

기능성 쌀 품종 발아현미의 취반 및 식감특성

조동화 · 박혜영 · 이석기 · 박지영 · 최혜선 · 우관식 · 김현주 · 심은영 · 안억근 · 오세관*
농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부

Cooking and textural properties of specialty germinated brown rices

Dong-Hwa Cho, Hye-Young Park, Seuk-Ki Lee, Jiyoung Park, Hye-Sun Choi, Koan-Sik Woo,
Hyun-Joo Kim, Eun-Yeong Sim, Eok-Keun Ahn, and Sea-Kwan Oh*

Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

Abstract Germination is a well-known economical technique that has been utilized to enhance the nutritional value of brown rice. Owing to its higher nutritive quality, germinated brown rice has received significant attention in the past decade. In this study, the physicochemical and cooking properties of specialty brown rice (SBR) were analyzed before and after germination. Germination enhanced cooking properties such as water absorption, expanded volume, and increased solid solubility of cooked SBR. The SBR texture measured using tensipresser, was significantly improved by germination. The hardness of cooked SBR was decreased by germination, but stickiness was increased. Pasting analysis of the SBR flours revealed a decrease in all viscosity values (peak viscosity, breakdown, setback, and final viscosity) after germination. However, the gelatinization temperature remains unchanged upon germination. Additionally, amylose content and amylopectin chain length distribution of SBR starch were slightly changed by germination. These results indicate that germination leads to a substantial improvement in the cooking properties and texture of SBR.

Keywords: germinated brown rice, specialty brown rice, physicochemical properties, cooking properties, starch characterization

서 론

최근 생활수준의 향상, 식습관의 서구화 및 다양화에 따라 밥 중심의 전통적 식품 소비 양상은 크게 변하였다. 한국의 1인당 연간 양곡 소비량은 1979년 135.6 kg이었지만, 소비량이 지속적으로 감소하여 2002년에는 87.0 kg, 2016년에는 61.9 kg에 불과하였다(1,2). 따라서 쌀 이용 확대 및 활용도 제고를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(3). 최근에는 쌀은 단순한 에너지 공급원으로 취급하기 보다는 다양한 기능성을 가진 식품소재로써 연구 및 제품개발이 이루어지고 있다. 최근에는 유색미, 거대배아미, 고아밀로스 쌀, 연질미 등 다양한 종류의 특수미가 개발되었다. 유색미는 미강층에 안토시아닌을 포함한 다양한 산화방지 활성 물질을 다량 함유하고 있다. 또한 거대배아미는 일반미와 비교하여 배아가 3배 이상 크기 때문에 쌀눈에 존재하는 감마-아미노뷰티르산(γ -aminobutyric acid, GABA), 감마오리자놀(γ -oryzanol) 등을 비롯하여 영양성분 및 기능성 성분 함량이 상대적으로 높다. 고아밀로스 쌀은 난소화성 전분 함량이 매우 높기 때문에 체내 소화속도가 느려 당뇨 및 비만환자 등 생활습관병 환자식의 재료로 적합한 것으로 알려져 있다(3).

벼는 제현과정을 거치면서 왕겨와 현미로 분리되며, 현미는 다시 도정과정을 통하여 미강(bran, 6%), 배(enbryo, 2%) 및 배유(endosperm, 92%)로 분리된다. 도정에 의해 미강과 배가 제거된 쌀을 백미(polished rice, white rice)라고 하며, 도정 정도에 따라 약간의 차이가 있지만 일반적으로 백미는 쌀의 배유 부분으로 정의할 수 있다. 한국과 일본을 포함한 다양한 국가에서 백미를 주식으로 이용하고 있다. 하지만 백미는 약 92%가 전분으로 구성되어 있으며, 단백질, 지방질, 비타민, 무기질 등의 함량이 현미보다 적다. 특히 식이섬유를 비롯한 다양한 기능성 성분은 배아가 아닌 미강과 배에 존재하기 때문에 현미가 백미에 비해서 영양적 가치가 높다. 하지만 현미는 영양적 가치가 높음에도 불구하고 백미보다 이용 빈도가 떨어지는데 이는 가수속도가 느리고 식감이 거칠어 밥용으로 이용하기 불편하기 때문이다(4).

발아는 적절한 환경에서 종자의 싹이 자라는 과정으로 정의할 수 있다. 발아 중 종자에서는 수분 흡수, 발아억제 물질의 분해 및 배출, 단백질 합성, DNA 및 미토콘드리아의 합성 및 수복, 효소 활성화 등의 다양한 현상이 일어난다(5). 발아현미는 적당한 수분-온도 조건에서 싹을 1-2 mm 톱눈 현미로 정의하며, 현미 싹이 0.5-1.0 mm 정도 돌출되어 있는 현미를 pre-germinated brown rice라고 정의하기도 한다(6). 발아에 의한 다양한 효소 및 대사 작용의 활성화는 고분자(전분, 단백질)의 저분자화 및 생리활성 물질의 합성을 유도한다(5). 억제성 신경전달물질로 혈압강하, 기억력 증진, 불면 등에 효과가 있는 것으로 잘 알려진 감마-아미노뷰티르산의 함량은 발아에 의해 약 10배 이상 증가한다(4). 이는 감마-아미노뷰티르산을 합성하는 글루탐산카복실기제거 효소(glutamate decarboxylase)가 발아과정에서 활성화되기 때문이다. 발아 동안 활성화된 가수분해효소는 전분질 및 섬유질을 분

*Corresponding author: Sea-Kwan Oh, Crop Post-harvest Technology Research Division, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea
Tel: +82-31-695-0610
Fax: +82-31-695-4085
E-mail: ohskwan@korea.kr
Received June 9, 2017; revised July 5, 2017;
accepted July 6, 2017

해하며, 이는 현미의 조직감을 부드럽게 하고 식미 기호도를 높인다(7). 따라서 발아는 곡류의 물성 및 기능성을 개선할 수 있는 경제적, 친환경적인 방법 중 하나이며, 발아현미는 현미와 비교하여 기능성, 안정성, 취반성, 식미기호도가 향상된 가공품으로 2000년대에 들어와서 소비자, 특히 생활습관병 환자의 관심을 받고 있다(5).

본 연구에서는 다양한 특수품종(고아미4호, 큰눈, 수원595호, 흑광) 현미 및 발아현미의 수분흡수율, 취반특성, 취반 후 식감, 호화 점도 및 전분 특성을 조사함으로써 특수품종 발아현미의 우수성 및 일반미 대체 가능성을 증명하고, 이를 국내산 쌀 소비 촉진을 위한 쌀 가공품 개발의 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에는 2015년 농촌진흥청 국립식량과학원에서 재배 및 수확된 벼 다섯 품종(삼광, 큰눈, 수원595호, 고아미4호, 흑광)이 사용되었으며, 2016년 3월 제현한 현미를 4°C에서 냉장 보관하며 실험에 사용하였다. 발아현미는 발아현미 가공전문업체인 (주)미실란에서 30°C, 24시간 조건에서 발아시킨 후 특수건조과정을 거쳐 제조되었으며 이를 실험에 사용하였다. 삼광벼는 최고품질 품종으로 밥맛이 우수한 품종이며, 큰눈벼는 배(embryo)가 일반미 보다 3배 이상 큰 거대배아미로서 GABA 함량이 많이 함유된 품종이고, 수원595호는 삼광벼와 큰눈벼를 교배하여 얻어진 후대로서 발아현미용으로 유망한 품종이다. 그리고 고아미4호는 아밀로스 함량이 높은 품종으로 철, 아연, 칼슘 등 미네랄 성분을 일반미(화성벼)보다 2-4배가량 많이 함유하고 있다. 흑광은 안토시아닌 함량이 높은 유색미의 대표적인 품종이다. 이화학적 분석을 위한 현미 및 발아현미 가루는 분쇄 후 100메시 체(pore size 150 µm)에 통과시켜서 일정 크기 이하의 분말을 얻었으며, 이때 체를 통과하지 않은 시료는 다시 분쇄 및 체로 치는 과정을 반복하였다.

수분흡수율

5품종의 현미 및 발아현미에 대한 수분흡수율 측정은 Medcalf와 Gilles(8)의 방법을 변형하여 실험에 사용하였다. 시료 1.0 g을 시험관에 넣은 다음, 증류수 25 mL을 가하고 항온 수조(10, 25°C)에 넣었다. 일정 시간(10, 20, 30, 60, 90, 120, 150분, 15시간) 후에 시료를 꺼내어 시료 표면의 수분을 제거하고 무게를 측정하였다. 시료의 수분흡수율을 다음의 식으로 계산되었다.

$$\text{수분흡수율(\%)} = \frac{\text{수침 후 시료의 무게(g)} - \text{수침 전 시료의 무게(g)}}{\text{수침 전 시료의 무게(g)}} \times 100$$

취반특성

현미 및 발아현미의 취반특성은 취반 후 수분흡수율, 부피팽창율 및 고형물 용출량으로 나타내었다. 시료 10 g을 20 mL 증류수가 들어있는 메스실린더에 넣은 후 부피증가량을 측정하고, 시료를 스테인리스강 망에 넣고 증류수 80 mL이 들어있는 100 mL 비커에 고정된 다음 알루미늄 호일로 덮고 150°C에서 40분 동안 취반하였다. 그런 다음 스테인리스 망은 꺼내어 10분 동안 상온에서 방치한 후 무게를 측정하고, 이 시료를 다시 20 mL의 증류수가 들어있는 메스실린더에 넣어 부피를 측정하였다. 또한 용출 고형물 함량을 측정하기 위하여 취반 후 100 mL 비커에 남아있

는 용액을 80°C에서 완전히 건조한 후 무게를 측정하였다. 취반 후 수분흡수율, 부피팽창율 및 고형물 용출량은 각각 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{취반 후 수분흡수율(\%)} = \frac{\text{고형물 취반 후 무게} - \text{시료 및 스테인리스망의 무게}}{\text{시료 무게}} \times 100$$

$$\text{용출량(\%)} = \frac{\text{용출된 고형분 무게}}{\text{시료 무게}} \times 100$$

$$\text{부피팽창율(\%)} = \frac{\text{취반 후 시료 부피}}{\text{취반 전 시료 부피}} \times 100$$

취반 후 식감 특성

식감 특성은 사람이 밥을 입으로 씹을 때 느끼는 식감을 기계적으로 측정할 수 있도록 고안된 식감측정기(Tensipresser, My Boy-II system, Taketomo Electric Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 일정한 방법으로 취반된 시료를 10 g씩 무작위로 칭량하여 컨테이너에 넣고 압축성형하였으며, 압축성형된 시료를 puncture probe (접촉면적 25 mm²)가 설치된 식감측정기에 장착하고 20 kgw의 하중으로 먼저 두께의 25%로 압착하고, 다시 90%로 압착하면서 현미 및 발아현미 밥의 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(toughness) 및 찰기(stickiness)를 측정하였다.

호화점도특성

현미 및 발아현미 가루의 호화점도 특성은 신속점도계(Rapid Visco-Analyzer, Model RVA-3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 시료 분말 4.5 g (dry basis)을 증류수에 분산시켜 총 중량이 30 g이 되도록 하였다. RVA profile은 다음과 같다. 먼저 RVA 용기(container)에 담긴 시료 현탁액이 균질하게 되도록 50°C, 960 rpm 조건에서 10초 동안 유지하였다. 이후에는 160 rpm 조건에서 (1) 0.83분 동안 50°C 유지, (2) 12.2°C/min로 95°C까지 가열, (3) 2.5분 동안 95°C 유지, (4) 12.2°C/min로 50°C까지 냉각, (5) 2분 동안 50°C 유지하면서 시료의 호화점도 곡선을 얻었다. 다음과 같이 측정된 점도곡선은 Thermocline (Ver. 1.2, Newport Scientific, Warriewood, Australia) software로 분석하여 peak viscosity (최고점도), final viscosity (최종점도), trough (강하점도), breakdown (최저점도), setback (치반점도), pasting temperature (호화개시온도)로 나타내었다.

전분 특성

현미 및 발아현미 전분의 추출 및 정제에는 알칼리 침지법이 사용되었다. 현미 및 발아현미 가루 20 g을 0.2% 수산화소듐(NaOH) 수용액(250 mL)에 분산시키고 믹서기로 갈아주었다. 그리고 현미 및 발아현미 가루 현탁액은 한랭사(cheese cloth)에 통과시켜 미강질 등의 불순물을 제거해주었으며, 걸러져 나온 현탁액을 4°C에서 24시간 동안 침지하고 상층액을 제거하였다. 단백질이 완전히 제거될 때까지 침지과정을 반복한 후, 1 N 염산(HCl) 수용액을 이용하여 현탁액의 pH를 7.0으로 맞췄다. 중화된 시료는 증류수, 에탄올, 아세톤 순서로 각 3회씩 씻어주고 40°C에서 열풍 건조하였다. 완전히 건조된 시료는 100메시 체(pore size 150 µm)에 통과시켜서 일정 크기 이하의 전분 분말로 얻었다.

현미 및 발아현미에서 추출된 전분의 아밀로스 함량은 Juliano(9)의 요오드 비색법을 수정하여 실험에 사용하였다. 시료 가루(100

mg)를 에탄올(1 mL)과 1 N NaOH (9 mL)에 분산시킨 후, 진탕항온수조에서 10분간 호화시키고 증류수를 이용하여 100 mL로 희석하였다. 이 중에서 5 mL를 취하여 acetic acid (1 mL), 2% I₂-KI (2 mL) 및 증류수(92 mL)와 혼합하고 20분 동안 암소에 방치한 후, 620 nm에서 흡광도 값을 측정하였다.

현미 및 발아현미에서 추출된 전분의 아밀로펙틴 분자 사슬 분포 분석에는 high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD, Dionex ICS-5000, Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)이 사용되었다. 시료는 100% 메탄올, 90% 메탄올, 증류수 순서로 각 2회씩 씻어주고 상온 건조하였다. 이후 50 mM 아세트산소듐 완충용액(sodium acetate buffer, pH 3.5)에 분산시키고 아이소아밀레이스(isoamylase, EN102, 68,000 U/mg of protein, Hayashibara Biochemical Laboratories, Okayama, Japan)를 10 µL 첨가하고 37°C에서 24시간 동안 반응시켰다. 효소처리된 시료는 100°C에서 10분간 방치하여 효소를 불활성한 다음에 0.2 µm syringe filter로 여과한 후 분석에 이용하였다. 분석에는 Dionex CarboPac PA100 column을 사용하였으며, 500 mM sodium acetate와 150 mM NaOH를 이동상으로 유속 1 mL/min 조건에서 분석하였다.

통계분석

모든 실험결과는 3회 반복하였으며, 얻어진 측정값은 SPSS 통계 package program (Statistical Package Social Science, Version 12.0)을 이용하여 분산분석(ANOVA test)을 실시하였고, 다중범위 시험법(Duncan's multiple range test)로 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

현미 및 발아현미의 수침 수분 흡수율

발아에 따른 현미 및 발아현미의 수분흡수특성을 측정한 결과는 Table 1에 나타났다. 본 연구에서는 10°C와 25°C 온도 조건에서 현미 및 발아현미의 수분 흡수 특성을 조사함으로써 최적의 수침 조건을 찾아가 하였다. 10, 25°C에서 각각 120분 동안 수침한 현미의 수분흡수율은 9.0-16.3%, 13.3-27.4%로 수침 온도가 높을수록 수분흡수율이 증가하였다. 산화방지력 및 건강 기능성이 뛰어난 것으로 알려진 흑광의 10°C 수분흡수율은 밥쌀용 최고품질 품종인 삼광벼와 큰 차이가 없었지만, 거대배아미 품종(큰눈벼, 수원595호) 및 고아미4호의 수분흡수율은 삼광과 비교하여 유의적으로 높은 것을 관찰할 수 있었다(Table 1). 거대배아미인 큰눈과 수원595호의 높은 수분흡수율은 배아와 배유사이의 공간이 다른 품종에 비하여 넓기 때문으로 생각된다. Shin 등(10)은 고아미4호의 수분흡수율(45.3%)이 삼광(36.8%)보다 높다고 보고하였다. 하지만 일부 보고에서는 백미 및 현미가루의 아밀로스 함량이 높을수록 수분흡수율이 낮다고 보고하였다(11,12). 위의 보고들로 미루어보아 현미의 수분흡수율은 전분 특성뿐만 아니라 현미의 미강 구조를 포함한 다양한 요인에 영향을 받는 것으로 사료된다.

수분흡수율이 가장 높은 고아미4호의 초반(0-60 min), 중반(60-120 min), 후반(120 min-15 h) 수분흡수속도는 10°C에서 각각 11.0%/h, 5.1%/h, 2.0%/h이었으며, 25°C에서는 각각 19.2%/h, 8.2%/h, 1.9%/h였다. 수침에 따른 수분흡수속도는 수침초기에는 빠르지만 수침시간이 길어질수록 감소하였다. 또한 20°C 수침군이 10°C 수침군보다 초중반(0-120 min)에는 더 빠른 수분흡수율을 보였지만 수침 후반(120 min-15 h)에는 그 차이가 크지 않았다. 이와 같은 경향은 밥쌀용(삼광)과 다른 가공용 기능성 품종(큰눈

, 수원595호, 흑광)에서도 유사하게 나타났다. Shin 등(10)은 백미의 수분흡수율이 수침 초기에 급격하게 증가하며 수침 3시간 이후에는 큰 변화가 없다고 보고하였다. 현미는 이와 대조적으로 수침 15시간까지 꾸준히 수분흡수율이 증가하였는데 이는 지질, 섬유질, 단백질과 같은 소수성 물질을 다량 함유하고 있는 현미 미강층이 수분의 침투와 확산을 지연시키기 때문이다(13).

밥의 품질은 소비자가 쌀을 선택함에 있어서 매우 중요한 역할을 하며, 이는 품종, 재배환경, 전분 특성, 저장조건, 도정도, 수분흡수율 및 조리법 등 다양한 요소에 영향을 받는다. 이들 중 수분흡수율은 취반밥의 품질에 큰 영향을 미치는 요소 중 하나인데, 이는 취반과정이 일종의 가수반응(hydrothermal treatment)으로 볼 수 있기 때문이다. 수분흡수율이 낮은 현미는 백미와 비교하여 수침 시간이 길어질 뿐만 아니라 호화가 잘 이루어지지 않기 때문에 취반 및 식감 특성이 나쁠 것으로 생각된다. Kim과 Baek(14)은 수분흡수율이 높을수록 밥의 경도가 낮고 품질이 좋다고 보고하였다.

본 시험품종의 현미는 모두 발아함에 따라 수분함량이 증가하였다. 10°C에서 120분 동안 수침한 발아현미의 수분흡수율은 27.5-49.8%였으며, 25°C 수침군의 수분흡수율은 21.1-58.0%로 현미와 마찬가지로 수침 온도가 높을수록 수분흡수율이 증가하였다. 고아미4호 발아현미의 초반(0-60 min), 중반(60-120 min), 후반(120 min-15 h) 수분흡수속도는 10°C에서 각각 39.9, 9.9, 1.5%/h였으며, 25°C에서는 각각 48.8, 9.2, 1.3%/h였다. 고아미4호 발아현미의 초반 수분 흡수속도는 고아미 현미보다 약 2.5배 이상 빨랐지만 수침시간이 길어짐에 따라 그 차이가 줄어들어 수침후반의 수분 흡수속도는 일반현미보다 느렸다.

발아현미의 높은 수분흡수율은 발아 후 건조과정에서 발생하는 균열(crack)에 의한 것으로 사료된다. 현미 미강층에 함유된 소수성 물질은 수분침투를 억제하는데 발아 후 건조 동안 현미 표면에 형성된 균열이 수분 침투 및 확산의 통로 역할을 할 것이다. Srisang 등(15)은 발아 후 건조과정에서 발생하는 현미 내부의 온도 및 수분함량 차이에 의해서 현미에 균열이 발생한다고 보고하였다. Kim과 Baek(14)은 현미에 칼날로 일정 깊이의 홈집(0.07, 0.20 mm)을 넣으로써 현미의 낮은 수분흡수율과 취반 시 물리적 특성을 개선하였다. 발아는 현미의 낮은 수분흡수율을 개선시켜주어 취반 시 침지시간 및 수침이 필요한 가공처리 시간을 단축시켜줄 수 있을 것으로 생각된다. 특히 발아현미의 개선된 수분흡수율은 현미밥 취반의 어려움을 해소해줄 뿐만 아니라 백미와의 혼반 이용성 또한 증가시킬 것이다.

현미 및 발아현미의 취반 특성

품종에 따른 현미 및 발아현미의 취반특성(취반 후 수분흡수율, 부피팽창율, 용출고형물 함량)을 측정한 결과는 Table 2에 나타났다. 삼광 현미의 취반 후 수분흡수율은 151.1%였으며, 특수미 품종은 107.3-163.4%였다. 수원595호의 수분흡수율은 163.4%로 다섯 품종 중 가장 높았으며, 가장 낮은 수분흡수율을 보인 고아미4호(107.3%)보다 52% 높았다. 고아미4호의 낮은 수분흡수율은 높은 아밀로스 함량에 기인한다. 일반적으로 고아밀로스 전분은 호화온도가 높을 뿐만 아니라, 완전한 호화가 힘들기 때문에 호화에 따른 수분흡수가 느리다. Kim 등(16)과 Lee 등(17)은 아밀로스 함량이 낮을수록 수분흡수율이 높다고 보고하였다. 거대배아미인 큰눈과 수원595호는 밥쌀용 품종인 삼광(대조)과 비교하여 유의적으로 높은 취반 후 수분흡수율을 보였으며, 이는 거대배아미(큰눈, 수원595호)의 미강층이 다른 품종보다 약하기 때문으로 생각된다. Kim 등(18)은 현미의 미강층이 알칼리 붕괴

Table 1. Changes in the water absorption ratio (%) of brown rice before and after germination

Variety	Sample	Soaking Temp.	Water absorption ratio (%)						
			10 min	20 min	30 min	60 min	90 min	120 min	15 h
Samkwang	BR ¹⁾	10°C	3.7±0.6 ^{ef3,4)}	5.0±1.4 ^f	5.3±1.2 ^e	6.1±0.5 ^e	7.5±0.9 ^e	9.0±2.1 ^f	20.6±0.6 ^g
	GBR ²⁾		11.6±0.9 ^c	13.6±0.8 ^c	16.6±2.0 ^c	22.1±1.0 ^c	25.2±1.3 ^c	27.5±1.2 ^d	43.6±1.2 ^c
Keunnun	BR		5.1±0.8 ^f	6.4±1.1 ^{ef}	8.3±0.3 ^d	10.2±0.7 ^d	13.1±1.2 ^d	14.5±1.6 ^e	31.3±0.9 ^e
	GBR		17.9±1.1 ^b	22.8±1.1 ^b	26.0±2.1 ^b	34.5±1.5 ^b	39.5±1.9 ^b	44.3±3.0 ^b	61.4±1.7 ^b
Suwon595	BR		5.6±0.6 ^{ef}	7.6±1.6 ^{de}	8.9±0.7 ^d	10.8±1.1 ^d	13.1±1.6 ^d	16.3±2.2 ^e	31.7±2.9 ^e
	GBR		17.9±1.4 ^b	22.6±1.3 ^b	25.9±2.5 ^b	33.0±2.7 ^b	39.0±2.1 ^b	42.3±2.7 ^b	62.6±1.7 ^b
Goami 4	BR		6.7±1.0 ^c	8.7±0.6 ^d	10.1±0.8 ^d	11.0±1.2 ^d	14.9±2.0 ^d	16.1±0.8 ^e	42.9±0.8 ^c
	GBR		22.1±1.0 ^a	28.3±2.3 ^a	33.1±2.0 ^a	39.9±3.4 ^a	47.0±2.0 ^a	49.8±1.8 ^a	68.9±2.9 ^a
Heugkwang	BR		4.6±0.2 ^{fg}	5.6±0.7 ^f	6.1±0.9 ^e	6.6±0.6 ^e	8.5±1.1 ^e	9.5±1.6 ^f	22.9±1.1 ^f
	GBR		8.8±1.0 ^d	12.5±0.9 ^c	15.7±1.0 ^c	20.1±0.7 ^c	26.2±1.0 ^c	30.1±1.2 ^c	35.8±1.3 ^d
Samkwang	BR	25°C	4.4±0.7 ^h	5.3±0.5 ⁱ	5.5±2.8 ^g	9.2±0.4 ^g	11.5±0.8 ⁱ	13.3±1.0 ^h	27.8±1.4 ^h
	GBR		12.5±0.9 ^d	17.5±1.4 ^d	20.3±1.5 ^c	27.1±2.2 ^c	30.7±2.2 ^c	32.9±1.0 ^d	44.7±0.7 ^e
Keunnun	BR		7.1±0.6 ^{fg}	8.8±1.5 ^g	10.6±1.8 ^{ef}	15.4±1.0 ^{ef}	17.5±1.3 ^{gh}	20.8±0.7 ^f	37.7±1.5 ^f
	GBR		23.7±1.2 ^b	28.0±0.9 ^b	33.4±2.4 ^b	39.6±2.1 ^b	44.3±1.7 ^b	49.1±1.3 ^b	62.6±2.5 ^b
Suwon595	BR		7.5±1.0 ^{ef}	10.2±1.1 ^f	12.0±0.7 ^{de}	16.9±1.1 ^{ef}	20.7±0.4 ^{fg}	22.2±0.5 ^f	38.5±0.5 ^f
	GBR		21.5±1.6 ^c	26.4±1.1 ^c	31.4±1.1 ^b	41.1±1.5 ^b	43.7±2.8 ^c	49.5±2.2 ^b	61.7±1.7 ^b
Goami4	BR		8.6±0.9 ^{ef}	10.7±0.6 ^f	13.7±0.6 ^d	19.2±1.0 ^d	23.0±0.8 ^f	27.4±0.7 ^e	52.3±2.8 ^c
	GBR		26.0±3.6 ^a	34.5±1.5 ^a	40.2±2.2 ^a	48.8±1.2 ^a	52.9±2.0 ^a	58.0±1.4 ^a	74.5±1.3 ^a
Heugkwang	BR		5.3±0.6 ^{hi}	7.2±0.3 ^h	8.7±1.4 ^f	11.9±1.1 ^f	14.4±1.8 ^{hi}	16.4±1.6 ^g	34.4±1.1 ^g
	GBR		7.9±1.1 ^e	9.8±0.9 ^e	11.0±0.4 ^c	14.6±0.7 ^c	17.8±1.2 ^d	22.1±1.0 ^c	43.4±1.7 ^d

¹⁾BR: brown rice²⁾GBR: germinated brown rice³⁾Each value is mean±standard deviation⁴⁾Different letters in the same column indicate significant difference by ANOVA and Duncan's test ($p<0.05$).

도에 큰 영향을 미치며, 거대배아미(큰눈) 현미가 삼광이나 백진주 현미보다 알칼리 붕괴도가 높다고 보고하였다.

흑광을 제외한 나머지 품종은 발아함에 따라 취반 후 수분흡수율이 증가하였다(Table 2). 발아 후 수분흡수율이 가장 높은 품종은 수원595호로 가장 낮은 수분흡수율을 보인 고아미 발아현미(138.4%)보다 약 41% 높았다. 발아에 따라 취반흡수율이 가장 많이 증가한 품종은 고아미4호로 28.9% 증가했으며, 다음으로 수원595호(19.6%), 삼광(16.8%), 큰눈(15.1%), 흑광(-4.6%) 순서였다. 밥의 식미는 수분흡수율, 공극률, 가열시간, 찰기 등 다양한 요소에 영향을 받으나 이들 중에서 수분흡수율이 가장 중요한 요소이다(19). 취반에서 수분흡수율이 낮으면 전분의 호화가 잘 이루어지지 않기 때문에 취반 및 식감특성이 나쁘다. 흑광을 제외한 나머지 품종은 발아에 의해 취반 수분흡수율이 증가하였으며 이는 현미의 식미 특성을 향상시키고 현미의 이용성을 증가시킬 것이다. 하지만 고아미4호는 발아함에 따라 취반 후 수분흡수율이 증가했지만 여전히 다른 품종보다 매우 낮았으며 취반용으로는 적합하지 않을 것이다. 발아현미의 취반 수분흡수율 증가는 미강의 연화에 의한 것으로 생각된다. Xylanase, arabinase, β -glucanase와 같은 세포벽 분해효소는 발아 동안 활성화되며 미강 층을 연화 및 분해시킨다(5). 미강의 연화는 현미의 수분흡수율 뿐만 아니라 고형물 용출량, 부피 팽창율(피집성)을 증가시킬 것이다.

실험에 사용된 다섯 품종 현미의 용출 고형물 함량 범위는 3.6-9.3%였다. 거대배아미인 큰눈과 수원595호는 각각 9.3, 9.0%로 다른 품종보다 고형물의 용출이 쉽게 일어나는 것을 관찰할 수 있었다. 고아미4호는 매우 낮은 용출 고형물 함량을 보여주었으며, 이는 높은 함량의 아밀로스로 인하여 호화가 어려울 뿐만 아니라 호화 후 빠르게 노화되어 망상구조를 형성하여 취반 후 나타

나는 전분질의 용출을 막기 때문으로 생각된다.

발아에 따른 용출 고형분 함량 변화는 수분흡수율과 그 양상이 비슷하여 흑광을 제외한 모든 품종에서 발아함에 따라 용출고형분 함량이 증가하였다. 발아현미의 용출 고형분 함량 범위는 6.2-13.7%였으며, 고아미4호는 발아함에 따라 70.9% 증가하여 용출고형분 함량이 가장 많이 증가한 품종이었다. 취반 시 용출되는 고형분의 양은 밥의 식감 및 가공적성에 큰 영향을 주며(20), 전분의 용출이 많을수록 밥의 찰기가 증가하고 경도가 감소할 것이다.

Table 2. Changes in the cooking characteristics of brown rice before and after germination

Variety	Sample	Water absorption ratio (%)	Expensibility (%)	Soluble solid (%)
Samkwang	BR ¹⁾	151.1±1.5 ^{ef3,4)}	128.9±0.7 ^e	6.1±0.3 ^c
	GBR ²⁾	176.6±3.7 ^c	133.7±0.2 ^c	8.2±0.4 ^d
Keunnun	BR	163.2±5.2 ^d	131.0±0.7 ^d	9.3±0.4 ^c
	GBR	187.8±2.1 ^b	134.7±0.5 ^b	13.7±0.3 ^a
Suwon595	BR	163.4±1.4 ^d	131.7±0.2 ^d	9.0±0.0 ^c
	GBR	195.5±1.1 ^a	137.4±0.1 ^a	11.4±0.9 ^b
Goami4	BR	107.3±0.7 ^h	133.5±0.3 ^c	3.6±0.1 ^f
	GBR	138.4±0.8 ^g	124.3±0.5 ^g	6.2±0.6 ^e
Heugkwang	BR	153.2±6.4 ^e	129.2±1.1 ^e	6.2±0.4 ^e
	GBR	146.2±0.8 ^f	127.4±0.1 ^f	6.4±0.3 ^e

¹⁾BR: brown rice²⁾GBR: germinated brown rice³⁾Each value is mean±standard deviation⁴⁾Different letters in the column row indicate significant difference by ANOVA and Duncan's test ($p<0.05$).

Table 3. Changes in the textural properties of brown rice before and after germination

Variety	Sample	Hardness (dyne/cm ²)	Toughness (dyne/cm ²)	Adhesiveness (dyne/cm ²)	Stickiness (dyne/cm ²)
Samkwang	BR ¹⁾	67.42±4.18 ^{e3,4)}	27.64±0.72 ^d	17.20±5.05 ^d	12.83±1.17 ^d
	GBR ²⁾	61.46±6.58 ^e	28.13±0.85 ^d	34.96±4.18 ^c	19.86±2.72 ^c
Keunmun	BR	65.53±4.08 ^e	27.66±0.88 ^d	55.10±5.03 ^b	34.78±6.05 ^a
	GBR	44.76±5.38 ^f	24.56±1.10 ^e	59.32±4.26 ^a	37.65±10.16 ^a
Suwon595	BR	80.23±7.96 ^d	31.19±1.12 ^c	18.57±2.63 ^d	12.80±0.86 ^d
	GBR	40.61±2.51 ^f	23.38±0.55 ^e	55.12±3.51 ^b	27.86±2.91 ^b
Goami4	BR	156.40±5.69 ^a	42.42±5.40 ^a	0.59±0.15 ^f	0.80±0.44 ^f
	GBR	149.16±11.98 ^{ab}	31.97±1.53 ^c	3.52±1.44 ^f	5.43±1.67 ^{ef}
Heugkwang	BR	142.05±9.93 ^{bc}	37.23±2.02 ^b	8.96±2.54 ^e	6.77±1.12 ^e
	GBR	134.64±10.67 ^c	38.28±2.88 ^b	9.23±0.87 ^e	6.30±0.93 ^e

¹⁾BR: brown rice

²⁾GBR: germinated brown rice

³⁾Each value is mean±standard deviation

⁴⁾Different letters in the same column indicate significant difference by ANOVA and Duncan's test ($p < 0.05$).

현미 및 발아현미 밥의 부피팽창율은 128.3-137.4%였다. 삼광, 큰눈, 수원595호는 발아함에 따라 부피팽창율이 유의적으로 증가하였지만, 고아미4호와 흑광에서는 유의적으로 감소하였다. 또한 발아에 따라 용출고형분과 수분흡수율이 평균 15.2, 36.7% 증가한 것과는 대조적으로 부피팽창율은 3.8%만 증감하여 발아에 따른 큰 변화를 관찰할 수 없었다. 발아함에 따라 조직의 연화 및 일부 낱알 구조의 파괴로 인하여 수분 흡수율 및 용출 고형분의 함량이 증가했지만 팽윤력은 크게 증가하지 않았으며, 이는 발아 후에도 취반밥 낱알의 형태가 붕괴되지 않고 유지되고 있음을 의미한다. 다만, 흑미는 다른 품종과 다르게 취반에 따른 수분흡수율 및 밥의 부피팽창율이 감소하였으며 용출고형물 함량은 큰 변화가 없었다. 유색미인 흑광의 취반 특성, 수분흡수율 및 식감 특성은 발아에 따라 변화하였지만, 그 정도가 다른 품종과 비교하여 상대적으로 작은 수준이었다. 이는 유색미의 독특한 색소성분 및 미강구조에 의한 것이라 생각되며 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

현미 및 발아현미 밥의 식감

현미 및 발아현미 밥의 식감 특성(경도, 부착성, 탄력성, 찰기)은 Table 3에 나타났다. 삼광, 큰눈 및 수원595호의 경도는 각각 67.42, 65.5, 80.2 dyne/cm²였다. 이들과 비교하여 고아미4호(156.4 dyne/cm²)와 흑광(142.1 dyne/cm²)은 매우 높은 경도를 보였다. 고아미4호의 높은 경도는 고아미4호의 전분 특성에 기인한다. 고아미4호는 아밀로스 함량이 높을 뿐만 아니라 아밀로펙틴 사슬 분포에서 장쇄사슬 비율 또한 높다(Table 5, 6). 취반밥의 식감은 전분 구조에 큰 영향을 받으며, 아밀로스 함량과 아밀로펙틴 중합도가 높을수록 밥의 경도가 높고 식감이 떨어진다(21,22). 유색미인 흑광도 밥쌀용 대비품종인 삼광보다 2배 이상 높은 경도를 보였다. Kim 등(23)은 유색미가 일반미에 비해서 경도가 높고 조직감이 거친 것은 유색미 미강의 구조가 치밀하고 섬유질 함량이 높기 때문이라고 보고하였다.

경도는 발아함에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 특히 거대배아미인 큰눈과 수원595호 발아현미는 각각 현미의 68, 50% 수준으로 경도가 감소하였다. 거대배아미용으로 개량된 수원595호 현미는 대비품종인 큰눈보다 경도가 높기 때문에 식감이 좋지 않을 것으로 예상된다. 하지만 발아처리에 의해 수원595호의 경도는 큰눈보다 낮아졌다. 따라서 경도를 기준으로 보았을 때, 현미로 이용되기에는 큰눈이 적합하나 발아현미용으로

는 수원595호가 대비품종(큰눈)보다 더 적합할 것이다. 이와 대조적으로 고아미4호와 흑광은 약 5%만 감소하여 발아에 따른 뚜렷한 감소는 관찰할 수 없었다. Oh 등(24)은 현미밥의 경도는 발아가 진행될수록 감소하며, 특히 거대배아미인 큰눈에서 이와 같은 현상이 두드러지는 것으로 보고하였다. 발아에 따른 경도의 감소는 발아현미의 높은 수분흡수율에 의한 것으로 생각된다. 발아현미의 높은 수분흡수율은 취반 시 전분 호화를 촉진 시켜 밥의 경도를 감소시킬 것이다.

삼광, 큰눈 및 수원595호 현미의 탄력성은 각각 27.64, 27.66, 31.19 dyne/cm²였으며 이와 비교하여 고아미4호(42.42 dyne/cm²)와 흑광(37.23 dyne/cm²)은 높은 탄력성을 보였다(Table 3). 품종에 따른 탄력성은 경도와 유사한 경향을 보이는데, 이는 두 값이 서로 유사한 성격을 가지기 때문이다(18,25). 비록 삼광과 흑광의 탄력성은 발아에 의해 변하지 않았지만 큰눈, 수원595호, 고아미4호의 탄력성은 발아함에 따라 유의적으로 감소하였다.

실험에 사용된 현미의 부착성은 0.59-55.10 dyne/cm²로 품종별로 매우 상이하였다. 고아미4호의 부착성(0.59 dyne/cm²)은 삼광(17.20 dyne/cm²)의 3.4% 수준이었다. 부착성은 밥의 끈기를 결정하는 부착성이 매우 낮은 고아미4호는 섭취시 밥알이 뭉치지 않을 것이기 때문에 식미가 매우 떨어질 것으로 생각된다. 큰눈 현미는 밥쌀용으로 이용되는 삼광보다 부착성이 높기 때문에 식감이 우수할 것으로 생각된다. 일반적으로 밥의 식감특성은 전분 특성에 매우 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 결과에서 알 수 있듯이 아밀로스 함량이 높은 고아미4호의 식감은 다른 품종과 매우 상이하다. 하지만 거대배아미 품종인 큰눈은 전분 특성(Table 5, 6)이 밥쌀용 품종과 유사하나 부착성은 두 배 이상 높았다. 이는 현미의 식감이 전분 특성뿐만 아니라 미강 구조, 단백질 함량 등 다양한 요소에 영향을 받기 때문으로 생각된다.

부착성은 모든 품종에서 발아함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 특히 수원595호와 삼광의 부착성은 발아에 의해 각각 3.0, 2.0 배 증가하였으며, 이는 일부 품종에서 발아가 현미밥의 부착성을 개선하는데 효과적임을 의미한다. 특히 수원595호 현미의 부착성은 대비품종인 큰눈의 33.7% 수준이었으나, 발아후에는 대비품종인 큰눈의 92.9% 수준으로 크게 개선되었다. 또한 고아미4호의 부착성은 발아에 의해 약 5배 증가하였지만 여전히 다른 품종의 현미 및 발아현미와 비교하여 매우 낮은 부착성을 보였다.

식감에서 경도와 부착성은 매우 중요한 요소로, 일반적으로 경도가 낮고 부착성이 높을수록 식감이 뛰어나다(26). 즉, 부착성/

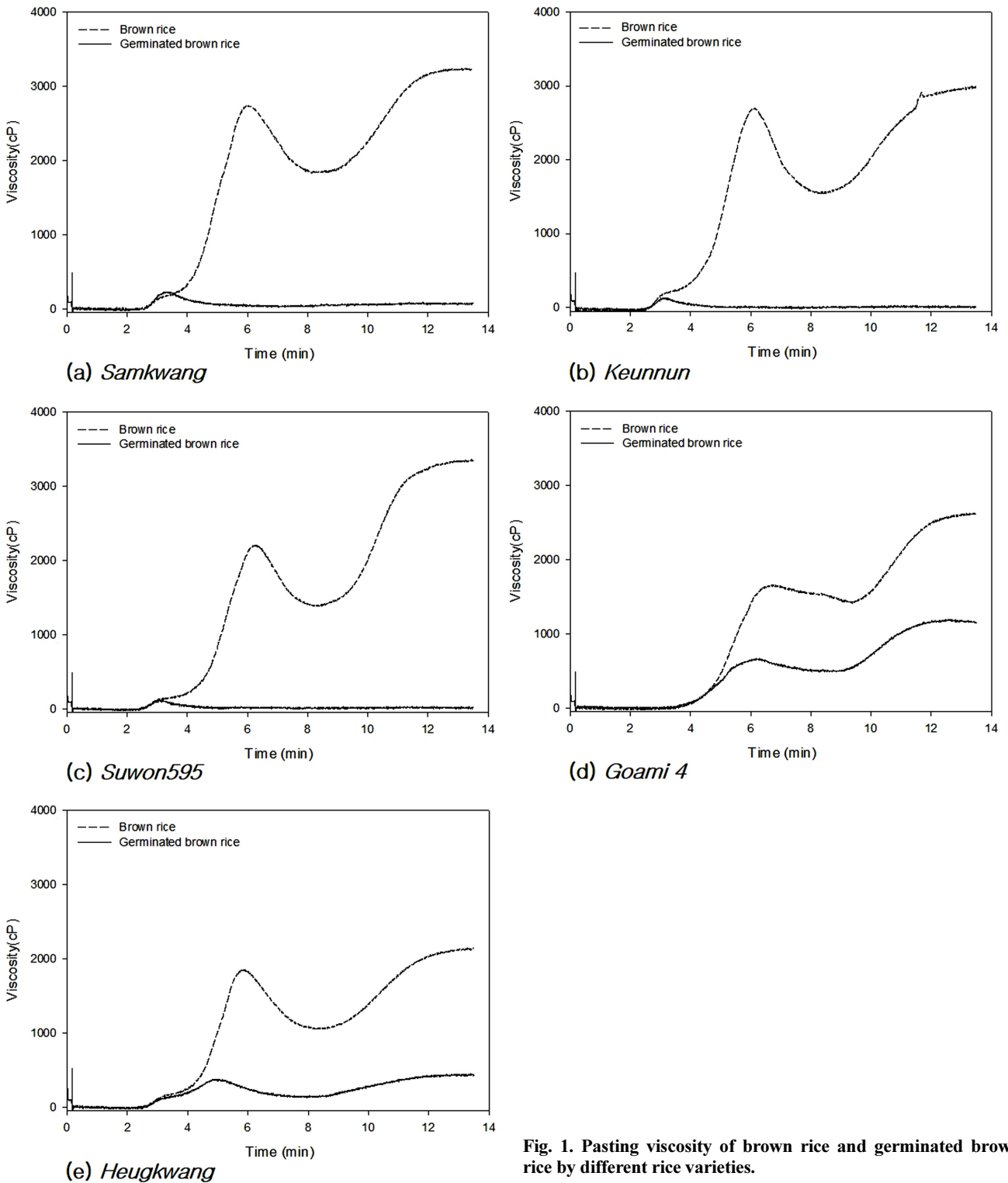


Fig. 1. Pasting viscosity of brown rice and germinated brown rice by different rice varieties.

경도의 비율이 높을수록 식감이 우수하다고 볼 수 있다(18,27). 실험에 사용된 다섯 품종 모두 발아에 의해 부착성/경도 비율이 증가하였으며, 이는 발아가 현미의 거칠고 단단한 식감을 개선하는데 매우 효과적이고 경제적인 방법을 증명한다.

현미 및 발아현미의 찰기는 부착성과 유사한 경향을 보였다. 현미의 찰기는 큰눈, 삼광, 수원595호, 후광, 고아미 순서로 높았다. 수원595호 현미의 찰기는 삼광과 비슷한 수준이었지만 발아 후에는 삼광 발아현미보다 높았다. 발아현미의 부착성 및 찰기가

현미에 비해 높은 것은 발아 후 건조과정에서 발생하는 균열에 의한 것으로 생각된다. 발아 후 건조과정에서 발생한 균열은 발아현미의 소화된 전분이 일부 외부로 유출되도록 해주어 밥의 부착성과 찰기를 증가시킨다(15).

현미 및 발아현미 가루의 소화 점도

현미 및 발아현미 가루의 소화 점도는 Fig. 1, Table 4에 나타났다. 삼광 현미의 최고점도, 최종점도, 소화개시온도는 각각

Table 4. Changes in the pasting properties of brown rice before and after germination

Variety	Sample	Peak viscosity (cp)	Trough (cp)	Breakdown (cp)	Final viscosity (cp)	Setback (cp)	Pasting Temp. (°C)
Samkwang	BR ¹⁾	2734.0±13.2 ^{a,3,4)}	1776.3±51.3 ^a	957.7±48.2 ^b	3197.3±27.0 ^b	1421.0±31.2 ^b	66.5±0.0 ^c
	GBR ²⁾	223.3±7.5 ^h	13.5±5.0 ^h	209.8±6.3 ^{fg}	63.5±10.4 ^h	50.0±12.2 ^g	66.6±0.1 ^c
Keunmun	BR	2697.7±13.6 ^b	1519.3±56.2 ^b	1178.3±46.5 ^a	2941.7±97.5 ^c	1422.3±41.3 ^b	66.7±0.3 ^{bc}
	GBR	128.7±2.9 ⁱ	-20.0±5.0 ^h	148.7±5.8 ^{hi}	4.0±13.1 ^h	24.0±8.2 ^g	66.5±0.1 ^c
Suwon595	BR	2211.3±7.6 ^c	1365.0±33.9 ^d	846.3±36.6 ^c	3326.7±35.6 ^d	1961.7±2.9 ^a	67.6±0.0 ^b
	GBR	118.7±2.9 ^j	-5.7±2.9 ^h	124.3±2.9 ^j	11.0±5.0 ^h	16.7±7.6 ^g	66.6±0.0 ^c
Goami4	BR	1675.7±20.2 ^e	1430.3±16.1 ^c	245.3±5.8 ^{ef}	2644.7±32.3 ^d	1214.3±25.5 ^c	76.3±1.1 ^a
	GBR	673.3±20.2 ^f	492.3±20.2 ^f	181.0±0.9 ^{gh}	1167.3±10.4 ^f	675.0±13.2 ^e	76.6±1.1 ^a
Heugkwang	BR	1853.8±10.3 ^d	1052.8±26.3 ^e	801.0±20.4 ^d	2137.3±28.5 ^e	1084.5±11.2 ^d	67.4±0.6 ^{bc}
	GBR	385.7±16.1 ^g	130.3±10.4 ^g	255.3±5.8 ^e	438.3±2.9 ^g	308.0±8.7 ^f	66.5±0.1 ^c

¹⁾BR: brown rice

²⁾GBR: germinated brown rice

³⁾Each value is mean±standard deviation

⁴⁾Different letters in the same column indicate significant difference by ANOVA and Duncan's test ($p<0.05$).

2734.0 cP (centipoise), 3197.3 cP, 66.5°C로 전형적인 쌀가루 혹은 쌀전분의 호화양상을 보였다. 큰눈, 수원595호, 흑광은 특수미로 분류되지만 전분 구조가 밥쌀용 품종과 유사하기 때문에 RVA에서의 호화 점도 양상은 삼광과 유사하였다. 하지만 흑광은 전분 구조가 유사한 다른 품종들보다 최고 및 최종 점도가 매우 낮았으며 이는 흑광(유색미)의 색소성분, 치밀한 미강구조, 그리고 낮은 전분함량에 기인하는 것으로 보인다. 또한 거대배아미인 수원595호는 밥쌀용 품종인 삼광과 거대배아미 대비 품종인 큰눈에 비해 높은 치반점도를 가지는데, 이는 밥의 섭취 온도(45-55°C)에서 경도와 탄력성을 높게 할 것으로 생각된다.

가공용 특수미인 고아미4호는 최고 및 강하점도가 매우 낮았고 호화개시온도는 76.3°C로 다른 품종(65.3-67.6°C)보다 약 10°C 높았다. 이는 높은 아밀로스 함량에 기인하는 것으로 전분 호화가 다른 품종보다 힘들기 때문이다. You 등(28)은 고아밀로스 품종인 새고아미가 일반 품종에 비하여 현저하게 낮은 호화점도와 높은 호화개시온도를 보이며 이는 아밀로스가 팽윤을 억제하기 때문이라고 보고하였다. Hu 등(29) 또한 고아밀로스 품종의 쌀이 일반 품종과 비교하여 호화점도와 최종점도가 매우 낮다고 보고하였다.

Table 4에서 볼 수 있듯이 모든 품종의 현미는 발아함에 따라 호화점도가 급격하게 감소하였다. 삼광과 큰눈 발아현미의 최고 점도는 각각 223.3 cP, 128.7 cP로 일반현미의 8, 5% 수준이었다. 아밀로스 함량이 높은 고아미4호는 호화온도가 높아 호화가 힘들다는 단점이 있지만 강하점도가 낮아 열에 안정적이고 발아에 따른 점도 감소가 다른 품종에 비해서 작기 때문에 가공용 발아현미로 적합할 것이라 생각된다.

발아과정에서 활성화된 전분 및 단백질 분해효소가 발아현미 점도 감소의 주된 요인이라 생각된다. 알파아밀레이스(α -amylase), 베타아밀레이스(β -amylase), 알파글루코시다아제(α -glucosidase)와 같은 전분 분해효소는 현미의 발아과정에서 활성화된다(30,31). 이로 인한 전분의 저분자화는 호화 점도의 감소에 큰 영향을 줄 것이다. Fincher(32)는 저분자화된 전분이나 텍스트린이 일반 전분보다 매우 낮은 점도를 가진다고 보고하고 있다. 발아에 따른 호화 점도 감소는 다양한 곡류에서도 보고되고 있다(33-35). Xu 등(34)은 발아현미 가루 및 추출된 전분의 호화점도 변화를 관찰하였으며, 그 결과 발아에 의해 현미가루와 추출된 전분의 최고 점도는 각각 35, 83% 수준으로 감소하였음을 보고하였다.

현미 및 발아현미의 전분 특성

다섯 품종의 현미 및 발아현미에서 추출된 전분의 아밀로스 함량은 Table 5에 나타났다. 삼광현미에서 추출된 전분의 아밀로스 함량은 18.6%로 기존의 보고(26,36)와 유사하였다. 거대배아미 2종(큰눈, 수원595호)과 흑광 현미 전분의 아밀로스 함량은 16.3-18.8%로 삼광과 유사하였다. 큰눈과 흑광은 발아에 따른 유의적인 아밀로스 함량 변화를 관찰할 수 없었으나, 삼광, 수원595호 및 고아미4호는 발아함에 따라 아밀로스 함량이 유의적으로 증가하였다. Kim 등(36)은 삼광을 비롯한 다양한 쌀 품종 전분의 아밀로스 함량이 발아에 의해 증가한다고 보고하였다. 발아에 따른 전분 특성의 변화는 발아 동안 활성화되는 전분 분해효소들의 작용에 의한 것으로 보고된다(3,34). 발아 과정에서 α -amylase, β -amylase 등의 전분 분해효소가 활성화되며(30,31), 이들은 현미 발아에 필요한 에너지를 생성하기 위해 전분을 분해할 것이다. Moongngarm(35)은 발아에 의해 현미의 전분분해효소 활성화와 환원당 함량이 급격하게 증가하며, 전분 함량은 급격하게 감소한다고 보고하였다. 또한 그들은 주사전자현미경(scanning electron microscope)로 발아현미의 전분 구조를 관찰하였으며, 그 결과 전분 입자 외벽이 손상되었음을 발견하였다. Xu 등(34)은 발아과정에서 활성화되는 전분분해효소가 전분 겉면에 주로 존재하는 단쇄 아밀로펙틴을 선택적으로 가수분해한다고 추측하고 있지만, 이에 대한 명확한 증거를 실험적으로 증명하지 않았다.

고아밀로스 쌀로 알려진 고아미4호 현미에서 추출된 전분의 아밀로스 함량은 31.5%로 실험에 사용된 다른 품종과 비교하여 67.6% 이상 아밀로스 함량이 높았다. 아밀로스 함량이 높은 고아미4호는 취반 후 수분흡수율이 낮고 고형물 용출량이 작기 때문에 밥의 경도가 높고 탄력성이 낮으며 밥쌀용으로 이용되기는 부적합할 것이라 생각된다. Oh 등(2)은 고아밀로스 품종의 쌀은 취반 후 밥의 윤기와 찰기가 없으며, 아밀로스 함량이 낮을수록 윤기와 찰기가 높다고 보고하였다. 또한 고아밀로스 특성상 재수화가 쉽지 않기 때문에 건조밥과 같이 재수화가 필요한 가공식품에도 부적합할 것이다. 하지만 고아미4호는 전분질이 쉽게 용출되지 않고 그 형태를 유지해야 하는 가공식품류에 적합할 것이다. 쌀면은 조리과정에서 고형물 용출이 쉽게 일어나는 단점이 있다. 면류 가공제품에 고아미4호의 이용은 이러한 쌀면류의 단점을 보완할 수 있을 것이라 생각된다. 또한 고아밀로스 품종은 전분의 *in vitro* 소화율이 낮고 저항전분 비율이 높아 혈당 상승을 억제하는 효과가 있기 때문에(37,38), 당뇨나 비만과 같은 생

Table 5. Amylose content (%) in starch of brown rice and germinated brown rice

	<i>Samkwang</i>	<i>Keunmun</i>	<i>Stuwon595</i>	<i>Goami4</i>	<i>Heugkwang</i>
BR ¹⁾	18.6±0.1 ^{d3,4)}	16.3±0.1 ^e	18.8±0.1 ^d	31.5±0.3 ^b	16.3±0.2 ^e
GBR ²⁾	19.9±0.4 ^c	16.2±0.1 ^e	19.6±0.1 ^c	38.3±0.4 ^a	16.1±0.2 ^e

¹⁾BR: brown rice²⁾GBR: germinated brown rice³⁾Each value is mean±standard deviation⁴⁾Different letters indicate significant difference by ANOVA and Duncan's test ($p<0.05$).**Table 6. Changes in the amylopectin branched chain length distribution of starch isolated from brown rice before and after germination**

Variety	Sample	Average chain length	Distribution (%)			
			DP 6-12	DP 13-24	DP 25-36	DP≥37
<i>Samkwang</i>	BR ¹⁾	20.3±0.1 ^{d3,4)}	27.7±0.1 ^{ab}	47.9±0.4 ^b	12.8±0.2 ^{bc}	11.5±0.3 ^d
	GBR ²⁾	21.8±0.4 ^b	27.0±0.6 ^b	44.3±1.0 ^d	13.4±0.6 ^b	15.3±0.9 ^b
<i>Keunmun</i>	BR	20.9±0.3 ^e	27.8±0.2 ^{ab}	46.1±0.6 ^c	13.0±0.5 ^{bc}	13.1±0.9 ^c
	GBR	21.1±0.1 ^e	27.7±0.2 ^{ab}	45.9±0.1 ^c	12.8±0.1 ^{bc}	13.6±0.2 ^c
<i>Stuwon595</i>	BR	21.6±0.2 ^b	27.7±1.0 ^{ab}	44.1±0.6 ^d	13.3±0.3 ^b	14.9±0.1 ^b
	GBR	20.8±0.1 ^e	28.9±0.7 ^a	45.3±0.5 ^{cd}	12.3±0.1 ^e	13.4±0.1 ^c
<i>Goami4</i>	BR	23.7±0.1 ^a	15.3±0.2 ^c	50.2±0.1 ^a	15.7±0.2 ^a	18.9±0.1 ^a
	GBR	23.8±0.1 ^a	14.9±0.1 ^c	50.1±0.2 ^a	16.0±0.1 ^a	19.1±0.2 ^a
<i>Heugkwang</i>	BR	20.9±0.1 ^e	28.9±0.6 ^a	44.9±0.4 ^{cd}	12.5±0.1 ^e	13.6±0.1 ^c
	GBR	21.0±0.1 ^e	27.9±0.9 ^{ab}	45.8±0.7 ^c	12.8±0.2 ^{bc}	13.5±0.0 ^c

¹⁾BR: brown rice²⁾GBR: germinated brown rice³⁾Each value is mean±standard deviation⁴⁾Different letters in the same column indicate significant difference by ANOVA and Duncan's test ($p<0.05$).

활습관병 환자를 위한 2차 가공품의 주원료로 사용될 수 있다. Hu 등(29)은 아밀로스 함량이 다른 16품종의 쌀에 대한 저항전분 함량과 당지수(hydrolysis index)를 조사하였으며, 아밀로스 함량은 저항전분과는 정의 상관관계를 가지고 당지수와는 부의 상관관계를 지닌다고 보고하였다. Zhu 등(39)은 이와 유사하게 아밀로스 함량은 저항전분 및 식이섬유 함량과 정의 상관관계를 가진다고 보고하였다. Yoon 등(3)은 고아미4호를 포함한 일품벼 돌연변이 유래 고아밀로스 품종의 저항전분 특성에 대해 연구하였으며, 고아미4호의 저항전분 함량은 13.69%로 밥쌀용 품종인 일품벼보다 약 30배 정도 높다고 보고하였다.

실험에 사용된 현미 및 발아현미 전분의 아밀로펙틴 분자사슬 분포는 Table 6에 나타났다. 고아미4호를 제외한 나머지 품종의 아밀로펙틴 분자사슬은 DP 13-24>DP 6-12>DP 25-36=DP≥37 순서로 많이 존재하였다. 하지만 고아밀로스 품종인 고아미4호 전분은 다른 품종과 달리 DP 6-12 사슬의 비율이 낮고 DP≥13 사슬의 비율이 높았다. 아밀로펙틴의 장쇄 사슬 비율이 높은 고아미4호는 취반 후 노화속도가 빨라 밥의 경도가 높을 것으로 예상되며 밥쌀용으로 부적합할 것으로 생각된다. Yoon 등(3)은 고아밀로스 품종인 고아미2호, 고아미3호, 고아미4호 아밀로펙틴의 A사슬 비율은 일품벼에 비해서 유의적으로 낮고 상대적으로 B1, B2, B3 사슬의 비율이 높은 결과를 보였으며, 이는 우리 연구의 결과와 유사하였다. 전분의 아밀로스 함량이 높은 쌀 품종일수록 아밀로펙틴의 장쇄 사슬 분포가 높은 것으로 보고되고 있으나(40), 일부 연구 결과(28)에서는 이와 상반되는 결과를 보였기 때문에 이에 대한 추가적인 연구가 더 필요할 것이라 생각된다.

발아에 따른 아밀로펙틴 분자사슬 분포의 일관된 변화는 관찰하기 힘들었다. 하지만 일부 품종에서 유의적인 차이가 있었다. 발아함에 따라 삼광은 단쇄사슬(DP≤24)의 함량이 유의적으로 감

소하였으나, 수원595호는 이와 대조적으로 장쇄사슬의 비율이 감소하였다. 아밀로펙틴 분자사슬 분포의 변화는 아밀로펙틴의 평균사슬길이 변화를 유발한다. 삼광의 아밀로펙틴 평균 사슬 길이는 발아에 따라 유의적으로 증가하였고 이와 대조적으로 수원595호는 감소하였다. 아밀로펙틴의 단쇄사슬 비율이 높을수록 밥의 경도가 낮고 부착성이 높으며 밥맛이 우수하다(23,41). 이는 아밀로펙틴 장쇄사슬 비율이 높아 평균사슬길이가 길수록 단백질, 지질 등의 분자와 긴밀하게 상호작용하여 질감을 단단하게 만들기 때문이다(21). 고아미4호는 다른 품종보다 경도가 매우 높은 반면 부착성이 매우 낮았다(Table 3). 이는 고아미4호가 아밀로스 함량이 높을 뿐만 아니라 아밀로펙틴 장쇄사슬의 비율 또한 높기 때문이다.

요 약

본 연구에서는 발아에 따른 유색미(흑광), 거대배아미(큰눈, 수원595호), 고아밀로스 쌀(고아미4호) 현미의 이화학적 특성, 취반 및 식감 특성, 전분 특성 변화를 조사하였다. 현미밥의 수분흡수율, 부피팽창율, 용출고형물 함량은 모든 품종에서 유의적으로 증가하였다. 발아에 따른 수분흡수율 및 용출고형물 함량 증가는 수침시간과 조리시간을 단축시키기 때문에 현미의 취반특성을 개선하고 이용성을 증진시킬 것이다. Tensipresser로 측정된 식감특성에서 발아는 현미의 경도와 부착성을 감소시키고 탄력성과 찰기를 증가시켰다. 이는 현미의 거친 식감이 발아함에 따라 부드러운 식감으로 변화되었음을 의미한다. 발아함에 따라 현미의 호화점도는 급격하게 감소하였지만, 호화개시 온도는 변하지 않았다. 아밀로스 함량이 높은 고아미4호는 발아에 따른 점도 감소가 다른 품종에 비해서 작았다. 발아에 따른 아밀로스 함량 및 아미

로펙틴 분자사슬분포의 일괄된 변화는 관찰하기 힘들었으나 일부 품종에서 유의적인 차이가 있었다. 발아에 따른 현미의 이화학적 특성 및 식감 특성의 변화는 발아 동안 활성화되는 효소에 의한 고분자 화합물의 분해, 발아 후 건조과정에서 발생하는 난알 표면의 균열에 의한 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 발아가 현미의 식감과 취반특성을 개선할 수 있는 효과적인 방법임을 증명한다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(과제번호: PJ011676)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Park J-W, Chae S, Yoon S. The effects of steeping and cooking pressure on qualities of cooked brown rice. *Korea J. Food Culture* 24: 69-76 (2009)
- Oh SK, Kim DJ, Cheun A, Yoon MR, Hong HC, Choi IS, Oh YJ, Oh KB, Kim YK. Quality evaluation of *Juanbyeol* as aseptic-packaged cooked rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 42: 721-726 (2010)
- Yoon MR, Lee JS, Lee JH, Kwak J, Chun A, Kim BK. Content and characteristics of resistant starch in high amylose mutant rice varieties derived from *Ilpum*. *Korean J. Breed. Sci.* 45: 324-331 (2013)
- Ohtsubo K, Suzuki K, Yasui Y, Kasumi K. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *J. Food Comp. Anal.* 18: 303-316 (2005)
- Cho DH, Lim ST. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chem.* 196: 259-271 (2016)
- Watanabe M, Maeda T, Tsukahara K, Kayahara H, Morita N. Application of pregerminated brown rice for breadmaking. *Cereal Chem.* 81: 450-455 (2004)
- Kum JS, Choi BK, Lee HY, Park JD, Park HJ. Physicochemical properties of germinated brown rice. *Korean J. Food Preserv.* 11: 182-188 (2004)
- Medcalf DG, Gilles KA. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.* 42: 558-568 (1965)
- Juliano BO. A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci. Today* 16: 334 (1971)
- Shin DS, Kim HY, Hong HC, Oh SG, Yoo SM. The effects on the quality of *Teokbokki teok* by different types cultivars of rice. *Korean J. Food Cook. Sci.* 30: 271-277 (2014)
- Song J, Song JC, Kim SL, Hwang JJ, Hong HC, Lim SJ. Comparison of quality characteristics of some endosperm mutant rices. *Korean J. Breed. Sci.* 32: 199-204 (2000)
- Lee J-G, Im M-H. Effect of processing treatment on physicochemical characteristics of brown rice varieties with different amylose content. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 613-618 (2013)
- Khatoun S, Gopalakrishna AG. Fat-soluble nutraceuticals and fatty acid composition of selected Indian rice varieties. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 81: 939-943 (2004)
- Kim J-Y, Baek S-H. Hydration and cooking properties of brown rice scratched with a knife. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 722-727 (2012)
- Srisang N, Varayanond W, Soponronnarit S, Prachayawarakorn S. Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice. *J. Food Eng.* 107: 385-392 (2011)
- Lee YT, Seoi HM, Kim YS. Physicochemical properties of starches from waxy and non-waxy hull-less barleys. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 42: 240-245 (1999)
- Lee M-J, Kim Y-K, Seo J-W, Kim J-G, Kim H-S. Cooking and pasting characteristics of non-waxy and waxy pearled barley products from Korea. *Korean J. Food Preserv.* 16: 661-668 (2009)
- Kim HW, Oh SK, Kim DJ, Yoon MR, Lee JH, Choi IS, Kim YG, Cha KN. Changes in contents of nutritional components and eating quality of brown rice by pericarp milling. *Korean J. Crop Sci.* 57: 35-40 (2012)
- Kim YD, Ha UG, Song YC, Cho JH, Yang EI, Lee JK. Palatability evaluation and physical characteristics of cooked rice. *Korean J. Crop Sci.* 50: 24-28 (2005)
- Kang K-J, Lho I-H. Hydration and hot-water solubilization of milled rice during cooking. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 502-508 (1998)
- Ong MH, Blanshard JMV. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. *J. Cereal Sci.* 21: 251-260 (1995)
- Reddy KR, Ali SZ, Bhattacharya KR. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. *Carbohydr. Polym.* 22: 267-275 (1993)
- Kim JH, Nam SH, Kim MH, Sohn JK, Kang MY. Cooking properties of rice with pigmented rice bran extract. *Korean J. Crop Sci.* 52: 60-68 (2007)
- Oh SK, Lee JH, Won YJ, Lee DH, Kim CK. Changes of physicochemical properties according to the shoot length in germinated brown rice. *Korean J. Crop Sci.* 59: 223-229 (2014)
- Nishinari K. Rheology, food texture and mastication. *J. Texture Stud.* 35: 113-124 (2004)
- Park HY, Shin DS, Woo KS, Sim EY, Kim HJ, Lee SK, Won YJ, Lee SB, Oh SK. Mechanical quality evaluation of rice cultivars that could potentially be used to produce processed cooked rice. *Korean J. Crop Sci.* 61: 145-152 (2016)
- Okabe M. Texture measurement of cooked rice and its relationship to the eating quality. *J. Texture Stud.* 10: 131-152 (1979)
- You SY, Lee EJ, Chung HJ. Study of molecular and crystalline structure and physicochemical properties of rice starch with varying amylose content. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46: 682-688 (2014)
- Hu P, Zhao H, Duan Z, Linlin Z, Wu D. Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *J. Cereal Sci.* 40: 231-237 (2004)
- Palmiano EP, Juliano OJ. Biochemical changes in the rice grain during germination. *Plant Physiol.* 49: 751-756 (1972)
- Moonggarm A, Saetung N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice. *Food Chem.* 122: 782-788 (2010)
- Fincher GB. Molecular and cellular biology associated with endosperm mobilization in germinating cereal grains. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 40: 305-346 (1989)
- Juhsz R, Gergely S, Gelencsr T, Salg A. Relationship between NIR spectra and RVA parameters during wheat germination. *Cereal Chem.* 82: 488-493 (2005)
- Xu J, Zhang H, Guo X, Qian H. The impact of germination on the characteristics of brown rice flour and starch. *J. Sci. Food. Agr.* 92: 380-387 (2012)
- Moonggarm A. Influence of germination conditions on starch, physicochemical properties, and microscopic structure of rice flour. *Biol. Environ. Chem.* 1: 78-82 (2011)
- Kim DJ, Oh SK, Lee JH, Yoon MR, Choi IS, Lee DH, Kim YG. Changes in quality properties of brown rice after germination. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 300-305 (2012)
- Nishimune T, Yakushiji T, Sumimoto T, Taguchi S, Konishi Y, Nakahara S, Ichikawa T, Kunita N. Glycemic response and fiber content of some foods. *Am. J. Clin. Nutr.* 54: 414-419 (1991)
- Wolever TM. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 51: 72-75 (1990)
- Zhu LJ, Liu QQ, Wilson JD, Gu MH, Shi YC. Digestibility and physicochemical properties of rice (*Oryza sativa* L.) flours and starches differing in amylose content. *Carbohydr. Polym.* 86: 1751-1759 (2011)
- Takeda Y, Hizukuri S, Juliano BO. Structures and amounts of branched molecules in rice amyloses. *Carbohydr. Res.* 186: 163-166 (1989)
- Kang KJ, Kim K, Kim SK. Relationship between molecular structure of rice amylopectin and texture of cooked rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 105-111 (1995)