# 발아현미의 건강 기능성 및 활용 식품

## Health Functions and Utilization Products of Germinated Brown Rice

조동화, 정현정[1], 조홍연[2], 임승택*
Donghwa Cho, Hyun-Jung Chung[1], Hong Yon Cho[2], Seug-Taik Lim*
고려대학교 식품공학부, [1]경일대학교 식품과학부, [2]고려대학교 식품생명공학과
Department of Food Bioscience and Technology, Korea University
[1]Department of Food Science, Kyungil University
[2]Department of Food and Biotechnology, Korea University

## I. 서론

쌀은 전 세계적으로 생산 및 소비량이 밀 다음으로 많은 곡식으로 아시아 대부분의 나라들이 주식으로 이용하고 있다. 방글라데시와 캄보디아는 쌀을 통한 에너지 섭취 비율이 70.8%와 69.3%로 매우 높으며 우리나라도 29.6%로 많은 에너지를 쌀로부터 섭취하고 있다(1). 쌀은 국내 곡류 소비량 1위를 차지하고 있지만 생산 및 소비량이 매년 감소하고 있는 추세이다. 이는 식습관의 서구화에 의한 것으로 이런 경향은 앞으로 더욱 심화될 것으로 예상된다. 통계청 자료에 의하면 1997년 1인당 연간 쌀 소비량은 102.4kg이였으나, 2007년 1인당 연간 쌀 소비량은 약 25% 감소한 76.9kg으로 나타났다(2). 특히 생산량의 감소에 비하여 소비량의 감소와 수입량의 증가 정도가 크기 때문에 정부의 여러 조치에도 불구하고 국내 생산 쌀의 가격하락, 재고량 증가와 같은 문제점이 발생하고 있다. 정부 및 식품업계는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 쌀 가공품 개발을 활발하게 진행하고 있다.

벼는 탈곡과정을 통하여 왕겨(20%)와 현미(80%)로 분리되며, 현미는 다시 도정과정을 통하여 백미(배유, 92%)와 부산물(미강 6%, 배 2%)로 분리된다. 백미는 구성성분이 대부분 탄수화물로 이루어져있기 때문에 섭취 정도에 따라서 영양 불균형을 유발할 가능성이 있다. 그러나 현미는 백미의 배유뿐만 아니라 배와 미강을 포함하고 있기 때문에 백미에 비해서 단백질, 지방, 식이섬유 및 다양한 미량성분들을 많이 함유하고 있기에 영양적 가치가 높다(3). 최근에는 현미를 발아하여 건강 기능성 성분을 새롭게 형성하거나 기존 성분의 함량을 변화시키고 식감을 향상시킨 제품들이 시중에 소개되고 있다.

발아(germination)는 뿌리(radicle)가 씨앗(seed)에서 나오는 것으로 과정으로 정의할 수 있다. Monogaki 등(4)은 발아 중 일어나는 여러 현상에 대해서 Fig 1과 같이 보고했다. 휴면에 있던 씨앗은 1기(phase I)에 충분한 양의 수분을 흡수하며, 2기(phase II)에 뿌리가 나오기 시작하며 3기(phase III)에 이르러 세포확장과 분열을 통하여 뿌리가 성장한다. 현미의 발아가 가공방법으로 관심을

*Corresponding author: Seug-Taik Lim
Department of Food Bioscience and Technology, Korea University
5-1 Anam-dong, Sungbuk-ku, Seoul 136-701, Korea
Tel: +82-2-3290-3435
Fax: +82-2-921-0557
e-mail: limst@korea.ac.kr

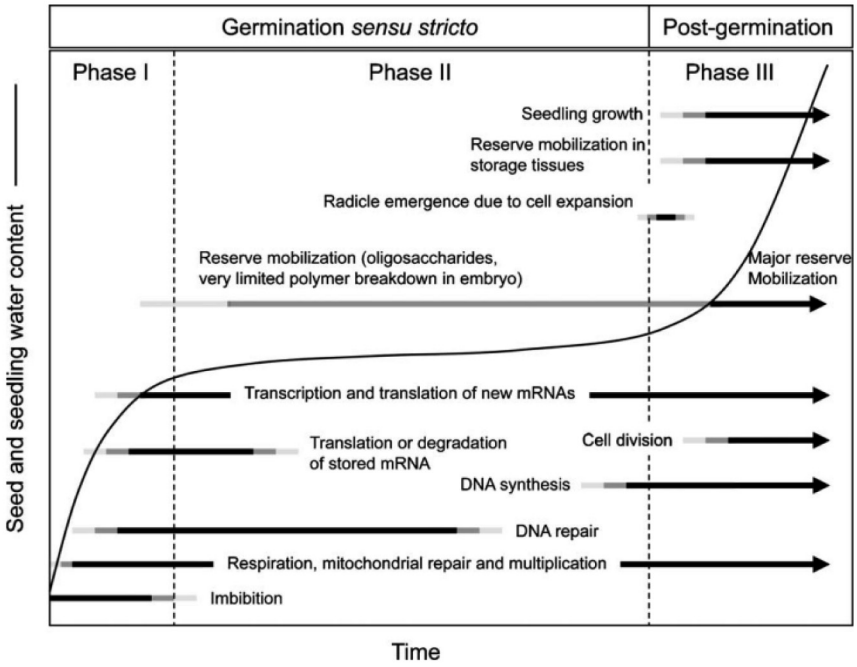


Fig 1. Time course of physical and metabolic events occurring during germination (Phases I and II) and early seedling growth (Phase III) [4]

받는 이유는 발아를 통하여 각종 생리활성 물질 함량이 증가하며 발아라는 가공방법이 가지는 저비용, 간편성, 친환경성의 장점이 있기 때문이다. 현미가 뛰어난 영양성과 생리활성을 가지고 있음에도 주식으로 이용되지 못하는 것은 백미와 상이한 가수 속도(5)와 거친 조직감(6) 때문이다. 그러나 발아현미는 간편하게 취사될 수 있으며 부드러운 조직감으로 식미 및 기호도가 높다는 장점이 있기 때문에 주식으로 현미보다 우수하며 다양한 가공식품의 소재로 활용되고 있다(7).

## II. 발아조건에 따른 발아 현미의 생산

발아에 필요한 조건은 적당한 온도, 습도, pH 등을 의미한다. 발아현미를 제조할 때 발아 조건이 중요한 이유는 (1) 발아조건이 일반 미생물의 성장조건과 유사하며 (2) 발아현미의 상업적 이용을 위해서는 발아시간이 짧아야 하며 (3) 발아율이 균일하지 못할 경우 미발아 현미가 발아현미와 혼합되어 품질이 균일하지 못하여 상업적 이용이 힘들어지기 때문이다. 현미의 발아에서 적당한 발아온도는 25~30℃, 습도는 90%이상으로 알려져 있다. 만약 습도가 90%이하가 되면 현미의 수분함량이 발아를 개시하기에 충분하지 않으며, 저온에서는 질소흡수가 방해되기 때문에 발아속도가 매우 느려진다(8). 식용을 목적으로 하는 현미의 발아는 경작을 위한 벼의 발아와 같이 소독제를 이용할 수 없기 때문에 미생물 성장과 발효가능성이 높아지고 발아취가 심해지게 된다. 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 방법은 발아 중 일정시간마다 살수를 해주는 것이다. Suzuki 등(9)은 발아수와 현미의 미생물을 사멸하는 방법으로 carbon-hollow fiber filter, sodium hypochlorite 용액, ultraviolet irradiation을 이용하는 것이 효과적이라고 보고한 바 있다.

Capanzana 등(10)은 고아밀로스 현미의 발아에서 발아 및 침지 시간과 온도가 현미의 이화학적 성분변화에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과 침지온도가 25℃, 침지시간은 24시간, 발아온도는 30℃, 발아기간은 3일이 최적의 조건이라 보고하였다. 김(3) 등은 현미의 발아 이전에 침지시키는 것이 무침지에 비해서 초기 발아율이 약 2~3%증가한다고 보고하였다. 조(11)는 침지시간이 24시간까지 증가함에 따라 발아율이 증가한다고 보고하였으며 36시간 이상 침지할 경우 현미 내 전분의 용출, 부패 및

Table 1. Germination ratio(%) of the brown rice at different germination time(Steeping at 30℃ for 24hr, germinating at 30℃) [11]

| Sprout length(mm) | Germination time(h) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 48 |
| None | 15.54 | 6.35 | 9.09 | 6.67 | 8.39 | 7.30 |
| 0-1 | 56.76 | 43.65 | 37.12 | 31.85 | 23.07 | 7.30 |
| 1-2 | 20.27 | 26.19 | 28.79 | 27.41 | 22.38 | 9.49 |
| 2-3 | 6.76 | 18.25 | 15.91 | 16.33 | 17.48 | 8.76 |
| 3-4 | 0.68 | 2.38 | 3.79 | 8.15 | 13.99 | 17.52 |
| 4-5 | | 3.17 | 4.55 | 6.67 | 9.09 | 16.06 |
| 5-6 | | | 0.76 | 1.48 | 3.50 | 14.60 |
| 6-7 | | | | 1.48 | 0.70 | 8.03 |
| 7-8 | | | | | 1.40 | 8.76 |
| 8-9 | | | | | | 2.19 |
| % of germination | 84.46 | 93.65 | 90.91 | 93.33 | 91.61 | 92.70 |

발효현상이 나타난다고 보고하였다. Palmiano와 Juliano(12) 역시 최적의 침지 조건을 18~24시간 사이로 보고하였으며, Takahashi(13)는 18시간을 최적의 발아조건으로 보고하였다. 임 등(14)은 전기자극과 전기장처리는 현미의 발아율과 성장률을 10~20%증가시킨다고 보고하였다. 식물의 발아율 증가는 종에 따라 차이가 있지만 전기장 처리 외에도 자기장처리(15-19), 저선량 방사선처리(20-23)에 의해서도 가능하다고 보고되고 있다.

발아에 따른 현미의 초엽장의 길이는 발아 시간이 길어짐에 따라 꾸준히 증가하였다(11). 일반적으로 발아현미는 싹이 약 1~5mm정도 자란 현미를 말하며, 시중에서 판매중인 발아현미 쌀의 경우에는 대부분 싹의 길이가 2~4mm 사이인 것으로 알려져 있다. 조(11)의 연구에 의하면 싹의 길이를 기준으로 하면 30℃에서 48시간 동안 발아시킨 현미가 일반적인 발아현미의 제조조건에 가장 잘 부합되었다고 보고하였다(Table 1).

## III. 발아에 의한 전분분해효소 및 전분질 특성 변화

현미의 발아를 위해서는 에너지 대사가 필수적으로 선행되어야하는데, 발아를 위한 에너지는 현미의 90%정도를 차지하는 배유에 존재하는 전분질을 전분 분해효소가 분해함으로서 얻을 수 있다(24). 결과적으로 발아 과정에 따른 전분 분해효소의 활성이 증가하는 것은 필수적으로 일어나는 과정이다. Tanaka 등(25)은 현미의 발아 중 α-amylase와 당류의 변화를 조사하였으며, 그 결과 침지-발아초기에는 건조된 씨앗에 존재하는 sucrose를 에너지원으로 사용하며, 4일후부터 급격한 α-amylase 활성 증가와 함께 glucose, maltooligosaccharide, fructose가 형성되는 것을 관찰하였다. Radley 등(26)은 배에 존재하는 식물성장 호르몬인 gibberellin이 수분흡수와 함께 호분층으로 이동하여 이곳에서 α-amylase의 합성을 촉진하며, 이렇게 형성된 α-amylase는 배유로 이동하여 전분을 가수분해한다고 보고하였다. α-Amylase와는 대조적으로 β-amylase는 현미 배유에 이미 존재하고 있으며 발아 시작과 함께 활성화가 일어나며, 활성화 이후 발아 시간이 증가함에 따라 함량은 더욱 증가하였다(12). α-Amylase와 β-amylase의 활성은 발아함에 따라 증가하지만 α-amylase의 활성 증가는 발아초기에는 상당히 느리게 나타났다(Table 2). 이러한 α-amylase의 활성 증가는 전분의 함량을 감소시키고 유리당(free sugars)의 함량을 증가시키는 요인이 되며 특히 전분은 발아 5일과 7일 사이에서 급격한 감소가 관찰되며 7일 발아로 인해 전분의 양이 약 절반으로 줄어들었다고 보고된 바 있다(Table 2).

조(11)는 발아에 따른 현미의 전분 소화율에 대한 결과를 보고하였다. 발아 시간이 경과함에 따라 급속 소화성 전분(RDS, rapidly digestible starch)의 함량이 증가하며, 저항전분(RS, resistant starch)의 함량이 급격히 감소하였다. 발아에 의한 전분소화율의 증가는 다양한 전분 분해효소의 생성 및 활성증가에 기인한다. 발아에 의한 현미의 소화율 증가는 에너지 또는 당 공급이 많이 요구되는 환자, 노약자 또는 운동량이 많은 사람에게 매우 좋은

Table 2. Changes in ATP, dry weight, starch, free sugars, and amylase in germinated IR8 Grain [6]

| Days germinated | ATP (picomole) | Dry Wt(g) | Starch(g) | Free sugars(mg) | α-Amylase (△A540/hr) | β-Amylase ($\mu$moles Pi*10$^2$/hr) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.00 | 18.4 | 16.2 | 0.15 | 0.3 | 3.2 |
| 3 | 1.57 | 18.8 | 15.2 | 0.27 | 1.5 | 8 |
| 4 | 2.52 | 18.6 | 14.6 | 0.39 | 3.9 | 21 |
| 5 | 0.72 | 17.3 | 13.8 | 0.43 | 11.9 | 43 |
| 7 | 0.52 | 16.0 | 8.9 | 0.71 | 15.0 | 99 |

영양식이 될 수 있을 것으로 생각된다.

## IV. 발아현미의 생리활성 물질

발아현미의 생리활성 물질들은 혈압강하, 체중감소, 항비만, 콜레스테롤 저해 등의 효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. Miura 등(27)은 hepatoma-bearing rat에서 백미, 현미, 발아현미 식이의 효과를 연구하였는데, 발아현미 및 현미군이 백미군에 비해서 혈중 지방함량이 감소하였으며, 중성 스테롤류와 담즙산(bile acid)의 배변 분비량이 증가하는 것을 보고하였다. 최 등(28)은 고혈압쥐에게 백미, 현미, 발아현미를 투여한 결과, 각 군별로 식이섭취량에는 큰 변화가 없었지만 발아현미군에서 기타 처리군에서는 관찰할 수 없는 혈압강하 및 중성지질 농도 저하가 나타났다고 보고하였다. 또한 최 등(29)은 4주간의 발아 현미 섭취가 정상군과 비만군 모두의 체중, 혈당, 중성지방질, 총 콜레스테롤 함량을 유의적으로 감소시켰으며 고밀도 콜레스테롤 함량은 유의적으로 증가시켰다고 보고하였다.

### 1. 감마아미노낙산 (γ-aminobutyric acid, GABA)

감마아미노낙산(GABA)는 비단백계 구성 아미노산으로 뇌에서 신경전달물질(inhibitory neurotransmitter)로 알려져 있으며 녹차, 생강, 배추, 보리 등에 많은 양이 존재한다. GABA는 (1) 혈중 콜레스테롤, 중성지방의 증가 억제, (2) 혈당 상승 억제, (3) 항비만 작용, (4) 알콜대사 촉진 작용, (5) 감정 및 불안 장해 해소, (6) 뇌졸중 후유증 개선 작용, (7) 성장호르몬 분비 촉진 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(30).

GABA는 현미의 발아동안 가장 큰 함량 증가를 보이는 물질이며 발아현미에서 가장 주목받고 있는 물질 중 하나이다. 따라서 이에 대한 연구도 상당히 많이 진행되

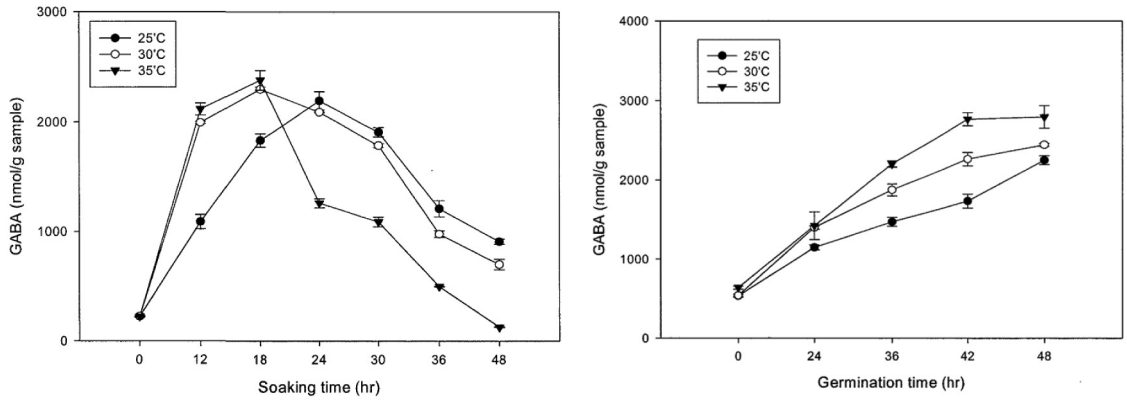


Fig 2. Effects of soaking and germination conditions on the accumulation of GAA in germinated brown rices (left: soaking, right: germination) [31]

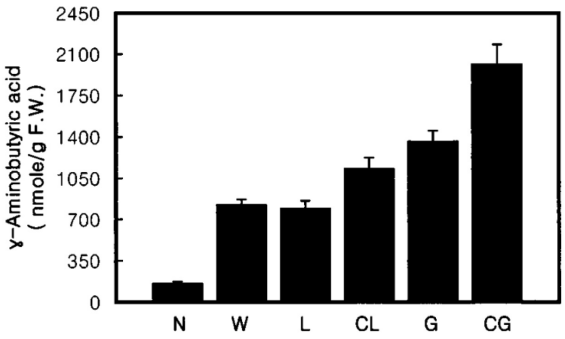


Fig. 3. Increased concentrations of GABA in chitosan/glutamic acid germinated brown rice. Brown rice was germinated in distilled water(W), lactic acid (L), chitosan/lactic acid (CL), in glutamic acid (G), and chitosan/glutamic aicd (CG) solutions [32]

었다. 이(31)는 GABA 생성 최적화를 위한 침지 및 발아에서의 온도와 시간의 영향관계, 품종별 발아에 따른 GABA 함량 변화에 대한 연구를 진행하였다. 침지온도와 시간에 따른 GABA 함량 변화에서 25℃에서 24시간 처리한 시료가, 30℃에서 18시간 처리한 시료가, 35℃에서 18시간 처리한 시료가 가장 높은 GABA 함량을 보였다(Fig 2). 발아온도가 증가함에 따라 GABA함량도 증가하였으며 발아시간이 48시간까지는 시간이 증가함에 따라 GABA 함량도 증가하였다. 여러 품종별 발아에 따른 GABA 함량 변화 연구에서는 모두 발아 전 시료에 비해서 10배 이상 GABA 함량이 증가하였으며 특히 아밀로즈의 함량이 높은 고아미 품종은 발아에 의해 GABA함량이 20배 이상 증가하였다. 침지액 조성 변화에 따른 발아현미의 GABA함량 변화에 대한 연구도 진행되었다. 오(32)는 침지 온도와 시간을 25℃, 72시간으로 고정하고 침지액의 조성(증류수, 5mM 젖산, 50ppm 키토산/ 5mM 젖산, 5mM 글루탐산, 50ppm 키토산/ 5mM 글루탐산)에 따른 발아현미의 GABA 함량 변화를 조사한 결과 키토산과 글루탐산이 함께 처리된 발아현미의 GABA함량은 일반 현미보다 약 13배, 증류수에서 발아된 현미보다 2.5배 높은 것을 관찰할 수 있었다(Fig 3). 또한 침지 혹은 발아액에 한약재 추출물을 첨가하여 GABA 함량을 증진시키는 연구(33)도 이루어졌으며, 오미자 5% 추출물을 발아수로 이용했을 경우 대조군에 비해서 약 2.1배 GABA 함량이 증가하였다.

## 2. 감마오리자놀(Gamma-Oryzanol)

감마오리자놀은 처음에는 단일 물질로 여겨졌으나 Δ 7-stigmastenyl ferulate, stigmasteryl ferulate, cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartanyl ferulate, Δ 7-campestenyl ferulate, campesteryl ferulate, Δ 7-sitostenyl ferulate, sitosteryl ferulate, compestanyl ferulate, and sitostanyl ferulate 등의 10개 화합물이 혼합되어 있는 것으로 밝혀졌다. 현미 미강에 존재하는 감마오리자놀은 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartanyl ferulate, campesteryl ferulate이 80%이상을 차지한다고 보고된 바 있다(34). 감마오리자놀은 콜레스테롤 저해효과(35-37), 항산화 효과(38-40), 지질저해효과 등이 있는 것으로 보고되고 있다. Xu 등(34)은 감마오리자놀의 주요 화합물인 cycloartenyl ferulate, 24-methylenecycloartanyl ferulate, campesteryl ferulate가 linoleicd acid와 1:100, 1:250의 비율로 혼합되어있을 때 강한 항산화 작용을 보인다고 보고하였다. Xu 등(40)은 현미 미강에서 추출한 감마오리자놀을 이용한 콜레스테롤 산화 실험에서 24-methylenecycloartanyl ferulate가 다른 감마오리자놀 성분에 비해 항산화 효과가 뛰어났고, 모든 감마오리자놀이 비타민 E보다 항산화 능력이 뛰어났다고 보고하였다. Wilson 등(41)은 햄스터를 이용한 실험에서 감마오리자놀의 저지혈(hypolipidemic)효과가 있는 것을 관찰하였는데, 2주간 실험동물에게 chow-based hypercholesterolemic diet(HCD)를 행한 후, 대조군과 실험군에 10주간 각각 HCD, HCD+0.5% 감마오리자놀 식이를 하도록 하며 관찰한 결과, 실험군의 중성지방질과 very low-, low-density lipoprotein이 대조군에 비해 각각 70%, 77%감소한 것으로 관찰되었다.

감마오리자놀은 현미가 발아함에 따라 크게 증가하는 것은 아니라고 알려져 있으나 일부 보고에서는 발아에 의해 증가한다고 보고되고 있다. Lee 등(42)은 일품, 고아미, 큰눈, 흑광벼의 침지 전후에 따른 감마오리자놀의 변화를 관찰하였는데, 일품, 고아미, 큰눈, 흑광벼의 발아전 함량은 각각 4.81, 5.81, 4.85, 3.48mg/g 이었으나 발아 후 감마오리자놀의 함량은 각각 5.55, 6.54, 7,36, 6,56mg/g으로 큰눈과 흑광벼만 유의적인 증가를 관찰할 수 있었다. Ohtsubo 등(6)은 고시히카리를 30℃, 72시간 침지시킨 실험결과, 감마오리자놀 함량은 현미와 발아현미가 백미에 비해 약 8배 높았으며, 발아에 따른 함량변

화는 유의적인 차이가 없다는 보고했다. 추후 감마오리자놀의 생성 기작 및 발아에 의한 함량변화에 관한 연구가 진행될 필요가 있다.

## 3. 식이 섬유(Dietary fiber)

식이섬유는 식품 탄수화물 중 인체에서 분해 또는 소화흡수가 불가능한 탄수화물 집합으로 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴, 검류, 저항전분, 이눌린 등을 포함하고 있다. 식이섬유는 용해도에 따라 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber)와 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber)로 나뉘며, 수용성 식이섬유에는 펙틴질, 검류, mucilage, 일부의 헤미셀룰로오스가 포함되며, 불용성 식이섬유에는 셀룰로스, 저항전분, 일부의 헤미셀룰로오스, 리그닌등을 포함한다(43). 식이섬유를 물에 대한 용해도로 나누는 이유는 이에 따른 장관내에서의 기능이 서로 다르기 때문이다. 수용성 식이섬유는 장내 점성을 높이고 혈당지수와 혈액내 콜레스테롤 수치를 낮게 해주며, 불용성 식이섬유은 변의 부피를 증가시키며 장내 음식물의 이동을 늦추고 포만감을 주고 장의 운동성을 향상시킨다(44). 이외에도 식이섬유는 관상동맥 질환 예방 및 치료(45), 고혈압(46), 당뇨(47)에 효과가 있는 것으로 보고된다.

현미 내 식이 섬유의 함량은 발아함에 따라 일반적으로는 증가하는 것으로 알려져 있다. Lee 등(42)은 3일 동안 발아시킨 벼가 일반 벼보다 식이섬유 함량이 유의적으로 증가했다고 보고했으며, 증가량은 현미 품종에 따라 큰 차이가 있었지만 흑광벼는 식이섬유함량이 13.2%에서 25.3%로 증가하였다. Ohtsubo 등(6)은 30℃에서 72시간 침지시킨 고시히카리 현미의 식이섬유 함량은 4.2g/100g으로, 동일 품종의 백미(0.6g/100g), 현미(2.9g/100g)에 비해서 각각 약 7.0, 1.5배정도 함량이 높아진 것으로 관찰되었다. 이와는 대조적으로 Moongngarm 등(48)은 30℃에서 12시간 침지 후 72시간 발아시킨 현미의 식이섬유 함량(1.22%)이 발아전 현미의 식이섬유 함량(1.13%)과 유의적인 차이가 없다고 보고하였다. 김 등(3)은 24시간 침지 후 25℃에서 4~8일 동안 발아시킨 일품 및 다산품종 현미의 식이섬유 함량을 조사한 결과, 발아 4~5일동안 유지되던 식이섬유함량(약 1.7%)은 6일째부터는 다시 감소하는 것(1.2%)으로 보고하였다.

## 4. 기타 생리활성물질들

**올리고당**은 유익한 장내 비피더스균의 선택적 성장을 도우는 prebiotic의 일종으로 무기질의 흡수율을 높여주며 항암효과와 함께 혈중 콜레스테롤 농도와 혈당치를 감소시켜주는 효과가 있는 것으로 알려져 있다(49, 50). Saman 등(51)은 발아현미와 발아현미를 당화시킨 시럽에 존재하는 올리고당류(panose, isomaltotriose, isomaltose)의 함량 변화를 관찰하였다. 이들 올리고당은 발아 5일까지 꾸준히 증가한 후 점차 감소하는 경향을 보였다. 발아 및 당화에 따른 올리고당의 증가는 쌀을 당화시켜 만드는 식혜와 같은 전통식품의 기능성 첨가 및 응용에 매우 유용할 것이라 생각된다.

**스쿠알렌(Squalene hexamethyltetracosahexane)**은 탄소 30개, 수소 50개, 이중결합 6개를 가진 polyunsaturated triterpene로 콜레스테롤이나 다른 스테로이드의 생합성 전구체 작용한다. 올리브, 상어의 간유, 밀의 배(wheat germ), 쌀의 미강에 다량 함유되어있는 것으로 알려져 있다(52). 또한 사람의 피부, 복부지방조직. 피하지방조직, 림프절, 췌장 및 심근 등에 다량 분포되어있으며 유해 산소 제거능, 혈관확장, 동맥경화 억제, 항암효과, 세포 면역 반응 조절 등의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(53).

**Phytosterol**은 식물에 존재하는 스테로이드 화합물로 동물에 존재하는 콜레스테롤과는 구조적인 차이를 가지고 있다. 일반적으로 콜레스테롤은 side chain에 8개의 탄소를 가지는 반면, 대부분의 phytosterol은 9~10개의 탄소를 가지고 있다. Bean(54)은 식물에는 44개의 스테롤이 존재한다고 하였으며, 이들 중에서 주요한 세가지 phytosterol에는 β-sitosterol(24α-ethylcholesterol), campesterol(24α-methylcholesterol), stigmasterol(△22, 24α-ethylcholesterol)가 있다고 하였다. Phytosterol은 저밀도 lipoprotein cholesterol 저해효과(55), 뇌졸중 예방(56) 등의 효과를 가지고 있는 것으로 보고되고 있으며 최근에는 영양제, 기능성 식품 원료, 화장품 원료로 자주 사용되고 있다. 정 등(57)은 일반현미, 찹쌀현미, 녹미, 적미, 흑미를 24시간 30℃에서 발아시킨 후에 발아 전/후 현미의 스쿠알렌, phytosterol 성분의 함량 변화를 관찰하였으며, 그 결과 스쿠알렌 함량에서는 찹쌀 발아현미가 발아 과정에 따라 약 31%증가한 것으로 관찰되었고 phytosterol 성분 중 stigmasterol의 함량은 모든 현미에서 발아에 따라 증가하는 것이 관찰되었다.

Table 3. Changes in vitamin E content of rough rice before(BG) and after(AG) germination [42]

| | | Tocopherol(mg/100g) | | | Toctrienol(mg/100g) | | α-Tocopherol equivalent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | α | β | γ | α | γ | |
| Ilpum | BG | 0.14±0.10 | 0.05±0.07 | 3.19±0.01 | 0.13±0.02 | 0.03±0.01 | 0.38±0.04 |
| | AG | 0.64±0.01 | 0.06±0.07 | 3.12±0.04 | 0.96±0.05 | 0.39±0.16 | 1.95±0.04 |
| Goami | BG | 0.46±0.04 | 0.27±0.02 | 3.58±0.01 | 0.66±0.36 | 0.03±0.02 | 1.41±0.51 |
| | AG | 0.66±0.03 | 0.48±0.04 | 3.16±0.04 | 1.23±0.69 | 0.57±0.04 | 1.48±0.50 |
| Keunnun | BG | 0.56±0.04 | - | 1.02±0.11 | 0.16±0.09 | 0.04±0.38 | 0.52±0.02 |
| | AG | 0.75±0.04 | - | 0.67±0.03 | 0.28±0.14 | 0.06±0.62 | 1.27±0.02 |
| Heugkwang | BG | 0.48±0.02 | 0.04±0.07 | 2.97±1.51 | 0.58±0.02 | 0.34±0.03 | 0.97±0.25 |
| | AG | 0.72±0.02 | 0.18±0.02 | 2.95±1.54 | 1.09±0.07 | 0.46±0.05 | 1.43±0.12 |

**Policosanol**은 긴 사슬(20-36 탄소) aliphatic primary alcohol의 혼합물을 의미하는 물질로 docosanol(C22), tetracosanol(C24), hexacosanol(C26), octacosanol(C28), triacontanol(C30) 등이 이에 속한다. policosanol은 밀납(beeswax), 사탕수수, 밀의 배, 호밀의 줄기, 현미의 미강에 다량 존재하며, 혈소판 응집 감소(58, 59), 혈중 콜레스테롤/지질 감소(60, 61), 운동 능력 향상(62)의 기능성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다. 조(11)는 30℃에서 24시간 침지한 후 30℃에서 48시간 발아한 현미의 옥타코사놀(octacosanol)의 함량 변화를 조사한 결과 일반현미와 발아현미의 옥타코사놀 함량은 각각 1.1mg/100g, 2.35mg/100g이였으며 일반현미보다 발아현미의 옥타코사놀 함량이 약 2배 증가하였다고 보고하였다.

**비타민 E**는 항산화효과(63), 관상동맥/심장 질환 예방(64), 콜레스테롤 감소 효과(65), 항암효과(66) 등의 다양한 생리활성을 가지고 있다고 보고되고 있다. 벼의 품종에 따라 비타민 E의 발아에 따라 함량 변화에는 차이가 있지만 일품벼의 경우에는 발아에 의해 α-tocopherol과 α-toctrienol의 함량이 유의적으로 증가했으며 고아미는 α, β-tocopherol과 α, γ-toctrienol의 함량이 유의적으로 증가했으며, 흑광벼는 α, β-tocopherol과 α-toctrienol의 함량이 유의적으로 증가하였다(Table 3).

## V. 발아현미 가공품 개발 현황

현재 국내에서 수행되고 있는 쌀 소비 증진 제품 연구는 대부분 기존에 사용되고 있는 밀을 대체하는 원료로서 활용하는 연구에 모아지고 있다. 이는 밀이나 호밀과 같은 곡류에 함유되어있는 글루텐이 소장에서 아연, 철분 등의 흡수를 방해하여, 체중 증감, 빈혈 등의 증상을 보이는 셀리악병(글루텐 과민 증후군)을 유발할 수 있기 때문이다. 또한 국내 소비자들은 밀보다는 국내에서 생산된 쌀이 건강에 더욱 좋다는 인식을 가지고 있으며 이 때문에 쌀을 원료로 만들어진 제품이 밀을 원료로 만들어진 제품보다 더 고급이라는 인식을 가진 소비자들이 많기 때문이다. 또한 2000년대에 들어와서 하나의 사회적 트렌드로 자리매김한 웰빙(well-being)과 함께 건강기능성 식품의 시장규모는 점점 커지고 있다. 발아현미는 여러 기능성 성분들을 다량 함유하고 있으며 백미를 대신할 주식으로, 혹은 다양한 곡식과 혼합된 혼합곡의 형태로 섭취하고 있는 가정이 늘고 있다. 따라서 쌀 소비 촉진을 위해서는 발아현미를 이용한 제품 개발 및 제품화가 필수적이다. 현재 국내에서 곡류로 판매되는 발아현미 곡립제품을 제외한 2차 가공식품 중 발아현미를 원료로 사용하는 식품으로는 즉석 취반밥, 식빵, 미숫가루, 시리얼, 누룽지, 죽, 차, 식혜 등이 판매되고 있다(Table 4).

### l. 식빵

제빵에서 주원료인 밀 중 일부분을 발아현미 혹은 현미로 대체하는 연구는 일본과 한국에서 진행되고 있다(67-70). 발아현미를 첨가할 경우, 순수 밀 식빵에 비해서 비타민, 무기질뿐만 아니라 GABA, 감마오리자놀, 피틴산(phytic acid) 등 기능성 성분이 다량 함유되어있다는 장점이 있다. 강 등(71)은 현미 쌀빵의 성형성, 비용성, 제빵 가공성이 백미 쌀빵보다 뛰어나며, 이는 쌀겨에 함유되어있는 여러 복합 다당류의 상호작용에 의한 것이라 설명했다. Michiyo 등(67)은 현미보다는 발아현미의 첨가

Table 4. Processed foods containing germinated brown rice

| 구분 | 제조사 및 제품명 |
|---|---|
| 즉석 취반밥 | CJ 햇반 |
| | 동원 쎈쿡 |
| | 오뚜기 발아현미밥 |
| 식빵 | 연화식품 발아현미 통밀식빵 |
| | 한농마을 유기농 발아현미 식빵 |
| | 이팜 발아현미통밀 롤빵 |
| 미숫가루 | 행복우리식품 발아현미 미숫가루 |
| | 이팜 유기농발아미숫가루 |
| | 청오건강 ORGA 유기농발아현미미숫가루 |
| 시리얼 | 웅진식품 아침햇살 시리얼 곡물과채, 현미칠곡 |
| 누룽지 | 신동광제과 유기농 발아현미 누룽지 |
| | 이팜 유기농 발아현미 누룽지 |
| 죽 | 주식회사 홍진경 발아현미 더죽 |
| 차 | 보원식품 유기농발아현미차 |
| | 황토참손 발아현미차 |
| | 한국유기공사 유기발아현미차 |
| | 청오건강 ORGA유기농발아현미차 |
| | 담원 발아현미누룽지차 |
| | 초록마을 유기농우리아이입안애발아현미차 |
| | 정우당 발아현미차 |
| | 담터 발아현미 쑥차 |
| | 식혜 |
| | 해오름식품 발아현미식혜 |
| 우유 | 부산우유 몸에 좋은 발아현미 우유 |

가 빵의 반죽(dough)의 품질을 증가시키며 노화(retrogradation)현상이 억제된다고 보고하였다. 대부분의 연구에서 쌀빵의 관능적 요소를 생각한 최적의 쌀 혼입비율은 15~30%정도였으며, 그 이상을 혼입할 경우 빵이 외형을 유지하지 못하고 허물어진다고 보고하였다. Fig 4는 밀가루로 만들어진 식빵과 10~30% 발아현미분이 첨가된 식빵의 부피 및 외관 차이를 나타낸 것으로 발아현미 가루 첨가량이 증가할수록 식빵의 부피가 감소하였다. 최(70)은 100% 밀가루 빵과 발아현미분을 10~50% 혼합하여 제조한 식빵에 대한 관능검사를 수행했으며 그 결과 빵의 색상은 발아현미분의 첨가량이 많아질수록 대조군에 비해 기호도가 낮아지는 것으로 나타났지만, 빵의 향은 발아현미분의 첨가량이 많아질수록 기호도가 높아지는 것으로 보고하였다. 또한 입안에서의 느낌은 발아현미분을 첨가한 빵이 대조군에 비하여 감촉이 더 부드럽지 못하여 기호도가 낮았지만 전체적인 선호도는 발아현미분의 첨가로 인해서 느껴지는 고유의 고소한 맛과 향 때문에 발아현미분의 첨가량이 많아질수록 높았다고 보고하였다.

## 2. 식혜

식혜는 한국 전통음료의 하나로 백미 중의 전분을 엿기름으로 당화시킨 음료이다. 또한 식혜는 한국인 기호에는 적합하지만 영양학적으로는 당류 및 열량원의 가치만을 가지고 있기 때문에 섬유질, 비타민, 미네랄, 단백질과 같은 기능성을 가진 식혜 제품의 개발 및 보급이 필요하다(72). 이 등(73)은 백미의 당도가 식혜제조 초반에는 현미 및 발아현미에 비해서 높았지만 당화 5시간이후에는 백미, 현미, 발아현미 사이의 차이를 관찰할 수 없었으며, 관능평가에서 현미 및 발아현미 식혜가 백미 식혜에 비해서 밥알의 조직감은 떨어졌지만 향기의 강도가 더 높았다고 보고하였다.

## 3. 면류

글루텐은 빵이나 국수 등의 형태 유지에 매우 중요한 단백질로 제품의 외형이나 조직감에 큰 영양을 준다. 쌀은 글루텐이 존재하지 않아서 글루텐 과민 증후군을 가진 사람이 섭취하기에 밀보다 좋다는 장점을 가지고 있다. 하지만 쌀은 글루텐에 의한 전분의 네트워크 구조형성이 불가능하기 때문에, 가공품의 질, 향, 촉감이 밀과는 상이하

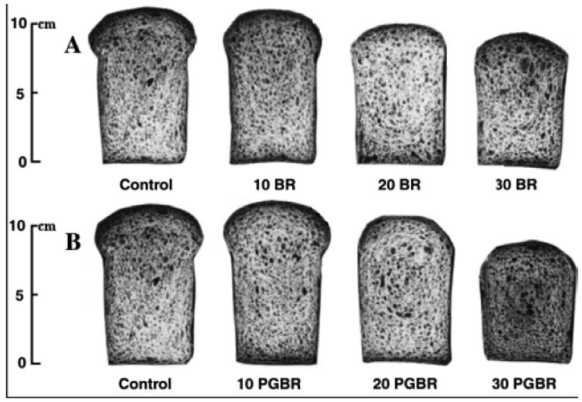


Fig 4. Cross-sectional views of bread containing brown rice and pre-germinated brown rice flours [67]

다는 단점이 있다(74). Lee 등(75)은 유색미 가루와 일반 현미가루를 10~30% 대체할 경우, 용출량 및 퍼짐성이 증가하기 때문에 국수의 품질이 저해된다고 보고하였다. 공 등(76)은 발아 현미가루 첨가(5~15%첨가)에 따른 국수의 제면, 조리 특성을 조사한 결과, 발아 전후 현미가루를 첨가한 국수 모두에서 100% 밀가루를 사용한 국수에 비해서는 용출량은 약간 증가하였지만 수분 결합력은 큰 차이를 보이지 않는다고 보고하였다. 또한 조(77)는 발아 후 heat-moisture treatment(17% M.C., 100℃, 4hr)한 현미가루의 제면(50% w/w 밀가루) 특성을 조사하였으며, 발아현미국수(50% w/w 밀가루)군에 비해서 발아 후 heat-moisture treatment한 현미국수군(50% w/w 밀가루이 경도와 씹힘성의 증가, 용출량과 수분흡수량의 감소와 같은 긍정적인 효과를 보았다고 보고하였다. 이와 같은 물리적 처리를 이용한 발아현미가루의 물성 향상은 화학적 처리법에 의한 물성 향상에 비해서 효과가 적다는 단점이 있지만, 인체 내 무해하고 소비자 인식이 좋다는 장점이 있기 때문에 앞으로 많은 이용이 기대된다.

식빵, 식혜, 면류 외에도 발아현미를 활용한 다식, 백설기, 쿠키, 식초, 주류에 대한 제품 개발 연구가 소개되고 있다. 또한 일본에서는 발아현미를 이용한 스프, 주먹밥, 떡, 된장(미소), 곤약, 식초 등이 이미 시판되고 있다.

2004년 자료에 따르면 국내 쌀 시장규모는 약 11조원으로 추정되며, 이중에서 발아현미 시장은 약 500억 규모로 추정되며, 전체 발아현미 시장은 전체 쌀 시장에서 약 0.45%를 차지하고 있을 뿐이다. 발아현미를 이용한 가공식품시장의 규모는 정확히 알 수 없지만 국내 전체 쌀 생산량의 약 5%만이 가공식품으로 이용된다는 것을 생각하면 발아현미 2차가공식품의 시장이 얼마나 영세한지를 알 수 있다. 쌀 소비를 촉진하는 방안이 단순히 밀을 대체하는 목적에 맞추어져 있는 현 상황에서 발아현미를 활용한 가공식품의 개발은 쌀을 고부가 건강 기능성 소재로 전환하여 소비하는 바람직한 방안으로 적극 장려되어야 할 것이다. 특히 빠르게 서구화 및 핵가족화가 진행되고 있는 현대 사회에서, 여성의 사회진출과 삶의 질 향상, 소가족화로 인해서 소비되는 가공식품은 간편하고 빠르게 소비될 수 있어야 한다. 발아현미 가공식품은 이와 같은 사회 트렌드에 부합할 수 있어야하며, 기존 소비자의 입맛에 적합해야 할 것이다.

## VI. 결론

발아현미는 다양한 건강 기능성 성분을 함유하고 있으며 꾸준히 섭취할 경우 콜레스테롤 저하, 혈압강하, 항비만등에 효과가 있다. 또한 발아에 의해 현미의 식감을 향상시켜 주식으로 이용하기 용이한 상태로 바꿔주며 소화흡수가 촉진되는 효과가 있다. 하지만 아직까지 발아현미를 온전히 주식으로 이용하기보다는 백미나 기타 곡식과 혼합하여 섭취하는 경우가 대부분이며, 백미에 익숙해져 있는 대부분의 사람들이 발아현미만을 주식으로 이용하는데 다소 시간이 필요하다. 따라서 현재로서는 발아현미의 소비를 증가시키기 위해서는 2차 가공식품의 원료로서 시장을 확대시키는 것이 적절하다. 이를 위해서는 발아현미의 건강 기능성을 충분히 활용하여, 최근의 가공식품 트렌드에 적합한 제품으로 개발하는 것이 바람직하다. 마지막으로 발아현미를 활용한 가공식품의 성공적인 개발을 위해서는 정부, 기업체, 연구소 및 대학의 긴밀한 상호 협조 관계를 유지하며 지속적인 지원 및 노력이 필요할 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 2008년도 정부(교육과학기술부) 한국연구재단의 기초과학연구사업(No. 2008-0060892)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. International Rice Research Institute. Rough rice production, by country and geographical region-FAO. Available form: http://beta.irri.org. Accessed Mar. 10, 2011.
2. 통계청. 주요 농산물 1인당 소비량 추이. Available form: http://www.index.go.kr. Accessed Mar. 10, 2011.
3. 김선린, 손영구, 손중록. 발아조건 및 건조방법이 발아현미의 이화학적 특성에 미치는 영향. 한국작물학회. 46: 221-228 (2001)
4. Nonogaki H, Bassel GW., Bewley JD. Germination-still a mystery. Plant Sci. 179: 574-581 (2010)
5. 김광중, 변유량, 최형택. 아끼바레와 밀양 23호 현미의 수화속도. 한국식품과학회지. 16: 457-462 (1984)
6. Ohtsubo K, Suzuki K, Yasui Y, Kasumi T. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. Journal of Food Composition and Analysis. 18: 303-316 (2005)
7. 금준석, 최봉규, 이현유. 발아시킨 현미의 품질 특성. 한국식품저장유통학회지. 11: 182-188 (2004)

8. David AV Dendy. Cereals and cereal products(Chemistry and Technology). pp. 276. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, LD, USA (2001)
9. Suzuki K, Maekawa T. Microorganisms control during processing of germinated brown rice. J. Soc. Agric. Struct. 30: 137-144 (1999)
10. Capanzana MV, Buckle KA. Optimisation of Germination Conditions by Response Surface Methodology of a High Amylose Rice(*Oryza sativa*) Cultivar. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 30: 155-163 (1997)
11. 조동화. *In vitro* digestibility and physicochemical properties of germinated brown rice after hydrothermal treatments. 석사과정, 고려대 대학원, 서울, 한국 (2010)
12. Palmiano EP, Juliano BO. Biochemical changes in the rice grain during germination. Plant Physiol. 49: 751-756 (1971)
13. Miyoshi K, Sato T, Takahashi N. Differences in the effects of dehusking during formation of seeds on the germination of seeds of indica and japonica rice (*Oryza sativa* L). Ann Bot-London. 77: 599-604 (1996)
14. 임기택, 김장호, 선우훈. 전류자극 및 전기장 처리가 현미 발아에 미치는 영향. 바이오시스템공학. 35: 100-107 (2010)
15. Carbonell MV, Martinez E, Amaya JM. Stimulation of germination in rice(*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. Electromagnetobiol. 19: 121-128 (2000)
16. Martinez E, Carbonell MV, Amaya JM. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley(*Hordeum vulagare*, L.). Electro-Magnetobiol. 19: 271-277 (2000)
17. Martinez E, Carbonell MV, Flórez M. Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat(*Triticum aestivum*, L.). Electromagn. Biol. Med. 21: 43-53 (2002)
18. Pietruszweski S. Effects of magnetic biostimulation of wheat seeds on germination, yield and proteins. Int. Agrophys. 10: 51-55 (1999)
19. Podlesni SP, Podlesna A. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. Int. Agrophys. 18: 65-71 (2004)
20. Charbaji T, Nabulsi I. Effect of low doses of gamma irradiation on *in vitro* growth of grapevine. Plant Cell Tissue Org Cult 57: 129-132 (1999)
21. Moussa RH. Gamma irradiation regulation of nitrate level in rocket(*Eruca vesicaria subsp. sativa*) plants. J. New. Seeds. 8 :91-101 (2006)
22. Melki M, Sallami D. Studies the effects of low dose of gamma rays on the behaviour of chickpea under various conditions. Pak J Biol. Sci. 11 :2326-2330 (2008)
23. Abifarin AO, Rutger JN. Effect of low gamma radiation exposures on rice seedling development. Environmental and Experimental Botany. 22: 285-291 (1982)
24. Iwaki K, Fuwa H. Purification and some properties of debranching enzyme of germinating rice endosperms. Agric. Biol. Chem. 45: 2683-2688 (1981)
25. Tanaka Y, Ito T, Akazawa T. Enzymic mechanism of starch breakdown in germinating rice seeds III. α-Amylase isozymes. Plant Physiol. 46: 650-654 (1970)
26. Radley M. Site of production of gibberellin-like substances in germinating barley embryos. Planta. 75: 164-171 (1967)
27. Miura D, Ito Y, Mizukuchi A, Kise M, Aoto H, Yagasaki K. Hypocholesterolemic action of pre-germinated brown rice in hepatoma-bearing rats. Life Sci. 79: 259-264 (2006)
28. 최희돈, 김윤숙, 최인욱. 발아현미의 본태성 고혈압쥐에 대한 혈압강하효과. 한국식품과학회지. 38: 448-451 (2006)
29. 최희돈, 김윤숙, 최인욱. 발아현미의 섭취에 의한 흰쥐의 비만 억제 및 콜레스테롤 저하효과. 한국식품과학회지. 38: 674-678 (2006)
30. 임상동, 김기성. GABA의 효능과 이용. 한국유기공기술과학회지. 27: 45-51 (2009)
31. 이준수. GABA 생성기작을 이용한 고기능성 발아현미 개발 및 소재화, 농촌진흥청, 수원, 한국. pp.18-21 (2010)
32. Oh SH, Stimulation of γ-aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. Journal of Biochemistry and Molecular Biology. 36: 319-325 (2003)
33. 전건욱, 이미영, 윤재민. 열처리와 한약재 추출물이 발아현미의 GABA 함량에 미치는 영향. 한국식품영양과학회지. 39: 154-158 (2010)
34. Xu Z, Godber JS, Xu Z. Antioxidant activities of major components of gamma-oryzanol from rice bran using a linolenic acid model. J. Am. oil Chem. Soc. 78: 465-469 (2001)
35. Sugano M, Tsuji E. Rice bran oil and cholesterol metabolism. J. Nutr. 127: 5215-5245 (1997)
36. Sasaki J, Takada Y, Handa K. Effects of gamma-oryzanol on serum lipids and apolipoproteins in dyslipidemic schizophrenics receiving major tranquilizers. Clin. Therap. 12: 263-268 (1990)
37. Lichtenstein AH, Ausman LM, Carrasco W. Rice bran oil consumption and plasma lipid levels in moderately hypercholesterolemic humans. Arterioscler Thromb. 14: 549-556 (1994)
38. Hiramitsu T, Armstrong D, Preventive effect of antioxidants on lipid peroxidation in the retina. Ophthalmic Res. 23: 196-203 (1991)
39. 조수현, 박범영, 김진형, 김용곤, 이종문, 안종남. 감마오리자놀이 리놀산 및 분쇄돈육의 항산화효과에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지, 48:587-594 (2006)
40. Xu Zhimin, Hua N, Godber JS. Antioxidant activities of tocopherols, tocotrinols, and gamma-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2,2'-azobias (2-methylpropionamidine) dihydrochloride. J. Agric. Food Chem. 49: 2077-2081 (2001)
41. Wilson TA, Nicolosi RJ, Woolfrey B, Kritchevsky D. RBO and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol ester accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters. Journal of Nutritional Biochemistry 18: 105-112 (2007)
42. Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. Changes in the chemical and functional compo-

nents of Korean rough rice before and after germination. Food Sci. Biotechnol. 16: 1006-1010 (2007)
43. Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C. Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation. technological functionality and commercial applications: A review. Food Chemistry. 124: 411-421 (2011)
44. Roehrig KL. The physiological effects of dietary fiber, Food Hydrocolloids. 2: 1-18 (1988)
45. Liu S, Stampfer MJ, Hu FB. Whole-grain consumption and risk of coronary heart disease: results from the Nurses. Health study. Am. J. Clin. Nutr. 70: 412-419 (1999)
46. Whelton SP, Hyre AD, Pedersen B, Yi Y, Whelton PK, He J. Effect of dietary fiber intake on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled clinical trials. J. Hyper-tens. 23: 475-481 (2005)
47. Montonen J, Knekt P, Jarvinen R, Aromaa A, Reunanen A. Whole-grain and fiber intake and the incidence of type 2 diabetes. Am. J. Clin. Nutr. 77: 622-629 (2003)
48. Moongngarm A, Saetung N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. Food Chemistry. 122: 782-788 (2010)
49. Parracho H, McCartney AL, Gibson GR. Probiotics and prebiotics in infant nutrition. Proc. Nutr. Soc. 66: 405-411 (2007)
50. Crittenden R, Playne MJ. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides, Trends Food Sci. Technol. 71: 353-361 (1996)
51. Saman P, Vázquez JA, Pandiella SS. Controlled germination to enhance the functional properties of rice. Process Biochemistry. 43: 1377-1382 (2008)
52. Reddy LH, Couvreur P. Squalene: A natural triterpene for use in disease management and therapy. Advanced Drug Delivery Reviews. 61: 1412-1426 (2009)
53. 최영복, 김영호, 이준행. Glycerol-유도 급성신부전에서 표피성장인자 발현 및 조직학적 변화에 관한 스쿠알렌의 효과. 한국전자현미경학회지. 34: 241-254 (2004)
54. Bean GA. Phytosterols. Adv. Lipid Res. 11: 193-218 (1973)
55. Vanstone CA, Raeini-Sarjaz M, Parsons WE, *et al*. Unesterified plant sterols and stanols lower LDL-cholesterol concentrations equivalently in hypercholesterolemic persons. Am. J. Clin. Nutr. 76: 1271-1278 (2002)
56. Ratnayake WMN, L'Abbe MR, Mueller R, *et al*. Vegetable oils high in phytosterols make erythrocytes less deformable and shorten life in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. J. Nutr. 130: 1166-1178 (2000)
57. 정혜영, 이동현, 백흠영. 현미 종류별 발아현미의 발아 전 후 생리활성 물질 함량의 변화. 한국작물학회지. 53: 37-43 (2008)
58. Arruzazabala ML, Carbajal D, Mas R, Garcia M, Fraga V. Effects of policosanol on platelet aggregation in rats. Thrombosis Research. 69: 321-327 (1993)
59. Carbajal D, Arruzazabala ML, Valdes S, Mas R. Effects of policosanol on platelet aggregation and serum levels of arachidonic acid metabolites in healthy volunteers. Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids. 58: 61-64 (1998)
60. Gouni-Berthold, Berthold HK. Policosanol: clinical pharmacology and therapeutic significance of a new lipid-lowering agent. American Heart Journal. 143: 356-365 (2002)
61. Kato S, Karino K, Hasegawa J, Nagasaki A, Eguchi M, Ichinose T. Octacosanol affects lipid metabolism in rats fed on a high fat diet. British Journal of Nutrition. 73: 433-442 (1995)
62. Shimura S, Hasegawa T, Takano S, Suzuki T. Studies on the effect of octacosanol on motor endurance in mice. Nutritional Reproduction International. 36: 1029-1038 (1987)
63. Kamal-Eldin A, Appelqvist LA. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. Lipids 31: 671-701 (1996)
64. Hodis HN, Mack WJ, LaBree L. Serial coronary angiographic evidence that antioxidant vitamin intake reduces progression of coronary artery atherosclerosis. JAMA 273: 1849-1854 (1995)
65. Pearce BC, Parker RA, Deason ME, Qureshi AA, Wright JJK. Hypocholesterolemic activity of synthetic and natural tocotrienols. J. Med. Chem. 35: 3595-3606 (1992)
66. Bostick RM, Potter JD, McKenzie DR, *et al*. Reduced risk of colon cancer with high intake of vitamin E: The Iowa Women's Health Study. Cancer Res. 53: 4230-4237 (1993)
67. Michiyo W, Tomoko M, Kikuichi T, Hiroshi K, Naofumi M. Application of pregerminated brown rice for breadmaking. Cereal Chemistry. 81: 450-455 (2004)
68. 김선경, 이승주, 윤장호. 활성 글루텐 및 검질 첨가에 따른 발아 현미 첨가 아루밀 식빵의 노화 특성. 동아시아식생활학회. 18: 384-390 (2008)
69. 주선종, 김기식, 윤향식. 호박이 첨가된 발아현미 식빵의 품질 특성. 한국식품저장유통학회지. 11: 503-507 (2004)
70. 최지호. 발아 현미분을 첨가한 식빵의 품질 특성. 한국조리과학회지. 17: 323-328 (2001)
71. 강미영, 최영희, 최해춘. 백미와 현미 쌀빵의 특성 비교. 한국조리과학회지. 12: 64-69 (1997)
72. 김석신, 이원종. 식혜원료로의 활용가능성 검토를 위한 발아미의 특성 조사. 한국식품과학회지. 29: 101-106 (1997)
73. 이원종, 김석신. 현미를 이용한 식혜의 제조. 한국식품과학학회지. 30: 146-150 (1998)
74. Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. Network formation in gluten-free bread with application of transgultaminase. Cereal Chemistry. 83: 28-36 (2006)
75. Lee WJ, *et al*. Quality characteristics and preparation of noodles from brown rice flour and colored rice flour. Korean Journal of Culinary research. 8: 267-278 (2002)
76. 공수현, 이준수. 발아현미 첨가에 따른 국수의 제조 특성과 GABA 함량 및 항산화 활성 변화. 한국식품영양과학회지. 39: 274-280 (2010)
77. 조아라. 발아현미의 밀가루 국수 및 쿠키 응용 연구. 석사과정, 고려대학교, 서울, 한국(2011)