

재배방식이 다른 논쌀과 제주밭쌀의 특성 및 중금속 함량비교

이승우¹ · 한정아^{1,*}

¹상명대학교 식품영양학과

Comparison of properties and heavy metal contents of paddy and Jeju rices

Seung-Woo Lee¹ and Jung-Ah Han^{1,*}

¹Department of Food Science and Nutrition, Sangmyung University

Abstract The physical properties and heavy metal content in rices that were grown in different conditions were compared; two paddy rices grown in irrigated water and a Jeju rice grown in dry field without irrigation. The pasting properties, color, or amylopectin chain length distribution were different, however, they were independent of growing conditions. For heavy metals such as Pb or Cd, Jeju rice showed similar content to paddy rices. However, total and inorganic arsenic (As) contents were much lower; for Jeju rice, the total arsenic content was only 10.1-17.9% of that in two paddy rices, and the inorganic arsenic was just corresponding to 15% of that in paddy rice. The inorganic arsenic content decreased by 34.1, 23.8, and 17.5% in paddy rice by soaking, cooking, and dripping with hot water, respectively.

Keywords: rice, pasting properties, heavy metal, inorganic arsenic, cooking

서 론

최근 환경오염이 심해지면서 중금속에 오염된 식품 섭취에 대한 걱정이 증가하고 있다. 식품의 중금속 오염은 대부분 오염된 물과 토양에서 재배되면서 일어난다(Kim 등, 2009). 쌀은 우리나라를 비롯한 아시아인들에게 주식으로 섭취되는 주요 작물이나, 쌀을 주식으로 하는 나라 국민들의 주된 비소 급원이라는 문제가 제기되었다(Benford 등, 2011). 중금속 중에서도 비소는 미국 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)와 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에 의해 각각 Group 1 (carcinogenic to human)과 A (human carcinogen)인 인체 발암물질로 분류된 강력한 유해물질이다(IARC, 2004) 비소, 특히 독성이 강한 무기비소의 경우, 상대적으로 독성이 약한 유기비소를 다량 함유하고 있는 해산물과 비교했을 때 동량으로 섭취한 경우 인체 독성이 높을 수 있다는 보고도 있다(Milstein 등, 2003). 인체에 치명적 영향을 주는 무기비소는 보통 지하수와 지표수에 함유되어 있다가 농산물이나 수산물에 축적된 후, 섭취하는 사람의 체내로 유입되기 때문에 담수조건에서 재배되는 쌀은 타 농산물에 비해 무기비소 오염 가능성이 높으며(Choi 등, 2016; Paik 등, 2010; Williams 등, 2005), 특히 쌀을 섭취하기 위해 밥을 지을 때 사용하는 식수가 비소에 오염된 경우 밥 중의 무기비소 함량은 더욱 증가하게 된다(Ohno 등, 2009). 쌀은 논에서 재배되는 것이 일반적이거나, 담수로 재배되는 논쌀

과 달리, 제주에서는 물이 고여있지 못해 밭의 특성을 갖는 곳에서 쌀을 재배하기 때문에 밭쌀이라고 한다. 하지만, 밭용 종자가 따로 있는 것은 아니고 일반 논벼의 볍씨를 밭에 뿌려 키워내는 방식이다. 제주 쌀은 그 생산량이 매우 적기 때문에 제주도 내에서 거의 소비되며 그 특성에 대한 연구는 전혀 이루어진 바 없다. 따라서 본 연구에서는 재배조건이 쌀의 특성과 중금속 함량에 미치는 영향을 알아보기 위해 각기 다른 지역에서 재배된 2종의 논쌀과 1종의 제주 밭쌀을 구입, 그 특성을 분석, 비교하였다. 현재 우리나라에서는 쌀을 포함 다소비 농산물 10종에 대한 대상 중금속을 카드뮴과 납 2종으로 설정하고 있어(Lee 등, 2005), 이 두 종류의 중금속과 함께, 문제가 되고 있는 총 비소량과, 처리 조건을 달리한 쌀의 무기비소함량을 측정, 비교하였다.

재료 및 방법

재료

시료로 사용한 논쌀은 K 및 N 지역에서 2016년 수확된 쌀을 구입하였고, 밭쌀은 제주 S지역에서 2016년 수확된 쌀을 기증받아 사용하였다.

취반

쌀 500 g을 3배의 증류수로 수세한 뒤 물을 따라버리는 과정을 총 3회 반복하였다. 씻은 쌀은 체에 받혀 20분간 물기를 제거한 후, 쌀 무게의 1.5배 증류수를 넣고 자동전기밥솥(CR-0632FV, CUCKOO Electronics, Yangsan, Korea)을 이용하여 취반하였다.

분쇄

쌀은 분쇄기(SMX-7300WS, Shinil, Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄 후 150메시 체(mesh size: 105 μ m)를 이용하여 동일한 입자크기를 갖는 쌀가루를 제조하였다.

*Corresponding author: Jung-Ah Han, Department of Food Science and Nutrition, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea
Tel +82-2-2287-5357
Fax: +82-2-2287-0104
E-mail: vividew@smu.ac.kr
Received December 6, 2017; revised January 9, 2018;
accepted January 22, 2018

쌀가루의 호화 특성 분석(RVA)

쌀가루의 호화특성은 신속점성분석기(RVA 3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 이용하여 Standard 1의 profile로 다음과 같이 측정하였다. 각 쌀가루를 7% 현탁액으로 만든 뒤 50°C에서 1분간 유지 후, 1분당 9°C의 속도로 95°C까지 가열하였다. 95°C에서 5분간 유지한 후, 1분 당 9°C의 속도로 50°C까지 냉각한 후 다시 50°C에서 2분간 유지하면서 측정하였다.

전분 분리

각 쌀가루 100 g에 0.2% NaOH 용액 300 mL을 가하여 2시간 동안 섞어준 후 냉장온도에 보관하였다. 상층액을 제거한 후, 위의 절차를 3번 반복하였다. 상층액이 제거된 침전물에 100 mL의 증류수를 가한 후, 0.1 N HCl 용액을 이용하여 pH를 7.0로 맞춘 다음, 원심분리를 이용하여 증류수로 세 번, 마지막 단계에서 95% 에탄올로 한 번 씻어준 후, 40°C 오븐에서 건조시켜 사용하였다.

아밀로오스 함량 측정

아밀로오스 함량은 Williams 등(1970)의 방법을 참고하여 각 전분 시료(10mg)에 0.5 N KOH (1 mL) 용액을 넣어 호화시킨 후 0.5 N 염산(HCl) 1 mL로 중화 후 1 mL을 취하고 여기에 아이오딘 시약(0.2% I₂+2% KI)을 첨가한 후, 분광광도계(UV-160A, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용, 625 nm에서 흡광도를 측정하였다.

전분의 사슬구조 분석

쌀전분의 사슬 길이 분포도(branch chain length distribution) 측정을 위해 시료(10 mg)를 90% DMSO (2 mL)에 분산시킨 후, 분산액의 3-5배 부피의 에탄올을 첨가하여 시료를 침전시켰다. 침전물을 다시 50 mM sodium acetate buffer 완충용액(pH 3.5)에 분산시키고 가지절단효소(α-amylase, E-ISAMY, 500 U/mL, Megazyme Co., Wicklow, Ireland) 5 μL 첨가하여 37°C에서 24시간 반응시켰다. 반응 후 10분간 끓여 효소를 불활성화 시킨 후, 0.45 μm의 nylon filter를 이용하여 여과하고 high performance anion exchange chromatography-pulsed amperometric detector (HPAEC-PAD) (Dionex ICS-5000, Dionex Co., Sunnyvale, CA, USA)을 이용하여 분석하였다. 500 mM sodium acetate와 150 mM NaOH 을 이동상으로 하였으며 CarboPac PA200 column (4×25 mm, Dionex Co.)을 사용하여 분당 1 mL의 속도로 분석하였다.

밥의 외관과 색도측정

각 쌀로 지어진 밥의 외관은 폰카메라(iPhone 6s, Apple Inc., Cupertino, CA, USA)로 측정하였고 색도는 색차계(CR-300, Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용, 각 시료를 5회 반복측정하여 명도(Lightness, L*), 적색도(Redness, a*), 및 황색도(Yellowness, b*)를 측정하였다. 사용한 기준 백색판(standard plate)의 값은 L*=96.60, a*=0.24, b*=1.97이었다.

식미 측정

취반 후 용기에 200 g을 취해 랩으로 감싼 뒤 뒤집어 25°C 항온습습기에서 30분간 방랭 후 잘 섞은 다음 8 g씩 취반 식미 틀에서 30초간 째어 성형한 뒤 식미측정기(Rice Taste analyzer, Satake Engineering, Tokyo, Japan)를 이용하여 외관, 경도, 점성, 식미값을 측정하였다.

중금속 함량 측정

시료의 중금속 함량은 식품공전의 유해물질시험법 중 중금속

Table 1. The conditions of ICP-mass spectrometry for inorganic arsenic (Ar) analysis

Parameter	Value
Column	Hamilton PRP X-100 (4.1×250 mm, 10 μm)
Column temperature	25°C
Mobile phase	5 mM Malonic acid
RF power	1,600 W
Nebulizer (Ar)	0.98 L/min
Auxiliary (Ar)	1.4 L/min
Plasma (Ar)	20 L/min

시험법을 따라 측정하였다(KMFDA, 2008). 시험 용액의 준비는 마이크로웨이브법에 따라 시료 일정량을 microwave digestion system에 넣고 질산 등으로 처리하여 분해하고 메스플라스크 등에 옮겨 시험 용액으로 하였다. 납, 카드뮴, 비소 총 분석은 유도 결합플라즈마 측정법(inductively coupled plasma, ICP)으로 분석하였다. 무기비소 측정은 2016년 9월 식약처에 의한 식품의 기준 및 규격 일부 개정 고시에 신설된(식품의약품안전처 고시 제2016-101호, 2016. 9월) 방법으로 추출 후, 3가(AsIII)와 5가(AsV)의 함량을 분석하였으며, 분석 시 조건은 Table 1과 같다.

통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였고 실험 결과는 SPSS (Statistical Package for Social Sciences, version 20.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 분산분석(ANOVA)을 하였으며 각 시료 간의 유의적 차이가 있는 항목에 대해서는 던컨 시험으로 p<0.05 수준에서 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

호화특성

쌀가루의 호화특성은 Fig. 1에 나타나 있다. 팽윤이 시작되는 온도인 페이스팅 온도는 논쌀 2와 제주밭쌀이 각각 90.8과 90.1°C로 논쌀 1의 79.9°C보다 유의적으로 높았으나, 두 쌀간 유의적 차이는 없었다. 팽윤은 아밀로오스 함량과 관계가 있으며, 아밀로오스 함량이 높을 수록 억제되는 것으로 알려져 있다(Morrison 등, 1993). 논쌀 2와 제주밭쌀의 아밀로오스 함량은 각각 23.4와 22.8%로 논쌀 1의 20.3%보다 유의적으로 높기 때문에(Table 2), 팽윤온도에서 차이를 보였다. 최고 점도는 논쌀 1이 1113.0 cP로 가장 높았으며 논쌀 2와 제주밭쌀은 832.5 cP와 891.5 cP로 유의적 차이가 없는 것으로 나타났는데 이는 Singh와 Eckhoff (1995)가 보고한 바와 같이 팽윤력은 최고 점도와 양의 상관성을 보인다는 보고와 같은 결과였다. 강하점성(breakdown)도 논쌀 1이 가장 높았고 다음이 제주밭쌀, 논쌀 2의 순으로 나타났다. 최종점도는 논쌀 2가 가장 높았으며 논쌀 1과 제주밭쌀간 차이는 없었다. 노화정도를 예측할 수 있는 셋백(setback)은 제주밭쌀이 891.5 cP로 가장 높았고 논쌀 2, 논쌀 1의 순으로 나타났다.

아밀로오스 함량과 사슬 길이 특성

아밀로펙틴의 가지구조는 그 사슬 길이에 따라 가장 짧은 A사슬(DP 6-12)과 B 사슬로 나눌 수 있으며, B 사슬 길이도 그 길이에 따라 B1 (DP 13-24), B2 (DP 25-36), B3+ (DP≥37) 사슬로 나눌 수 있다(Hanashiro 등, 1996). 본 실험에 사용된 세 종류의 쌀의 사슬 길이 분포는 Table 2에 나타나있다. 가장 짧은 A 사슬은

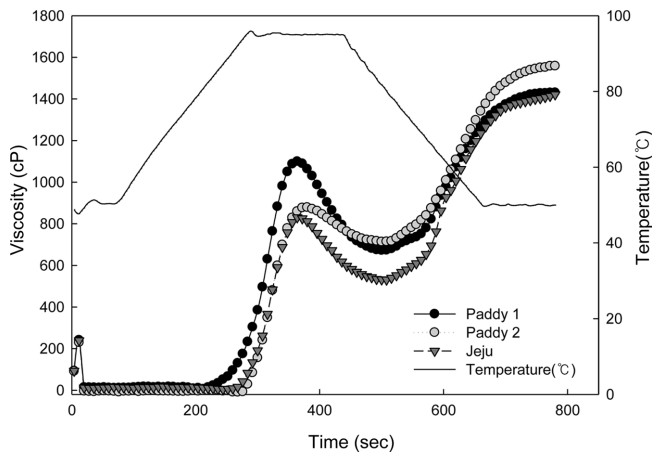


Fig. 1. Pasting properties of two paddy and Jeju rices.

논쌀 1에 가장 많이, 논쌀 2에 가장 적게 분포되어 있으며 다음으로 짧은 DP 13-24, 즉, B1에 해당되는 사슬은 제주발쌀에서 함량이 가장 높았다 DP 25-36의 길이를 갖는 사슬은 세 종류의 쌀에서 유의적 차이가 없었으며 가장 긴 사슬인 DP 37 이상의 B3 사슬은 제주발쌀에서 가장 많았고 논쌀 2에서 가장 적었다. 결과적으로, 세 종류의 쌀에서 사슬 길이의 분포는 약간씩 달랐으나 전체적으로 평균길이는 20.73에서 20.97로 유의적 차이를 보이지는 않았다. 아밀로오스 함량은 논쌀 2가 23.4%, 제주발쌀이 22.8%로 두 쌀간의 유의적 차이가 없었고, 논쌀 1은 20.3%로 유의적으로 낮은 함량을 보였다. 이상의 결과에서, 재배조건이 쌀의 호화 특성과 가지사슬 길이에 미치는 영향은 없는 것으로 보인다. 일반적으로 아밀로오스 함량이 높으면 A 사슬의 비율이 낮고, 긴 사슬의 비율이 높다고 알려져 있다(Takeda 등, 1989). 본 연구에서 아밀로오스 함량이 유의적으로 낮은 논쌀 1의 경우, 가장 짧은 사슬 비율이 높고 긴 사슬의 비율이 낮은 것으로 나타났으나, 아밀로오스 함량이 높게 나타난 논쌀 2의 경우 A 사슬 비율 뿐 아니라 가장 긴 사슬의 비율 역시 낮은 것으로 나타났다.

밥의 식미와 색도 특성

취반 후 밥의 외관, 경도, 점성과 식미특성을 측정된 결과는

Table 3에 나타나 있다. 식미측정기로 측정된 외관과 점성은 2종의 논쌀 모두 발쌀 보다 유의적으로 높은 점수를 얻었으며(외관: 7.5, 7.6 vs 7.2, 점성: 7.9, 7.7 vs. 7.2), 2종의 논쌀 간 유의적 차이는 없었다. 경도는 3종의 쌀 모두 유의적 차이를 보이지 않았다. 맛을 기계적으로 수치화한 맛지수(Taste Index)에서 2종의 논쌀이 제주발쌀보다 높은 점수를 얻었다. Eating and cooking quality (ECQ)는 아밀로오스 함량, 찰진 정도와 호화온도의 세 가지 주요 성질로 특징지어질 수 있다고 한다(Tian 등, 2009). 본 연구에서 사용한 제주발쌀은 아밀로오스 함량이 높고, 점성이 적어 기계적 식미치가 두 논쌀보다 낮게 측정된 것으로 생각된다.

색도에서, 백색도는 논쌀 2종이 76.82와 77.15로 제주발쌀 75.74보다 유의적으로 높았으며, 황색의 정도를 나타내는 b*값은 제주발쌀이 8.24로 가장 높았고 논쌀 1은 7.04, 논쌀 2는 5.76으로 유의적인 차이를 보였다. 적색도인 a*값은 유의적 차이가 없었다. 즉 밥의 색도는 제주발쌀의 색이 좀 더 노랑고 짙은 색을 보였다 (Fig. 2).

중금속 함량비교

마이크로파 분해법에 의하여 측정된 본 시료의 각 금속의 회수율은 카드뮴 86.84, 납 97.21, 비소 94.88%였다. 2종의 논쌀과 제주발쌀에서 측정된 3종의 중금속 함량은 Fig. 3에 나타나있다. 카드뮴은 주로 40세 이상의 여성들에게 골다공증과 요통, 골절 등을 유발하는 것으로 알려져 있으며(Kim 등, 2004) 아연, 구리, 등을 체련 시 생기는 폐수와 농작물 재배 시 사용하는 비료에서 오염되는 것으로 알려져 있다(Kim 등, 2009). 이종의 논쌀에서 카드뮴 함량은 각각 0.020, 0.005 mg/kg로 측정되어 생산 지역별 유의적 차이를 나타내었고, 제주발쌀은 0.008 mg/kg으로 측정되었다. 쌀의 카드뮴 함량에 대해 Kim 등(2009)은 0.021 mg/kg, Lee 등(2005)은 0.021 mg/kg, Kim 등(2000) 0.019 mg/kg으로 보고하여 본 연구의 논쌀 1 결과와 유사했으며, Lee 등(2002)의 발표는 0.006 mg/kg으로 제주발쌀의 함량과 유사한 것으로 나타났다.

납은 필수 금속과 경쟁하여 헤모글로빈과 같은 분자들과 결합하여 그 기능을 방해하며, 급성중독 시 식욕부진, 소화불량, 복통, 두통과 빈혈 등의 증상을 나타낸다고 알려져 있다(WHO, 1977). 2종의 논쌀에서 각각 0.008, 0.011 mg/kg으로 지역별 차이가 없었으며 제주발쌀은 0.013 mg/kg으로 측정되어 논쌀 1과 유의적 차

Table 2. Chain length distribution, average chain length, and amylose content of two paddy and Jeju rices

Rice	Chain length distribution (%)				Average chain length	Amylose content (%)
	DP ¹⁾ 6-12	DP 13-24	DP 25-36	DP 37-83		
Paddy 1	31.84±0.38 ^a	42.06±0.22 ^b	11.13±0.18 ^{ns}	14.97±0.34 ^{ab}	20.88±0.23 ^{ns2)}	20.3±0.4 ^b
Paddy 2	30.57±0.21 ^b	42.22±0.31 ^b	11.00±0.23	14.21±0.74 ^b	20.97±0.35	23.4±0.3 ^a
Jeju	31.41±0.69 ^{ab}	43.11±0.31 ^a	11.10±0.38	15.38±0.22 ^a	20.73±0.32 ^a	22.8±0.5 ^a

Means with different letters (a-d) within a column are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

¹⁾DP means degree of polymerization. ²⁾ns means not significant.

Table 3. Eating quality and color properties of two paddy and Jeju rices

Rice	Eating quality				Color		
	Appearance	Hardness	Viscosity	Taste index	L*	a*	b*
Paddy 1	7.5±0.12 ^a	5.9±0.29 ^a	7.9±0.24 ^a	77±0.71 ^a	76.82±0.12 ^a	-2.53±0.33 ^a	7.04±0.28 ^b
Paddy 2	7.6±0.21 ^a	6.2±0.12 ^a	7.7±0.11 ^a	76±0.55 ^a	77.15±0.13 ^a	-1.98±0.32 ^a	5.76±0.66 ^c
Jeju	7.2±0.05 ^b	6.3±0.05 ^a	7.2±0.05 ^b	73±0.50 ^b	75.74±0.15 ^b	-2.19±0.14 ^a	8.24±0.22 ^a

Means with different letters (a-c) within a column are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).



Fig. 2. Appearance of each cooked rice.

이를 보였다. Kim 등(2009)의 보고에서 쌀의 납 함량은 0.021 mg/kg, Lee 등(2002)는 0.007-0.146 mg/kg, Lee 등(2005)은 0.029 mg/kg로 보고한 바 있어, 본 연구에서 사용된 시료의 납함량은 기존 보고된 함량보다 낮았다.

총 비소함량의 경우 2종의 논쌀은 각각 0.095, 0.167 mg/kg으로, 논쌀 2가 논쌀 1보다 1.8배 높은 것으로 측정되었고, 제주말쌀의 경우 0.017 mg/kg으로 가장 낮은 함량을 보였다. 쌀의 비소 함량에 대해 Lee 등(2005)은 0.068 mg/kg, Kim 등(2000)은 0.09 mg/kg, Kim 등(2004)은 0.094 mg/kg으로 보고한 바 있으며 이는 논쌀 1과 유사한 수치이다. 우리나라에서는 식품의 기준 및 규격 일부 개정 고시(식품의약품안전처 고시 제2016-101호, 2016. 9월)에서 쌀의 납, 카드뮴, 무기비소의 함량을 각각 0.2, 0.2, 0.2 mg/kg 이하로 규정하고 있기 때문에 본 연구에 사용한 3종의 쌀 모두 3종의 중금속함량이 기준 또는 기준 이하로 측정되었다. 특이할 만한 것은 제주말쌀의 경우 다른 두 중금속의 함량은 논쌀과 유사하거나 약간 낮았지만, 총 비소함량은 두 논쌀의 각각 17.9%, 10.1%에 불과한 함량을 보였다. 비소는 오염된 지하수와 지표수에 함유되어 있다가 농산물에 축적되기 때문에 담수조건에서 재배되는 논쌀은 물이 빠진 밭의 조건에서 재배되는 제주말보다 더 많은 비소가 축적된 것으로 보여진다.

무기비소함량과 처리 조건에 따른 함량 변화

비소는 다른 금속류와 마찬가지로 환경 및 식품 중에 다양한 화학적 형태로 존재하는데 크게 무기비소(inorganic arsenic)와 유기비소(organic arsenic)의 형태로 구분된다(Panel, 2009). 무기비소는 유기비소에 비해 독성이 강하며(ATSDR, 2007; IARC, 2004), 피부병변이나 피부암을 유발시키는 발암물질로 알려져 있는데, 무기비소 화합물 중에서도 3가(As III)와 5가(As V)가 독성이 강하고 특히 As(V) 보다는 As(III)이 독성이 강하다(Ng, 2011). 일반적으로 식품 중에 함유된 비소는 대부분 유기비소의 형태라고 알려져 있으며(WHO, 1989), FAO/WHO에서는 식품을 통한 비소 섭취량에 대한 안정성 평가는 독성을 갖는 무기비소에 대해서만 체중 kg당 15 µg으로 정하고 있다(WHO, 1994). 또한 최근 백미(polished rice) 중 무기비소 최대잔류허용기준을 0.2 mg/kg (20 µg/100 g)로 설정하기로 제안된 바 있다(Åkesson 등, 2012).

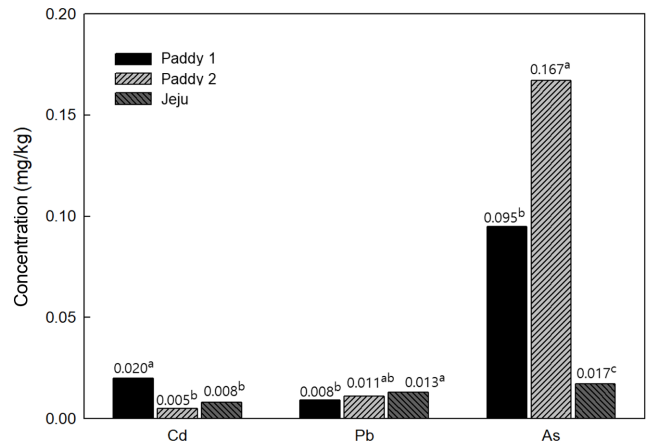


Fig. 3. Three kinds of heavy metal concentration of two paddy and Jeju rices.

총 비소에서 가장 높은 함량을 보인 논쌀 2와 가장 적은 양을 보인 제주말쌀의 무기비소 함량과, 각 쌀의 처리조건을 다양하게 하여 무기비소함량의 변화를 측정된 결과는 Table 4에 나타나 있다. 논쌀 2의 무기비소함량은 As(III)의 함량이 0.0067, As(V) 함량이 0.0420으로 총 0.0487으로 나타났으며, 제주말쌀의 경우 As(III)는 0.0026, As(V)는 0.0048, 총량은 0.0074로 총 무기비소의 함량은 논쌀 2의 15% 수준이었다. 두 쌀 모두 독성이 덜한 As(V) 함량이 As(III)보다 높게 측정되었다. 즉, 논쌀 2의 As(V)는 As(III)보다 약 6.2배, 제주말쌀은 As(V)가 As(III)보다 약 두 배 정도 높은 함량으로 측정되었다.

처리조건에 따른 논쌀 2의 무기비소함량의 변화를 살펴본 결과, 상온에서 3시간 증류수에 침지할 경우 As(III)는 무처리군인 대조군과 비교했을 때, 유의적 차이를 보이지 않았으나, As(V)는 무처리군의 약 1/2 수준으로 유의적 감소를 보였다. 밥을 한 이후에도 As(III)과 As(V) 모두 유의적으로 감소하였으며, 뜨거운 물을 흘리면서 씻어내는 경우도 무처리군보다 As(III)과 As(V) 모두 감소하는 경향을 보였다. 또한 As(III)보다는 As(V)의 감소폭이 더 큰 것으로 나타났다. 세척에 의한 쌀의 비소함량 변화에 대해 세척으로 무기비소 함량을 17-29%까지 감소시킬 수 있다는 연구가 있는 반면(Naito 등, 2015; Sengupta 등, 2006), Halder 등(2014)의 연구에서는 세척이 비소함량에 미치는 영향은 없으나, 취반에 의해서 총 비소함량은 34.3%, 무기비소함량은 평균 42.1% 감소하였다고 보고하였으며, 특히 취반된 쌀의 전체 비소함량의 변화는 무기비소 중 As(III)의 함량 변화와 같았다고 하였다. 밥을 할 때 쌀 부피보다 6배 가량 많은 부피의 물을 이용할 경우 35% 정도의 무기비소 함량을 줄일 수 있으며(Raab 등, 2009), 쌀의 도정도를 높일수록, 세척을 많이 할수록 그리고 많은 물을 넣고 가열할수록 쌀의 무기비소 함량은 감소한다는 보고가 있다(Yang 등, 2016). 본 연구에서도 처리방법을 달리하였을 때 논쌀

Table 4. Inorganic arsenic (Ar) content by various treatments in two paddy and Jeju rices (mg/kg)

	Rice	Control	Soaking (3 h)	Cooking	Dripping with hot water
As(III)	Paddy 2	0.0067±0.0001 ^{ab}	0.0068±0.0001 ^a	0.0063±0.0000 ^c	0.0065±0.0001 ^b
	Jeju	0.0026±0.0001 ^d	0.0026±0.0000 ^d	0.0025±0.0000 ^d	0.0026±0.0001 ^d
As(V)	Paddy 2	0.0420±0.0001 ^a	0.0253±0.0010 ^d	0.0308±0.0010 ^c	0.0337±0.0013 ^b
	Jeju	0.0048±0.0002 ^e	0.0049±0.0000 ^e	0.0051±0.0001 ^e	0.0049±0.0001 ^e

Means with different letters (a-e) within a raw are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

2의 경우, 총 무기비소의 함량(0.0487 mg/kg)이 수침 3시간일 때 0.0321 mg/kg로, 취반과 뜨거운 물을 흘리며 천천히 씻어 내릴 경우 0.0371, 0.0402 mg/kg으로 각각 34.1, 23.8, 17.5% 감소하였다. 그러나, 제주발쌀의 경우, 무처리 군과 비교하였을 때, 처리조건에 따른 유의적 변화를 보이지 않았는데, 이는 무처리군에 함유된 무기비소의 함량이 매우 적기 때문에 처리 방법에 따른 변화가 측정되지 않은 것으로 생각된다.

요 약

재배조건에 따른 차이를 보기 위해 논에서 재배되는 논쌀 두 종과 제주발쌀의 특성과 중금속 함량을 비교하였다. 두 논쌀 중 아밀로오스 함량이 높은 논쌀 2와 제주발쌀은 높은 페이스팅 온도와 낮은 최고 점성, 그리고 상대적으로 높은 셋백(setback)을 보였으나, 재배조건에 따른 차이를 보이지는 않았다. 제주발쌀은 짙은 노란색과 낮은 점성을 보여 외관과 기계적 식미치에서 논쌀보다 낮게 평가되었다. 중금속 중 카드뮴과 납은 논쌀과 발쌀의 차이를 보이지 않았으나, 총 비소함량의 경우 제주발쌀은 논쌀의 10.1-17.9%에 해당하는 양을 보였다. 또한 제주발쌀의 무기비소 함량도 논쌀 2의 무기비소함량의 15% 정도에 불과한 것으로 나타났다. 논쌀을 침수, 취반, 뜨거운 물로 씻어내기 등의 처리에 의해 무기비소 함량을 각각 34.1, 23.8, 17.5% 줄일 수 있는 것으로 나타났으나, 제주발쌀의 경우 무기비소함량이 매우 적어 처리에 의한 유의적 차이는 발견되지 않았다.

References

Åkesson MT, Point CC, di Caracalla VDT. Proposed draft maximum levels for arsenic in rice (AT STEP 3). Codex Alimentarius Commission. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Committee on Contaminants in Foods: Maastricht, Netherlands. (2012)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicology profile for arsenic. Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology, Atlanta, GA. (2007)

Benford DJ, Alexander J, Baines J, Bellinger DC, Carrington C, Devesai Perez, VA. Arsenic (addendum). WHO Food Additives Series, 63: 153-316 (2011)

Choi JY, Khan N, Nho EY, Choi H, Park KS, Kim KS. Speciation of arsenic in rice by high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Anal. Lett.* 49: 1926-1937 (2016)

Halder D, Biswas A, Iejkovec Z, Chatterjee D, Nriagu J, Jacks G, Bhattacharya P. Arsenic species in raw and cooked rice: Implications for human health in rural Bengal. *Sci. Total Environ.* 497: 200-208 (2014)

Hanashiro I, Abe J, Hizukuri S. A periodic distribution of the chain length of amylopectin as revealed by high-performance anion-exchange chromatography. *Carbohydr. Res.* 283: 151-159 (1996)

International Agency for Research on Cancer (IARC). Some drinking-water disinfectants and contaminants, including arsenic. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 84: 41-267 (2004)

KFDA. Food Code. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea, pp. 10-13 (2008)

Kim MH, Chang MI, Chung SY, Sho Ys, Hong MK. Trace metal contents in cereals, pulses, and potatoes and their safety evaluation. *J. Korean Soc. Food Sci. Nut.* 29: 364-368 (2000)

Kim SH, Jang MI, Moon GI, Oh HS, An KA, Cho MJ, Kang SM, Kim JA, Yoo SY, Lee KY. Studies on Heavy Metal Contamination of Agricultural Products, Soils and Irrigation waters in Abandoned mines of Daegu Kyungpook province. *Annu. Rep. KFDA,*

8: 388-397 (2004)

Kim HY, Kim JI, Kim JC, Park JE, Lee KJ, Kim SI, Oh JH, Jang YM. Survey of heavy metal contents of circulating agricultural products in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 41: 238-244 (2009)

Lee JO, Kim MH, Sho YS, Lee YD, Chung SY, Park SK, Park HJ. The monitoring of heavy metals in foods-Heavy metal contents in cereals. *Annu. Rep. KFDA,* 6: 76-82 (2002)

Lee JO, Sho YS, Oh KS, Kang KM, Suh JH, Lee EJ, Lee YB, Park SS, Kim HY, Woo GZ. Heavy metal survey of agricultural products in Korean circulation market. *Annu. Rep. KFDA, Korea* 9: 953 (2005)

Milstein LS, Essader A, Murrell C, Pellizzari E, Fernando RA, Raymer JH, Akinbo O. Sample preparation, extraction efficiency, and determination of six arsenic species present in food composites. *J. Agric. Food Chem.* 51: 4180-4184 (2003)

Morrison WR, Tester RF, Snape CE, Law F, Fidley MJ. Swelling and gelatinization of cereal starches: some effects of lipid-complexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. *Cereal Chem.* 70: 385-391 (1993)

Naito S, Matsumoto E, Shindoh K, Nishimura T. Effects of polishing, cooking, and storing on total arsenic and arsenic species concentrations in rice cultivated in Japan. *Food Chem.* 168: 294-301 (2015)

Ng JC. Evaluation of certain contaminants in food: Seventy-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (Vol. 959, No. 959). World Health Organization (2011)

Ohno K, Matsuo Y, Kimura T, Yanase T, Rahman MH, Magara Y, Matsushita T, Matsui Y. Effect of rice-cooking water to the daily arsenic intake in Bangladesh: results of field surveys and rice-cooking experiments. *Water Sci. Technol.* 59: 195-201 (2009)

Paik MK, Kim WI, Yoo JH, Kim JK, Im GJ, Hong MK. A probabilistic assessment of human health risk from arsenic-contaminated rice grown near the mining areas of Korea. *J. Food Hyg. Saf.* 25: 143-147 (2010)

Panel EC. Scientific opinion on arsenic in food. *EFSA J.* 7: 1351 (2009)

Raab A, Baskaran C, Feldmann J, Meharg AA. Cooking rice in a high water to rice ratio reduces inorganic arsenic content. *J. Environ. Monit.* 11: 41-44 (2009)

Sengupta MK, Hossain MA, Mukherjee A, Ahamed S, Das B, Nayak B. Arsenic burden of cooked rice: traditional and modern methods. *Food Chem. Toxicol.* 44: 1823-1829 (2006)

Singh N, Eckhoff SR. Hydrocyclone procedure for starch-protein separation in laboratory wet milling. *Cereal Chem.* 72: 344-348 (1995)

Takeda Y, Hizukuri S, Juliano BO. Structures and amount of branched molecules in rice amylose. *Carbohydr. Res.* 186: 163-168 (1989)

Tian Z, Qian Q, Liu Q, Yan M, Liu X, Yan C, Liu G, Gao Z, Tang S, Zeng D, Wang Y, Yu J, Gu M, Li J. Allelic diversities in rice starch biosynthesis lead to a diverse array of rice eating and cooking qualities. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106: 21760-21765 (2009)

Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.* 47: 411-420 (1970)

Williams PN, Price AH, Raab A, Hossain SA, Feldmann J, Meharg AA. Variation in arsenic speciation and concentration in paddy rice related to dietary exposure. *Environ. Sci. Technol.* 39: 5531-5540 (2005)

WHO. Environmental health Criteria 3-Lead. World Health Organization, Geneva Switzerland. pp 30-40 (1977)

WHO. Environmental health Criteria 18-Arsenic. World Health Organization, Geneva Switzerland. 43-50 (1989)

WHO. Summary of evaluations performed by the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Summary of evaluations performed by the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). (1994)

Yang SH, Park JS, Cho MJ, Choi H. Risk Analysis of Inorganic Arsenic in Foods. *J. Food Hyg. Saf.* 31: 227-249 (2016)