

현미 및 백미의 수분흡수속도와 취반속도의 비교

송보현 · 김동연* · 김성곤**

Comparison of Hydration and Cooking Rates of Brown and Milled Rices

Bo-Hyeon Song, Dong-Youn Kim* and Sung-Kon Kim**

Department of Food Science and Technology, Suncheon National University, Suncheon

*Department of Food Science and Technology, Chonnam National University, Kwangju

**Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul, Korea

Abstract

Brown rices were abrasively milled to give 92% yield, and hydration and cooking rates of brown and milled rices were investigated. Diffusion coefficients of Japonica brown and milled rices at 30°C were smaller than those of J/Indica counterparts. The bran layer controlled the diffusion coefficients of brown rices at initial stage of hydration. The diffusion coefficients for Japonica and J/Indica milled rices were 107~114 and 74~87 times greater than those for brown rices, respectively. The terminal points of cooking of brown and milled rices at 110°C were similar among varieties. The cooking rate constants of milled rices were about 2-fold compared with those of brown rices.

머 리 말

현미는 백미에 비하여 밥맛 및 소화성이 낮으나, 영양성분이 많이 포함되어 있어¹⁾ 최근에는 현미에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라 현미의 영양성분에 대하여는 일반성분²⁾, 무기질 함량³⁾과 배아를 제거한 현미립내의 영양성분의 분포⁴⁻⁷⁾에 관한 연구가 있다.

현미는 치밀한 쌀겨층으로 쌓여 있으므로, 쌀겨층을 통한 수분흡수 및 취반에 대한 속도론적 연구는 현미의 건조, 취반 등의 가공 및 품질을 판단하는 기초 자료로서 중요한 의미를 갖는다. 또한 벼의 육종 실험에서 얻을 수 있는 시료는 소량이므로, 현미 자체로서 품질을 평가할 수 있는 방법이 요구된다. 그러나 이러한 방면에서의 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 김 등^{9,10)}은 일반계

및 다수계 현미 각 1품종의 수분흡수 및 취반특성에 대하여, 신¹¹⁾은 다수계 현미의 저장 중 물리화학적 변화에 대하여 보고하였다.

본 연구에서는 일반계 및 다수계 현미의 품질 특성에 대한 연구의 일환으로서, 현미와 백미의 수분흡수 및 취반특성을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

재 료

실험에 사용한 현미는 일반계 3품종(천마벼, 서남벼 및 섬진벼)과 다수계 3품종(가야벼, 원풍벼 및 이리 362호)로서, 시료의 특성은 전보²⁾와 같다.

현미 일부는 Satake 도정기로 무게비로 도감율이 8%가 되도록 도정하고 백미 시료로 하였다.

수분흡수속도

시료(현미 및 백미) 각 1g을 30°C로 조절한 중

1988년 2월 23일 수리
Corresponding Author: S.K. Kim

류수에 침지시키면서 일정시간별로 꺼내어 여과지로 표면수를 제거하고 무게를 달아 수분흡수량을 측정하되 시료 1g(건량기준)당 수분함량으로 표시하였다.⁸⁾

시료의 수분흡수속도는 Becker¹¹⁾의 수분확산방정식을 이용하여 계산하였다.

$$\bar{m} - m_0 = K_0 \sqrt{t} \dots\dots\dots(1)$$

$$K_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (m_s - m_0) (S/V) \sqrt{D} \dots\dots\dots(2)$$

위 식에서 D 는 확산계수(cm^2/S), m_0 는 시료의 초기 수분함량($\text{gH}_2\text{O}/\text{g dry matter}$), \bar{m} 는 일정시간 침지시킨 후의 수분함량($\text{gH}_2\text{O}/\text{g dry matter}$), m_s 는 침지시간 0분 이상에서 쌀 표면위의 유효수분함량($\text{gH}_2\text{O}/\text{g dry matter}$), S 는 쌀알의 표면적(cm^2), t 는 침지시간(min), V 는 쌀알의 부피(cm^3)이다.

쌀 입자의 m_s 값은 여러 상대습도의 포화염용액¹²⁾이 담긴 테시케이더 속에서 평형수분함량에 도달하게 한 다음 시료 1g를 20°C에서 15분간 침지하여 수분증가량으로부터 계산하였다.¹¹⁾

시료는 타원체로 가정하고 표면적 및 부피는 각각 식 (3) 및 (4)로부터 구하였다.¹³⁾

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

$$V = \frac{4}{3}\pi ab^2 \dots\dots\dots(4)$$

위 식에서

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

여기에서 a 는 시료의 장반경(cm), b 는 시료의 단반경(cm)이다.

취반속도

눗쇠용기(안지름 12mm, 높이 28mm)에 0.8g의 시료(현미 또는 백미)를 넣고 시료 무게에 대하여 현미의 경우에는 1.6배, 백미의 경우에는 1.4배의 물을 가하여 실온에서 30분간 침지시킨 다음 110°C의 기름탕에서 일정시간 취반하고 얼음물에서 1시간 냉각 시켰다.

취반된 시료의 단단함은 rheometer로 측정하고, 취반시간에 따른 단단함의 변화로부터 취반속도를 계산하였다.

결과 및 고찰

현미 및 백미의 수분흡수속도

시료 현미 및 백미를 물에 침적하는 동안 내부

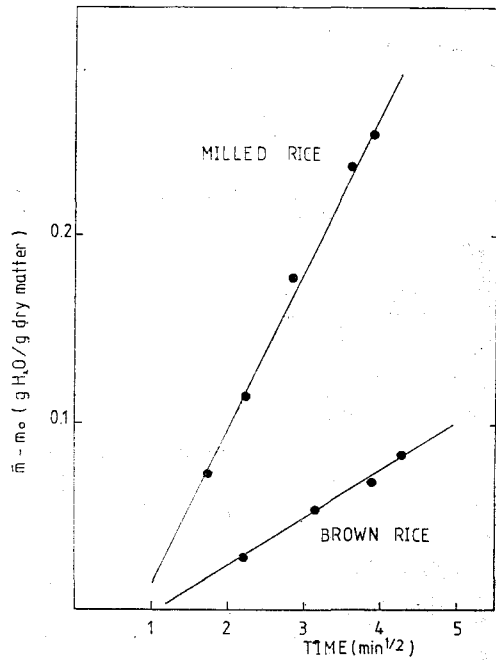


Fig. 1. Relation between the moisture gain and the square root of the absorption time for Sumjinbyeo variety

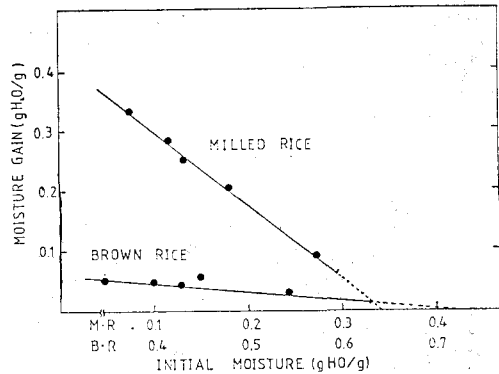


Fig. 2. The moisture gain of Sumjinbyeo variety as a function of initial moisture content

로 스며드는 수분의 이동이 Fick의 확산법칙에 따른다면 시료의 초기수분 증가는 식(1)에 의하여 침적시간의 평방근에 비례하게 된다. 시료의 수분증가량과 침적시간의 평방근과의 관계를 보면 그림 1과 같이 직선적인 관계를 보여, 시료의 초기흡수량은 침적시간의 평방근과 비례함을 알 수 있다. 이러한 관계는 여러 곡류에서도 보고^{8, 11, 14~18)}되어 있다. 그림 1의 결과를 보면 침적시간 0일 때의 수분증가는 이론적인 값 0과 일치하지 않았으므로 실험자료로부터 직접 기울기(K_0)를 구하

Table 1. Effective surface moisture content (m_s) and ratio of volume (V) and surface area (S) of rice

| Variety | m_s (gH ₂ O/g) | | V/S (cm) | |
|--------------|-----------------------------|-------------|------------|-------------|
| | Brow ricen | Milled rice | Brown rice | Milled rice |
| Japonica | | | | |
| Cheonmabyeo | 0.6683 | 0.2839 | 0.0496 | 0.0482 |
| Seonambyeo | 0.7559 | 0.2830 | 0.0515 | 0.0501 |
| Sumjinbyeo | 0.7168 | 0.2921 | 0.0510 | 0.0497 |
| J/Indica | | | | |
| Kayabyeo | 0.6693 | 0.3005 | 0.0508 | 0.0505 |
| Wonpoongbyeo | 0.6658 | 0.3102 | 0.0494 | 0.0491 |
| Iri 362 | 0.6682 | 0.2976 | 0.0512 | 0.0500 |

Table 2. The calculated values of the soaking rate parameters of rice at 30°C

| Variety | K_0 (cm/min) | | D (cm ² /min) | |
|--------------|----------------|-------------|----------------------------|------------------------|
| | Brown rice | Milled rice | Brown rice | Milled rice |
| Japonica | | | | |
| Cheonmabyeo | 0.0166 | 0.0525 | 1.783×10^{-6} | 2.559×10^{-4} |
| Seonambyeo | 0.0252 | 0.0597 | 3.344×10^{-6} | 3.564×10^{-4} |
| Sumjinbyeo | 0.0246 | 0.0864 | 3.687×10^{-6} | 4.033×10^{-4} |
| J/Indica | | | | |
| Kayabyeo | 0.0246 | 0.0635 | 4.256×10^{-6} | 3.717×10^{-4} |
| Wonpoongbyeo | 0.0266 | 0.0676 | 4.833×10^{-6} | 3.606×10^{-4} |
| Iri 362 | 0.0260 | 0.0626 | 4.783×10^{-6} | 3.551×10^{-4} |

였다.

침적시간 0일 때 초기수분 증가가 0이 되지 않음은 어떤 현상에 의하여 초기 수분 흡수가 빨리 일어난다는 사실을 의미한다. 수분 증가와 침적시간의 평방근의 관계로부터 0이 아닌 절편을 나타내는 현상은 쌀^{8,14~16}, 보리^{17,18} 및 밀¹¹에서도 알려져 있다. 곡류의 외부층은 다공적(porous) 조직을 이루고 있어 capillary imbibition에 의하여 쉽게 포화되므로 초기 흡수가 빨리 일어나는 것으로 알려져 있다.¹¹ 즉 0이 아닌 절편은 과피를 포화시키는데 요하는 수분 함량의 적도이다. 콩의 경우에도 침적온도가 낮은 경우에는 capillary imbibition 현상이 일어나고, 고온(30~50°C)에서는 이 현상이 뚜렷하지 않은 것으로 보고되어 있다.¹⁹

시료의 초기 수분함량을 변화시키면서 20°C에서 15분간 침적한 다음 수분증가와 초기수분과의 관계로부터 m_s 값을 구한 결과는 그림 2 및 표 1과

같다. 시료의 부피 및 표면적의 비도 표 1에 함께 나타내었다. 현미의 m_s 값은 0.66~0.75gH₂O/g으로서 품종간에 큰 차이를 보이지 않았으며, 김 등⁸이 보고한 0.625~0.635gH₂O/g 보다는 다소 큰 값이었다. 한편 백미의 m_s 값은 0.28~0.31gH₂O/g으로서 현미의 m_s 값에 비하여 2.34배 낮은 값을 보였다.

부피와 표면적의 비(V/S)는 현미가 백미보다 다소 높았으나 품종간에는 큰 차이를 보이지 않았다.

시료의 확산계수(D)는 표면적 및 부피(표 1), m_s 값(표 1) 및 그림 2의 기울기로부터 구한 K_0 (표 2)을 이용하여 식 (2)로 구하였으며 그 결과는 표 2와 같다. 확산계수는 천마벼가 가장 낮았으며, 다음이 서남벼이었다. 일반계 품종들은 품종간에 확산계수가 서로 차이를 보였으나 다수계는 품종간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

현미와 백미의 확산계수의 차이를 보면 백미는 현미에 비하여 천마비는 144배, 서남비는 107배, 섬진비는 109배, 가야비는 87배, 원풍비는 75배, 이리 362호는 74배의 큰 값을 보였다. 품종간에 또한 일반계와 다수계 사이의 이러한 차이는 현미의 겨층의 두께 또는 조성이 서로 다르기 때문에 일어나는 것으로 생각된다.

Steffe와 Singh²⁰⁾는 확산계수는 항수, 현미 및 쌀의 형태는 구형(Sphere), 배유부(endosperm) 및 겨층(bran)은 균일한 물질로 이루어져 있다고 가정했을 때, 배유부와 겨층에 있어서 수분의 확산계수는 각각 식 (5) 및 식 (6)으로 나타낼 수 있다고 보고하였다.

$$D_1 = 1.29 \times 10^{-2} \exp(-3.43 \times 10^3/T) \dots (5)$$

$$D_2 = 1.82 \exp(-5.40 \times 10^3/T) \dots (6)$$

위 식에서 D_1 및 D_2 의 단위는 m^2/hr 이다.

식 (5) 및 (6)을 이용하여 $30^\circ C$ 에서의 확산계수를 계산하면 배유부가 $2.6072 \times 10^{-5} cm^2/min$, 겨층이 $5.5208 \times 10^{-6} cm^2/min$ 이었다. 이러한 결과는 표 2의 백미의 경우와는 $10^{-1} cm^2/min$ 이상의 차이를 보였다. 이와 같은 이유는 배유부의 활성화 에너지의 차이에 의한 것으로 생각된다. 식 (5)에서의 활성화 에너지는 약 $6,800 cal/mole$ 이었으나, 김 등¹⁶⁾은 우리나라 쌀 21품종에 대한 수분흡수의 활성화 에너지는 평균 약 $4,700 cal/mole$ 이라고 하였다. 김 등¹⁶⁾이 보고한 활성화 에너지 $4,700 cal/mole$ 을 식 (5)에 대입하여 $30^\circ C$ 에서 확산계수를 계산하면 $8.7525 \times 10^{-4} cm^2/min$ 으로서 본 실험결과(표 2)에 더욱 가까운 값을 보였다.

김 등⁹⁾은 추청벼 및 밀양 23호 현미의 확산계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다고 보고하였다.

$$D = 0.352 \exp(-4.73 \times 10^3/T) \dots (7)$$

위 식에서 D 의 단위는 cm^2/sec 이다.

식 (7)을 이용하여 $30^\circ C$ 에서의 현미의 확산계수를 구하면 $3.5084 \times 10^{-6} cm^2/min$ 으로서 본 실험결과(표 2)와도 비슷하였으며, Steffe와 Singh²⁰⁾가 제시한 식(6)으로 계산한 겨층의 확산계수($5.5208 \times 10^{-6} cm^2/min$)와도 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 사실은 현미의 침지초기에서는 수분흡수에 따른 확산계수는 배유부 보다는 겨층에 의한 것임을 가리킨다. 따라서 표 2의 현미의 확산계수값은 일반계와 다수계 현미의 겨층의 차이(성분 또는 구조)를 반영하는 것으로 생각된다.

최근 Zhang 등²¹⁾은 백미를 $60^\circ C$ 에서 침지하는

경우에 최대 수분흡수는 초기 10분간에 일어나게 되며 이때 mass diffusivity는 $1.07 \times 10^{-4} cm^2/min$ 에서 $0.7 \times 10^{-4} cm^2/min$ 으로 감소한다고 보고하였다. 또한 백미를 침지하는 동안 수분 함량이 13%에서 50%로 증가할 때 mass diffusivity는 $1.07 \times 10^{-4} cm^2/min$ 에서 약 $0.5 \times 10^{-4} cm^2/min$ 로 감소한다고 하였다. 따라서 Zhang 등²¹⁾의 결과는 백미의 경우 mass diffusivity는 수분의 농도에 의존한다는 것을 가르킨다. 그러나 Zhang 등²¹⁾은 $60^\circ C$ 물에 침지하는 동안 화학반응, 즉, 전분의 호화는 고려하지 않았다. 화학반응이 일어나는 경우 수분의 일부가 고정화(immobilization)되는 것으로 알려져 있다.²²⁾ 또한 Bakshi와 Singh²³⁾은 현미를 parboiling할 때 $50 \sim 85^\circ C$ 에서의 전분의 호화에 따른 활성화 에너지는 $24,672 cal/mole$ 으로서 parboiling 과정은 수분과 전분의 반응에 의하여 제한을 받는다고 하였다.

현미 및 백미의 취반속도

시료를 증류수에 30분간 침지시킨 다음 $110^\circ C$ 에서 취반할 때 취반시간에 따른 섬진벼의 견고성에 대한 역수의 변화를 보면 그림 3과 같다. 견고성의 역수를 밥의 연화도(softness)로 볼 때 연화도는 취반 일정시간후에 일정한 값에 도달하였다. 밥의 연화도와 취반정도가 비례한다고 가정하고, 연화도가 일정한 값에 도달하였을 때를 취반 완료점으로 하였다.^{24,25)}

취반에 따른 밥의 연화도의 증가와 취반정도가 비례하는 경우에 일정시간후의 취반정도(α)는 다음과 같이 표시된다.^{9,24,25)}

$$\alpha = \frac{H_t - H_0}{H_s - H_0} \dots (8)$$

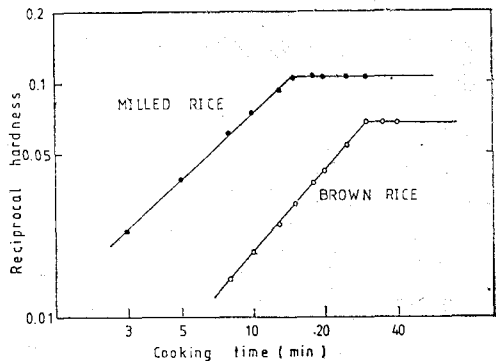


Fig. 3. Relation between the reciprocal hardness of cooked rice grain and cooking time at $110^\circ C$ (30 min soaking), Sumjinbyeo variety

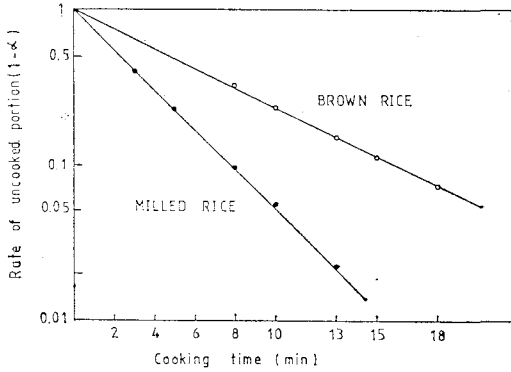


Fig. 4. Relation between the rate of uncooked portion of rice grain at 110°C(30min soaking), Sumjinbyeo variety

Table 3. Average values of cooking rate constants

| Variety | Kc(min ⁻¹) | |
|--------------|------------------------|-------------|
| | Brown rice | Milled rice |
| Japonica | | |
| Cheonmabyeo | 0.0508 | 0.0967 |
| Seonambyeo | 0.0512 | 0.0964 |
| Sumjinbyeo | 0.0514 | 0.0946 |
| J/Indica | | |
| Kayabyeo | 0.0497 | 0.0943 |
| Wonpoongbyeo | 0.0531 | 0.0967 |
| Iri 362 | 0.0520 | 0.0958 |

여기에서 H_0 와 H_t 는 각각 취반시간 0 및 t 에서의 견고성, H_L 는 취반 완료점에서의 견고성이다. 시료를 증류수에 30분간 침지시킨 다음 측정할 쌀알의 견고성(즉, H_0)은 현미의 경우 천마벼가 177.8, 서남벼가 149.2, 섬진벼가 177.0, 가야벼가 142.7, 원풍벼가 132.0, 이리 362호가 141.6으로서 일반계 현미가 다수계 현미보다 높은 경향을 보였다. 한편 백미의 H_0 는 천마벼가 85.7, 서남벼가 81.6, 섬진벼가 80.5, 가야벼가 82.3, 원풍벼가 80.7, 이리 362호가 90.4로서 현미에 비하면 품종간에 차이가 크지 않았다. 현미의 경우 이리 362호의 H_0 가 141.6으로서 비교적 낮은 값을 보였으나 백미의 H_0 가 90.4로서 가장 높은 값을 보인 것은 흥미있는 사실로서, 현미의 견고성과 백미의 견고성과는 뚜렷한 관계를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 현미의 수분확산계수를 보면(표 2) 품종마다 독특한 값을

가지므로 시료간의 H_0 값의 차이는 현미 자체의 차이 또는 수분확산계수의 차이에 기인되는 것으로 생각된다.

취반시간에 따른 미취반된 부분(즉, $1-\alpha$)과 취반시간과의 관계는 그림 4와 같이 현미 및 백미 모두 직선적인 관계를 보였다. 따라서 $1-\alpha$ 와 취반시간과는 다음과 같이 일차반응식으로 표시될 수 있다.

$$\ln(1-\alpha) = -Kc t \dots\dots\dots(9)$$

그림 4의 기울기로부터 구한 취반속도상수(Kc)는 표 3과 같다.

취반속도상수는 현미 및 백미 모두 시료간에 큰 차이를 보이지 않았으며, 백미의 취반속도 상수는 현미에 비하여 1.8~1.9배 정도 빨랐다.

김 등⁹⁾은 추청벼와 밀양 23호 현미의 110°C에서의 취반속도 상수는 침지하지 않은 경우에는 각각 0.0455 및 0.0500min⁻¹, 20시간 침지시킨 경우에는 각각 0.0476 및 0.0526min⁻¹이었다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 실험결과(표 3)보다는 다소 낮은 값이었으나 큰 차이는 아니었다. 김 등⁹⁾의 결과는 추청벼와 밀양 23호 백미의 취반속도 상수¹⁴⁾에 비하여 약 1/2에 해당하는 것으로서, 본 실험결과와 비슷한 경향이었다.

초 록

현미를 Satake 시험 도정기로 무게비로 도감율이 8%가 되도록 도정하여 백미를 얻고, 30°C에서의 현미와 백미의 수분흡수속도를 비교하였다. 확산계수는 다수계 품종이 일반계 품종보다 컸으며, 침지 초기에서의 현미의 확산계수는겨층에 의하여 좌우되었다.

현미와 백미의 확산계수의 차이를 보면 백미는 현미에 비하여 일반계인 천마벼는 144배, 서남벼는 107배, 섬진벼는 109배, 다수계인 가야벼는 87배, 원풍벼는 75배, 이리 362호는 74배의 큰 값을 보였다. 현미 및 백미를 110°C에서 취반하는 경우 취반 완료 시간은 품종간에 큰 차이를 보이지 않았다. 취반속도 상수는 백미가 현미보다 1.8~1.9배 정도 빨랐다.

참 고 문 헌

1. Juliano, B.O.: In "Rice Chemistry and Technology," B.O. Juliano(ed.), Chap. 2, Ame-

- rican Association of cereal Chemists, St. Paul, MN, U.S.A.(1985)
2. 송보현 : 한국농화학회지, 30 : 141(1987)
 3. 한양일 : 단국대학교 박사학위 논문(1985)
 4. 김성곤, 최홍식 : 한국식품과학회지, 11 : 122 (1979)
 5. 송보현, 김동연, 김성곤, 김용두, 최갑성 : 한국농화학회지, 31 : 1(1988)
 6. 송보현, 김동연, 김성곤, 김용두, 최갑성 : 한국농화학회지, 31 : 7(1988)
 7. 송보현, 김동연, 김성곤, 김용두, 최갑성 : 한국농화학회지, 31 : 0(1988)
 8. 김광중, 변유량, 조은경, 이상규, 김성곤 : 한국식품과학회지, 16 : 297(1984)
 9. 김광중, 변유량, 조은경, 이상규, 김성곤 : 한국식품과학회지, 16 : 457(1984)
 10. 신명곤 : 한국과학기술원 박사학위 논문(1986)
 11. Becker, H.A.: Cereal Chem., 37 : 309(1960)
 12. Rockland, L.B.: Anal. Chem., 32 : 1357(1960)
 13. Beyer, W.H.: CRC Standard mathematical Tables. CRC Press, West Palm Beach, U.S.A. (1978)
 14. 조은경, 변유량, 김성곤, 유주현 : 한국식품과학회지, 12 : 285(1980)
 15. 이순옥, 김성곤, 이상규 : 한국농화학회지, 26 : 1(1983)
 16. 김성곤, 정순자, 김관, 채계철, 이정행 : 한국농화학회지, 27 : 204(1984)
 17. 목철균, 이현유, 남영중, 민병용 : 한국식품과학회지, 15 : 136(1983)
 18. 이종숙, 김성곤 : 한국식품과학회지, 15 : 220 (1983)
 19. Hsu, K.H., Kim, C.J. and Wilson, L.A.: Cereal Chem., 60 : 203(1983)
 20. Steffe, J.F. and Singh, R.P.: J. Food Sci., 45 : 356(1980)
 21. Zhang, T.Y., Bakshi, A.S., Gustafson, R.J. and Lund, D.B.: J. Food Sci., 49 : 246(1984)
 22. Bakshi, A.S. and Singh, R.P.: Lebensm.-Wiss.-u. Technol., 15 : 89(1982)
 23. Bakshi, A.S. and Singh, R.P.: J. Food Sci., 45 : 1887(1980)
 24. Suzuki, K., Kubota, K., Omichi, M. and Hosaka, H.: J. Food Sci., 41 : 1180(1976)
 25. 최홍식, 김성곤, 변유량, 권태완 : 한국식품과학회지, 10 : 52(1978)