

일반쌀 및 다수확 쌀의 수화속도

이순옥 · 김성곤 · 이상규*

단국대학교 문리과대학 식품영양학과, 대전기계장*
(1983년 1월 12일 수리)

Kinetic Studies on Hydration of Traditional and High-Yielding Rice Varieties

Soon-Ock Lee, Sung-Kon Kim and Sang-Kyu Lee*

Department of Food and Nutrition, Dankook University, Seoul
Dae Jeon Machinery Co., Dae Jeon

Abstract

The hydration of two japonica (Akibare and Milyang 15) and four indica (Milyang 30, Suweon 287, Suweon 294 and Iri 342) rice varieties was investigated in terms of mathematical rate equation. The hydration rate at temperatures of 4~32°C was examined by a weighing method. The absorption of water was directly proportional to the square root of the hydration time (t) and was described by the diffusion equation: $1 - \bar{M} = (2/\sqrt{\pi})(S/V) \sqrt{Dt}$, where \bar{M} is dimensionless moisture ratio, S/V is the surface-to-volume ratio and D is diffusion coefficient. The average D value was given by the Arrhenius relation: $D = D_0 \exp(-E_a/TR)$. The activation energy was 4~5 kcal/mole. The rice samples could be classified into three groups based on hydration kinetics: Milyang 30-Suweon 287; Akibare-Milyang 15; and Suweon 294-Iri 342.

서 론

식품학적인 관점에서 볼 때, 쌀의 품질은 쌀의 화학적 조성 및 물리적 특성(단단함, chalkiness 등)에 의하여 좌우된다고 볼 수 있다. 일반적으로 쌀의 취반 특성 및 식미는 주로 전분의 아밀로스와 아밀로펙틴의 구성비에 의하여 크게 영향을 받게 된다.^{1,2)} 아밀로스 함량은 밥의 부드러움, 끈기 및 색깔과 부의 상관관계를 보인다.²⁾ 그러나 최근 Bhattacharya 등^{3~6)}은 쌀의 품질은 전체 아밀로스 함량 이외에도 불용성 아밀로스 함량이 증

요하다고 보고하였다. 쌀 입자의 chalkiness는 불용성 아밀로스 함량과 밀접한 관계를 보이며^{6~7)}, 쌀의 침지시 평형 수분 함량은 전분의 아밀로스 함량 및 호화 온도와 쌀 입자의 chalkiness에 의하여 영향을 받게 된다.⁶⁾

그러나 우리나라 쌀의 품질에 대한 연구 특히 재래품종과 다수확 품종간의 품질 비교에 관한 연구는 거의 미미한 형편이며, 쌀의 품질에 직접적인 영향을 주는 전분에 대하여도 일부 연구^{8~13)}가 있을 뿐이다. 최근 조들¹⁴⁾은 재래품종인 아끼바레와 식미가 좋은 다수확 품종인 밀양 23호의 수화 및 취반 특성을 비교 검토하여, 밀양 23호가 아끼

바레에 비하여 아밀로그래프의 점도가 높고 취반 시간이 짧으며 물의 확산 속도가 빨랐다고 보고하였다. 그러나 이 두 품종간의 밥의 노화속도에는 차이가 없었다.¹⁵⁾ 아끼바레 및 밀양 23호의 아밀로스 함량은 각각 18.5 및 19.5%로 알려져 있다.¹⁶⁾ 그러나 두 건분의 물리적 성질(결정구조, 팽화력, 각종 염류에 대한 호화 양상등)은 서로 다른 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾ 이상의 결과는 아끼바레와 밀양 23호의 식미의 차이는 단순한 건분의 화학적 성질보다는 물리적 성질이 더욱 중요함을 암시한다고 볼 수 있다.

본 연구는 우리나라 쌀 품종간의 품질의 차이를 이해하기 위한 첫 시도로서 일반계통 2품종과 다수확계통 4품종을 선정하여, 칩지 시간 및 온도에 따른 수화 속도를 조사하였다. 쌀의 수화 특성은 품종¹⁷⁾, 재배조건, 저장기간¹⁸⁾ 등에 따라 좌우되며 이들 인자에 의하여 칩지나 취반 조건이 결정된다.¹⁹⁾ 또한 칩지 시간과 칩지 온도는 밥의 식미, 색, 냄새등에 영향을 주게 된다.¹⁹⁾ 쌀의 수분 증가는 무게법^{14, 20)}으로 계산하였고, 이 결과를 수화 방정식^{21, 22)}에 따라 분석하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 벼는 일반계 2품종(아끼바레와 밀양 15) 및 다수확계 4품종(밀양 30, 수원 287, 수원 294와 이리 342)이었다. 벼는 제한한 다음 Satake test mill을 사용하여 무게비로 8% 도정하여 시료로 사용하였다.

수화속도의 측정

쌀(1g)을 50ml 베이커에 담고, 4°, 13°, 23° 및 32°C의 물에 5~50분간 칩지시킨 다음, 일정 시간 별로 꺼내어 여과지 위에 골리어 표면수를 제거하고 수분 증가량을 측정하였다.

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

유효수분함량의 측정

쌀을 여러 농도의 황산 용액²³⁾을 건조제로 사용한 테시케이터 속에 방치하여 평형 수분함량에 도달하게 한 다음 105°C 건조법²⁴⁾으로 수분함량을 측정하였다.

초기 수분함량이 다른 쌀 1g을 23°C에서 15분

간 칩지하여 수분증가량을 위와 같이 측정하고 이로부터 쌀 입자 표면의 유효수분 함량을 계산하였다.²²⁾

분석 및 계산방법

가. 이론

입자의 형태의 고체에 있어서 nonstationary-state 확산은 $t=0$ 일 때 $m=m_0$, $t>0$ 일 때 고체의 표면에서 $m=m$, 및 $D=$ 항수인 조건하에서 다음과 같은 Becker의 식^{21, 22)}으로 표시된다.

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

여기에서

$$\bar{m} = \frac{m_s - \bar{m}}{m_s - m_0}, \quad X = \frac{S}{V} \sqrt{Dt}$$

X 의 값이 작은 경우에는 식(1)은 다음의 개략식으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{m} - m_0 = k_0 \sqrt{t} \dots\dots\dots(2)$$

여기에서

$$k_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (m_s - m_0) \left(\frac{S}{V} \right) \sqrt{D}$$

나. 쌀의 표면적 및 부피

쌀 입자를 타원체로 가정하고, 그의 장반경을 a , 단반경을 b 라하면 표면적 및 부피는 각각 식(3) 및 식(4)로 표시된다.²⁵⁾ 쌀 입자의 a 와 b 값은 caliper를 사용하여 30입자의 측정값으로부터 구하였다.

$$S = 2\pi b^2 + 2\pi(ab/e) \sin^{-1}e \dots\dots\dots(3)$$

여기에서

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

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

다. 수화의 활성화 에너지

쌀의 수화는 칩지온도의 영향을 받게 되므로 확산계수(D)와 칩지온도(T)와의 관계는 Arrhenius관계의 식으로 나타낼 수 있다.²²⁾

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \dots\dots\dots(5)$$

결과 및 고찰

쌀의 수분 흡수

여러 온도에서 칩지 시간에 따른 쌀의 수분 흡수는 그림 1-3과 같다. 칩지 온도가 증가할수록 수분 흡수는 빨랐으며, 칩지 시간 50분 이상에서의 수분 흡수는 완만하였다. 따라서 쌀은 각 온도

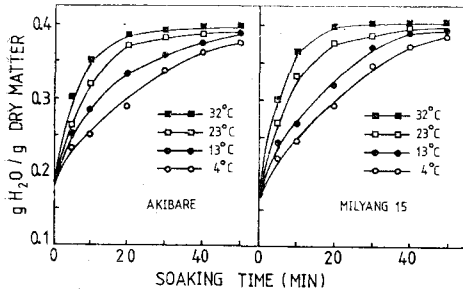


Fig. 1. Water absorption during hydration of Akibare and Milyang 15.

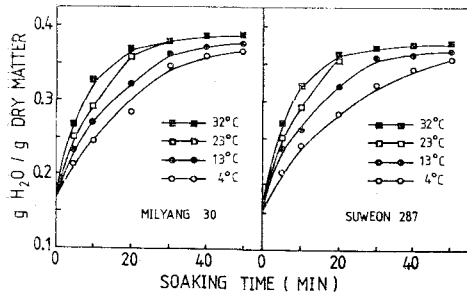


Fig. 2. Water absorption during hydration of Milyang 30 and Suweon 287.

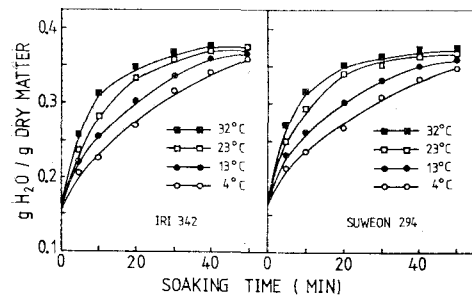


Fig. 3. Water absorption during hydration of Suweon 294 and Iri 342.

별로 침지시간 50분 후에 평형 수분 함량에 도달하는 것으로 간주하였다.

쌀의 침지 온도별 평형 수분 함량은 표 1과 같다. 대체로 침지 온도 13°C 이하에서는 평형 수분 함량에 도달하는 시간이 50분, 23°C 이상에서는 40분 정도이었다. 침지 온도에 따른 평형 수분 함량은 쌀 품종에 관계없이 30%이내이었다. 이는 침지온도 10~40°C에서의 결과¹⁴⁾와 일치하는 것이며, 일본 쌀의 경우²⁰⁾와도 비슷한 결과이었다.

그림 1-3 및 표 1의 결과를 보면 아끼바레는 밀양 15와, 밀양 30은 수원 287과, 수원 294는 이리

Table 1. Equilibrium moisture content of milled rice at various soaking temperatures

Variety	Soaking temperature (°C)	EMC (% wb)
Akibare	4	29.0
	13	29.5
	23	30.0
	32	30.2
Milyang 15	4	29.7
	13	30.0
	23	30.3
	32	30.8
Milyang 30	4	28.6
	13	28.3
	23	29.5
Suweon 287	4	28.0
	13	28.4
	23	29.1
	32	29.1
Suweon 294	4	27.5
	13	28.3
	23	28.5
	32	28.5
Iri 342	4	28.1
	13	28.5
	23	28.7
	32	28.9

342와 비슷한 수분 흡수 곡선을 보이며, 침지온도 별의 평형 수분 함량도 서로 비슷하였다. 일반 품종(아끼바레 및 밀양 15호)의 평형 수분함량은 다수확 품종보다 다소 높았다. 또한 다수확 품종중 수원 294와 이리 342는 밀양 30이나 수원 287에 비하여 침지온도 13°C 이상에서는 평형 수분 함량에 큰 차이가 없었다(표 1).

쌀의 침지시 평형 수분함량은 전분의 아밀로스 함량 및 호화온도 그리고 쌀입자의 chalkiness에 의하여 영향을 받는다고 알려져 있다.⁶⁾ 따라서 그림 1-3 및 표 1의 결과는 쌀의 품종별 특성은 쌀의 수분의 흡수 양상 또는 평형수분함량에 의하여 일부 결정될 수 있으리라는 가능성을 암시한다고 볼 수 있다.

수분증가와 침지시간

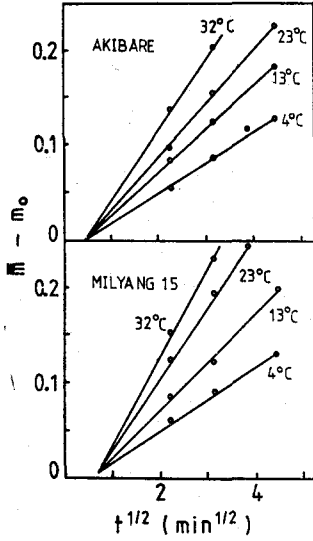


Fig. 4. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for Akibare ($m_0=0.175\text{g/g}$) and Milyang 15 ($m_0=0.171\text{g/g}$)

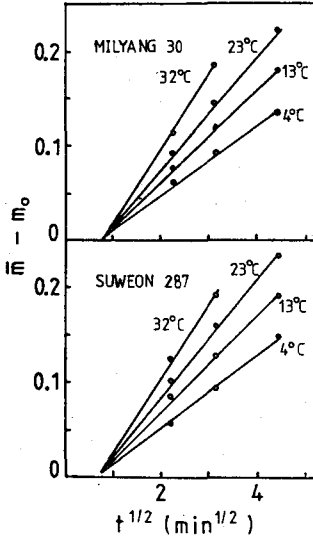


Fig. 5. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for Milyang 30 ($m_0=0.167\text{g/g}$) and Suweon 287 ($m_0=0.153\text{g/g}$)

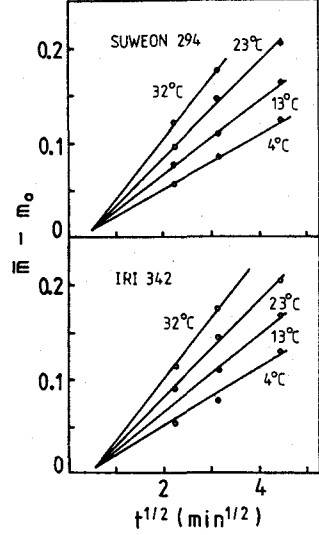


Fig. 6. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for Suweon 294 ($m_0=0.163\text{g/g}$) and Iri 342 ($m_0=0.157\text{g/g}$)

쌀을 물에 침지한 경우 확산에 의하여 쌀이 수화된다고 하면 X 의 값이 작은 경우에는 식(2)에 의하여 쌀의 수분증가는 침지 시간의 평방근에 비례하게 된다. 그림 1-3의 결과로부터 수분증가와 침지시간의 관계를 나타낸 그림 4-6은 이러한 관계가 성립함을 보여주고 있다. 그러나 그림 4-6의 결과를 보면 침지시간 0일 때의 수분증가는 이론적인 값 0과 일치하지 않았다. 따라서 본 실험에서는 실험 자료로부터 직접 기율기(k_0)를 구하였다.

수분 증가와 침지 시간의 평방근의 관계로부터 0이 아닌 절편을 나타내는 현상은 쌀¹⁴⁾ 및 밀²²⁾에서도 알려져 있다. 밀의 경우 밀의 외부층인 과피(pericarp)는 porous한 조직 특성에 의하여 capillary imbibition에 의하여 쉽게 포화되므로 초기 흡수가 빨리 일어나는 것으로 보고되어 있다.²²⁾ 즉 0이 아닌 절편은 과피를 포화시키는 데 요하는 수분함량의 척도이다.²²⁾ 그러나 밀의 경와 과피에 의한 임계 수분 함량은 밀입자 자체의 임계수분함량에 비하여 상당히 낮은 값을 보였다.²²⁾

쌀입자 표면위의 유효 수분함량

만일 확산계수가 본 실험의 범위 내에서의 수분함

량에 의존하지 않는다면, 식(2)에 의하여 $k_0(V/S)$ 는 초기 수분함량과 직선적인 관계를 보이게 되며 또한 $k_0(V/S)=0$ 인 점에서 m_0-m_s 의 관계를 나타내게 된다. 따라서 초기 수분함량을 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 일정 기간 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 보였다.²²⁾ 따라서 본 실험에서는 $\bar{m}-m_0$ 와 m_0 와의 관계로부터 m_s 를 구하였다.

일반 품종인 아끼바레와 밀양 15의 m_s 값은 각각 0.275 및 0.278g/g으로서, 아끼바레의 경우 $k_0(V/S)$ 와 m_0 의 관계로부터 구한 0.273g/g¹⁴⁾과 비슷한 결과를 보였다. 다수확 계통 쌀의 m_s 값은 밀양 30이 0.247, 수원 287이 0.248, 수원 294와 이리 342가 0.250g/g으로서 일반 품종에 비하여 다소 낮은 값을 보였다. 그러나 쌀의 m_s 값은 아끼바레는 밀양 15와 밀양 30은 수원 287과 수원 294는 이리 342와 서로 같은 값을 보이고 있다. 이러한 사실은 쌀 품종별 수분의 흡수(그림 1-3) 및 평형 수분함량(표1)에서의 결과와도 일치하는 것이었다.

확산계수

여러 칩지 온도에서의 쌀 품종별 확산계수(D)는 용적 및 부피, k_0 그리고 m_s 값을 사용하여 식(2)로부터 구하였으며, 그 결과는 표 2와 같다. 아끼바레의 경우, 조 들¹⁴⁾은 10°C에서의 확산계수는 1.42×10^{-4} , 20°C에서는 1.81×10^{-4} , 30°C에서는 $2.28 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{min}$ 라고 보고하였다. 본 실험 결과(표 2)는 조들¹⁴⁾의 결과보다 다소 높은 값이었다.

Suzuki들²⁰⁾은 일본 쌀의 형태를 구형으로 가정한 경우 칩지 온도 8~50°C에서의 D는 $6.3 \times 10^{-5} \sim 11.9 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{min}$ 라고 보고하였다. 이 결과는 표 2와 비교하면 약 1/10정도 낮은 값이었다. 이는 시료의 차이 또는 쌀알 형태의 가정 방법의 차이에 기인하는 것으로 보인다.

Table 2. The calculated values of the soaking rate parameters of milled rice at various soaking temperatures

Variety	Soaking temperature (°C)	k_0 (cm/min)	D (cm ² /min)
Akibare	4	0.0374	3.35×10^{-4}
	13	0.0430	4.42×10^{-4}
	23	0.0538	6.91×10^{-4}
Milyang 15	4	0.0389	3.37×10^{-4}
	13	0.0455	4.54×10^{-4}
	23	0.0567	7.09×10^{-4}
Milyang 30	4	0.0395	3.85×10^{-4}
	13	0.0446	4.91×10^{-4}
	23	0.0600	8.38×10^{-4}
Suweon 287	4	0.0378	3.45×10^{-4}
	13	0.0436	4.59×10^{-4}
	23	0.0605	8.83×10^{-4}
Suweon 294	4	0.0314	2.50×10^{-4}
	13	0.0377	3.85×10^{-4}
	23	0.0585	8.67×10^{-4}
Iri 342	4	0.0324	2.30×10^{-4}
	13	0.0401	3.69×10^{-4}
	23	0.0533	6.46×10^{-4}
	32	0.0610	8.46×10^{-4}

쌀 품종별 수분의 흡수(그림 1-3), 평형 수분함량(표 1) 및 쌀 입자 표면위의 유효 수분 함량에서 이미 예측한 대로, 확산계수의 값은 아끼바레는 밀양 15와, 밀양 30은 수원 287과, 수원 294는 이리 342와 비슷한 결과를 보였다(표 2). 확산계수는 밀양 30과 수원 287이 높았고, 수원 294와 이리 342가 가장 낮았다.

확산의 온도 의존성

확산계수와 칩지의 절대온도의 역수와의 관계는 그림 7과 같다. 밀양 15는 아끼바레와, 수원 287은 밀양 30과, 이리 342는 수원 294와 비슷한 결과를 보였다. 그림의 기울기로부터 구한 활성화에너지는 4,000~5,000cal/mole이었다(표 3). 조 들¹⁴⁾은 아끼바레의 활성화에너지는 4000, 밀양 23호의 경우는 5,700cal/mole정도라고 보고하였다. 따라서 쌀의 확산의 활성화에너지는 쌀 품종별로 다소 차이를 보이거나 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

밀의 확산의 활성화에너지는 12,200~12,300 cal/mole로 보고^{21,22)} 되어 있는데, 이는 쌀의 경우보다 3배정도 높은 값으로서, 쌀보다 온도 의존성이 높음을 알 수 있다.

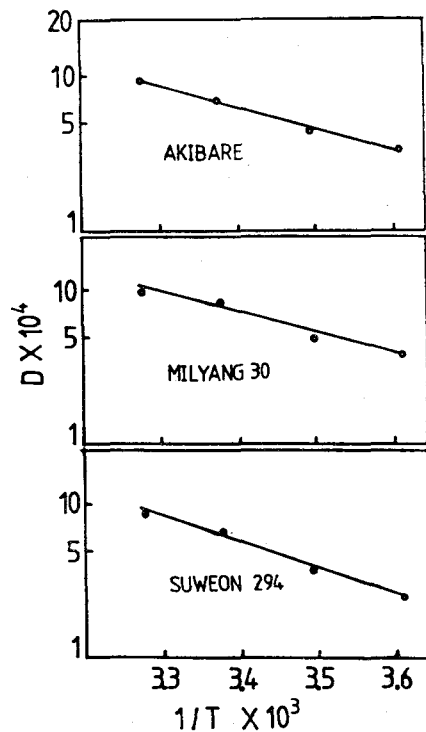


Fig. 7. Diffusion coefficient as a function of reciprocal absolute temperature

Table 3. Temperature dependence of diffusion coefficient of milled rice

Variety	$D = D_0 \exp(-E_a/RT)$
Akibare	$D = 3.1749 \exp(-5,000/RT)$
Milyang 15	$D = 3.2591 \exp(-5,000/RT)$
Milyange 30	$D = 1.5332 \exp(-4,500/RT)$
Suweon 287	$D = 0.6357 \exp(-4,000/RT)$
Suweon 294	$D = 2.8457 \exp(-5,000/RT)$
Iri 342	$D = 1.1657 \exp(-4,500/RT)$

확산상수(D_0)는 앞에서 계산된 D 값(표 2)과 활성화에너지 값(표 3)을 식 8에 대입하여 구하였으며, 그 결과는 표 3과 같다. 조 들¹⁴⁾은 아끼바레의 경우 D_0 가 0.189로 보고하였는데, 이는 활성화에너지 값의 차이에 의한 것으로 보인다.

확산의 활성화에너지와 D_0 의 값으로부터 계산한 쌀 품종별의 D 값의 온도 의존성은 표 3과 같다.

기호설명

- a : 시료의 장반경 (cm)
- b : 시료의 단반경 (cm)
- B : 항수
- D : 확산계수 (cm²/min)
- D_0 : 확산상수 (cm²/min)
- E : 활성화에너지 (cal/mole)
- k_0 : 식 (3)의 기울기
- m_0 : 시료의 초기 수분함량 (gH₂O/g dry matter)
- \bar{m} : 일정한 침지 시간후의 수분함량 (g H₂O/g dry matter)
- u_s : 침지시간 0분 이상에서의 쌀표면위의 유효 수분함량 (g H₂O/g dry matter)
- R : 기체상수 (cal/mole °K)
- S : 쌀입자의 표면적 (cm²)
- T : 절대온도 (°K)
- t : 침지시간 (min)
- V : 쌀입자의 부피 (cm³)

요 약

일반 품종(아끼바레와 밀양 15) 및 다수확품종(밀양 30, 수원 287, 수원 294와 이리 342)의 벼를 무게비로 8% 도정하고, 쌀을 온도 4~32°C에서 5~50분간 침지시키면서 수화속도를 비교하였

다. 침지시간 50분후의 쌀의 평형 수분함량은 아끼바레와 밀양 15가 30%내외, 수원 287과 밀양 30이 29%내외이었고, 수원 294와 이리 342는 다소 낮은 값을 보였다. 물의 확산계수는 아끼바레는 밀양 14와, 밀양 30은 수원 287과, 수원 294는 이리 342와 비슷한 값을 보였다. 확산계수는 밀양 30과 수원 287이 가장 컸으며, 수원 294와 이리 342가 가장 작았다.

참 고 문 헌

1. Juliano, B.O., Onate, L.U. and del Mundo, A.M.: Food Technol., 19 : 1006(1965).
2. Juliano, B.O.: In "Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality," p.69. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines(1979)
3. Kumar, B.M., Upadhyay, J.K. and Bhattacharya, K.R.: J. Texture Studies, 7 : 271 (1976).
4. Bhattacharya, K.R., Sowbhagya, C.M. and Indudhara Swamy, Y.M.: J. Sci. Fd Agric., 29 : 359(1978).
5. Indudhara Swamy, Y.M., Sowbhagya, C.M. and Bhattacharya, K.B.: J. Sci. Fd Agric., 29 : 627(1978).
6. Bhattacharya, K.R., Sowbhagya, C.M. and Indudhara Swamy, Y.M.: J. Food Sci., 47 : 564(1982).
7. Bhattacharya, K.R., Indudhara Swamy, Y.M. and Sowbhagya, C.M.: J. Food Sci. Technol., 16 : 214(1974).
8. 김호식, 이춘영, 이서래 : 한국 농학회지 기념논문집, 29(1961).
9. 정경근, 한동석 : 농촌진흥청 시험연구사업보고서, 793(1968).
10. 김재욱, 이계호, 김동연 : 한국농화학회지, 15 : 65(1972).
11. 김용휘 : 전북대학교 농대 논문집, 제 4집 : 103 (1973).
12. 정동효, 이현유 : 한국식품과학회지 8 : 179(1976).
13. 김성곤, 한태룡, 이양희, 비엘 다포르니아 : 한국식품과학회지, 10 : 157(1978).
14. 조은경, 변유량, 김성곤, 유주현 : 한국식품과

- 학회지, 12 : 285(1980).
15. 김성곤, 변유량 : 한국식품과학회지, 14 : 80 (1982).
 16. 정혜민, 안승요, 김성곤 : 한국농화학회지, 25 : 67(1982).
 17. Hogn, T.J. and Planck, R.W.: Cereal Chem., 35 : 469(1958).
 18. Houston, D.F., Straka, R.P., Hunter, I.R., Roberts, R.L. and Kester, E.B.: Cereal Chem. 34 : 444(1957).
 19. Webb, B.D. and Stermer, R.A.: In "Rice Chemistry and Technology," ed. by D.F. Houston. p.102. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN(1972).
 20. Suzuki, K., Aki, M., Kubota, K. and Hosaka, H.: J. Food Sci., 42 : 1545(1977).
 21. Becker, H.A.: J. Appl. Polymer Sci., 1 : 212 (1959).
 22. Becker, H.A.: Cereal Chem., 37 : 309(1960).
 23. Nara, S., Mori, A. and Komiya, T.: Staerke, 30 : 111(1978).
 24. American Association of Cereal Chemists: Approved Methods of the AACC 44~15A. The Association, St. Paul, MN (1969).
 25. Beyer, W.H.: CRC Standard Mathematical Tables. CRC Press, West Palm Beach(1978)