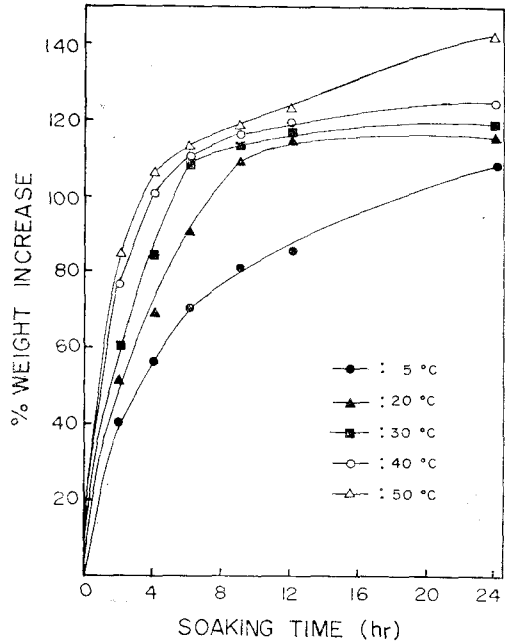


Fig. 2. Changes in weight of Tanyob during soaking at various temperatures with 0.5% sodium bicarbonate

며 그 이후에는 흡수속도가 점차 감소한다고 보고 하였는데 이는 본 실험결과와 비슷한 경향이었다. 김 등¹⁰⁾은 검정콩의 경우 침지온도 20°C에서 12

시간, 40°C에서 10시간, 60°C~80°C에서는 3~4시간, 100°C에서는 2시간 이내에 무게 증가율이 평형상태에 도달하였다고 보고 하였다.

0.5% NaHCO₃에 침지한 시료중 광고는 위와 같은 양상을 보였으나 단엽은 20°C~40°C에서는 12시간 안에 평형상태에 도달 하였는데 50°C에서는 계속 증가하는 양상을 보였고, 단엽, 광고, 새알중 크기가 가장 큰 새알은 5°C~40°C에서 두시료와 비슷하였으나 50°C에서는 tap water나 0.5% NaHCO₃ 침지에서 무게 증가율이 다소 감소하는 경향을 보였다.

Wang등¹³⁾은 대두의 경우 30°C 이상에서 침지시키는 경우 일정시간 후에 점차 무게가 감소하며 30°C에서는 12시간 이후부터, 37°C에서는 8시간 이후부터 무게가 감소함을 보고 하였다. 이러한 현상은 대두의 크기와 고온에서의 침지 중 수용성 물질의 손실에 기인하는 것으로써 침지중 무게 증가율 보다 고형물의 손실이 크기 때문으로 보인다.^{9,10)}

수분 흡수속도

대두의 침지중 무게 증가량은 흡수에 의한 것으로 가정하고 침지시간과 대두의 수분 증가량의 관계에서 침지시간의 평방근과 수분 증가량은 침지온도에 상관없이 직선적인 관계를 보였다(Fig. 3). 따라서 위의 결과는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\bar{m} - m_0 = K_0 \sqrt{t} \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 \bar{m} 은 일정시간 침지후의 수분함량(g H₂O/g), m_0 는 시료의 초기 수분함량(g H₂O/g), t 는 침지시간(min)이다.

대두를 침지하는 동안 내부로 수분의 이동에 대하여 Fick의 확산(molecular diffusion) 법칙¹⁴⁾을

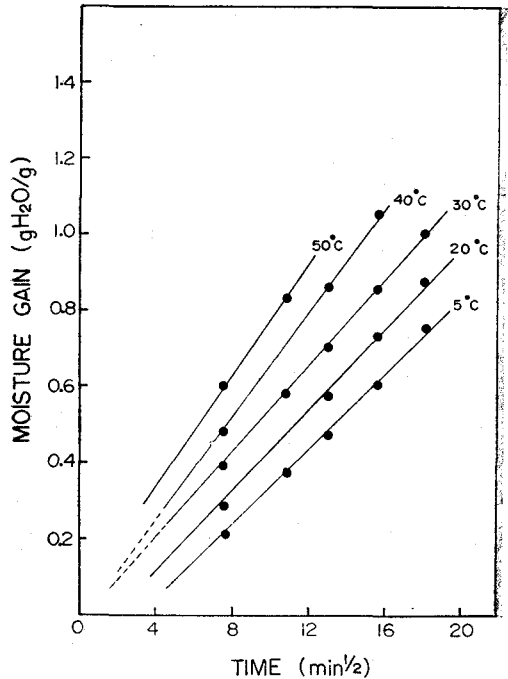


Fig. 3. Relation between the moisture gain and the square root of the soaking time of Tanyob (tap water).

따른다면, 대두의 초기 수분증가는 식(3)과 같이 침지시간의 평방근에 비례하게 된다.¹⁵⁾ 따라서 Fig. 3의 결과는 대두의 수분흡수 기본기작(mechanism)은 확산현상에 의하여 설명 될 수 있음을 가르킨다.

Fig. 3의 각 직선으로 부터 기울기(K_0 , 수분흡수속도 상수)를 구한 결과는 Table 1과 같이 침지온도 5°C~50°C의 범위에서 수분흡수속도는 tap water나 0.5% NaHCO₃ 둘 다 단엽이 가장 빨랐으며 새알이 가장 늦었다.

Table 1. Average values of water uptake rate constant of soybeans calculated from weight changes

Soaking temperature (°C)	Water uptake rate constant(gH ₂ O/min ^{1/2})					
	Tap water			0.5% NaHCO ₃		
	Tanyob	Kwanggyo	Saeal	Tanyob	Kwanggyo	Saeal
5	0.0539	0.0400	0.0312	0.0402	0.0367	0.0287
20	0.0622	0.0458	0.0411	0.0523	0.0416	0.0393
30	0.0642	0.0510	0.0476	0.0627	0.0481	0.0458
40	0.0773	0.0572	0.0653	0.0689	0.0583	0.0527
50	0.0997	0.0656	0.0677	0.0759	0.0708	0.0657

Hsu 등⁸⁾은 대두의 흡수속도는 품종에 따라 차이를 보이며 단백질 함량과는 상관관계를 보이지 않으나 대두의 크기와 밀도와는 상관관계를 보인다고 보고 하였다. 대두의 품종에 따른 흡수속도의 차이에 대하여 Saio¹⁶⁾는 대두의 겹질 때문으로서 흡수속도가 느린 대두는 보통 대두에 비하여 대두겹질에 존재하는 칼슘과 조섬유의 함량이 높다고 하였다.

Table 1에서 보는 바와 같이 tap water에 침지할때 광교와 새알은 침지속도가 비슷하였으나 세품종중 가장 크기가 작은 단엽은 이 두 품종에 비해 월등히 흡수속도가 빨랐고 0.5% NaHCO₃에 침지할때 흡수속도가 세품종 모두 비슷 하였으나 그중에서 단엽이 약간 빨랐다.

그리고 tap water에 침지할때와 0.5% NaHCO₃에 침지 했을때의 흡수속도를 비교해 보면 전체적으로 tap water에 침지할때가 0.5% NaHCO₃에 침지할때 보다 흡수속도가 약간 빨랐다.

수분 흡수속도의 온도 의존성

수분 흡수속도의 온도 의존성을 알아보기 위하여 Table 1의 결과를 반 대수지에 도시하면 Fig. 4와 같고 식(1)의 Arrhenius식을 사용하여 흡수의 활성화 에너지를 계산한 결과는 Table 2와 같다.

tap water에 침지시 광교와 새알의 경우에 침지온도 5°C~20°C에서 활성화 에너지 값은 각각 1,780cal/mole, 2,407cal/mole이며 침지온도 20°C~50°C에서의 활성화 에너지 값은 각각 2,070cal/mole, 3,327cal/mole로써 고온일 경우 일때가 약간 높았으며, 단엽의 경우에 침지온도 5°C~20°C에서 활성화 에너지 값은 975cal/mole이고 침지온도 20°C~50°C에서 활성화 에너지 값은 2,627cal/

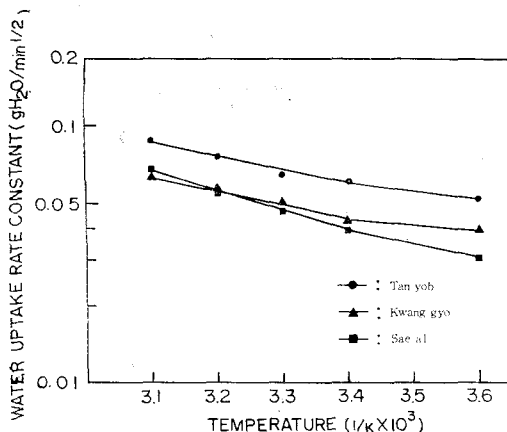


Fig. 4. Arrhenius plots of water uptake rate constants of Tanyob, Kwanggyo and Saeal calculated from weight changes (tap water)

mole로써 약 3배정도 높았다.

그리고 0.5% NaHCO₃ 용액에 침지할때 광교의 경우 침지온도 5°C~20°C에서 활성화 에너지 값은 1,662cal/mole이고 침지온도 20°C~50°C에서의 활성화 에너지 값은 3,112cal/mole로써 약 2배 높았으며 단엽과 새알은 침지온도 5°C~20°C에서 활성화 에너지 값보다 침지온도 20°C~50°C에서의 활성화에너지 값이 약간 높았다.

Leopold¹¹⁾는 대두의 경우 20°C~40°C에서의 흡수의 활성화 에너지는 5,800cal/mole이라고 보고 하였는데 이는 Table 2의 결과에 비해 높은 값 이었다.

무게 증가에 의한 수화도의 온도 의존성

대두의 침지시 일정한 수분함량에 도달하는 시간과 침지온도와와의 관계를 보면 Fig. 5와 같은데

Table 2. Activation energy of water uptake of soybeans calculated from weight changes

Soybean	Tap water		0.5% NaHCO ₃	
	Soaking temperature (°C)	Ea (cal/mole)	Soaking temperature (°C)	Ea (cal/mole)
Tanyob	5~20	975	5~20	2,189
	20~50	2,627	20~50	2,752
Kwanggyo	5~20	1,780	5~20	1,662
	20~50	2,070	20~50	3,112
Saeal	5~20	2,407	5~20	2,915
	20~50	3,327	20~50	3,268

Table 3. z-Values and Q₁₀ of soybeans calculated from weight changes to reach different degrees of hydration during soaking at 5~50°C

Soybean	Degree of hydration (%H ₂ O)	z-Value(°C)		Q ₁₀	
		Tap water	0.5% NaHCO ₃	Tap water	0.5% NaHCO ₃
Tanyob	40	80.06	74.74	1.306	1.360
	50	76.49	71.19	1.351	1.381
	60	76.00	66.25	1.353	1.415
Kwanggyo	40	78.39	74.74	1.341	1.360
	50	74.74	66.49	1.360	1.413
	60	68.89	64.38	1.396	1.429
Saéal	40	84.31	68.89	1.276	1.396
	50	79.19	66.49	1.337	1.413
	60	78.96	62.84	1.339	1.442

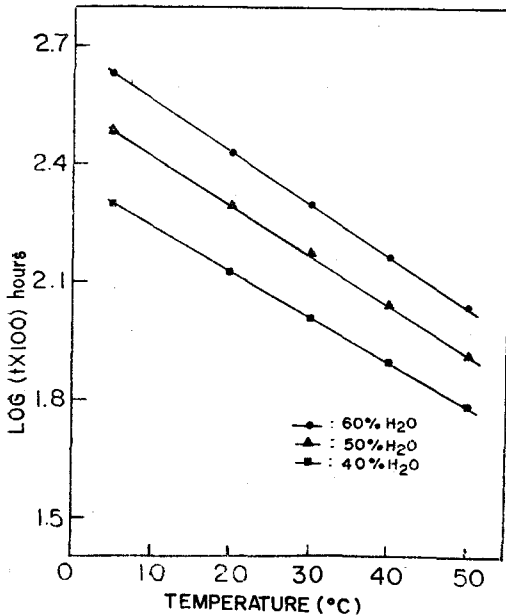


Fig. 5. Time to reach different degrees of hydration as a function of temperature for Tanyob calculated from weight changes (tap water)

본 실험 조건에서 침지시간의 대수값과 침지온도와는 직선적인 관계를 보였다. 대두의 흡수속도 (Table 1)에서 예측한 바와 같이 각 침지온도에서 일정한 수분함량에 도달하는 시간은 tap water에 침지 할때는 시료중 크기가 가장 작은 단엽이 가장 늦었고, 광묘와 새알은 비슷한 결과였으며, 0.5% NaHCO₃ 용액에서도 같은 결과를 얻었다. Fig. 5로 부터 식(2)를 사용하여 z값(직선의 기울

기)와 $\log Q_{10} = \frac{10}{z}$ 식을 이용하여 Q₁₀(온도계수)를 구한 결과는 Table 3과 같다. 대두의 수화도가 증가할수록 tap water에 침지할때나 0.5% NaHCO₃ 용액에 침지 할때나 z값은 감소하는 경향을 보이고 있다.

Quast와 da Silva⁹⁾는 침지온도 4°C~40°C에서 대두가 50%의 수분함량에 도달하는 z-값은 50°C라고 하였는데 본실험 결과에서는 약간 높은 값을 나타내었다.

초 록

대두를 tap water와 0.5% NaHCO₃ 용액에 침지시켜 수화속도에 미치는 침지온도의 영향에 대하여 실험하였다. 그 결과 침지온도가 높아 질수록 수화속도는 빠르고 세품종중 크기가 가장 작은 단엽이 tap water에 침지 할때나 0.5% NaHCO₃ 용액에 침지 할때도 모두 빨랐다. Arrhenius식을 사용하여 수화에 따르는 활성화 에너지를 계산하였고 일정 수분 함량에 도달하는데 필요한 시간과 침지온도와의 관계를 z값으로 나타내었을때 대두의 수화도가 증가 할수록 tap water에 침지할때나 0.5% NaHCO₃ 용액에 침지 할때도 z값이 감소하는 경향을 보였다.

참 고 문 헌

1. 허필숙 : 조리과학, 수학사, 121(1982)
2. Burr, H.K., Kon, S. and Morris, H.J.: J.

- Food Sci. Tech., 22 : 236(1968)
3. Molina, M.R., Baten, M.A., Gomez-Brenes, R.A., King, K.W. and Bressani, R.: J. Food Sci., 41 : 661(1976)
 4. Kon, S.: J. Food Sci., 44 : 1329(1979)
 5. Dawson, E.H., Lamb, J.C., Toepfer, E.W. and Warren, H.W.: Technical Bull., 1051, U.S. Dept. of Agri., Washington, D.C.(1952)
 6. Nelson, L.R. and Hsu, K.H.: J. Food Sci., 50 : 782(1985)
 7. Perry, A.K., Peters, C.R. and France, D.V.: J. Food Sci., 41 : 1330(1976)
 8. Hsu, K.H., Kim, C.J. and Wilson, L.A.: Cereal Chem., 60 : 208(1983)
 9. Quast, D.G. and da Silva, S.D.: J. Food Sci., 42 : 1299(1977)
 10. 김우정, 신애숙, 김종균, 양차범 : 한국식품과학회지, 17 : 41(1985)
 11. Leopold, A.C.: Plant Physiol., 65 : 1096(1980)
 12. 이영현, 정해옥, 이종욱 : 한국식품과학회지, 19 : 492(1987)
 13. Wang, H.L., Swain, E.W., Hesseltine, C.W. and Health, H.D.: J. Food Sci., 44 : 1510(1979)
 14. Geankopolis, C.J.: Transport Processes and Unit Operations, Allyn and Bacon, Boston, U.S.A. p.264(1978)
 15. Becker, H.A.: Cereal Chem., 37 : 309(1960)
 16. Saio, K.: Cereal Foods World, 21 : 168(1976)