한작지(Korean J. Crop Sci.), 67(1): 9~16(2022)
DOI : https://doi.org/10.7740/kjcs.2022.67.1.009

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)

Original Research Article

분질배유를 지니는 흑미, ‘아로마티’의 주요 농업형질 및 가공적성 평가

하수경[1] · 모영준[2] · 정종민[3] · 이현숙[1] · 김진희[4] · 서우덕[5] · 정지웅[6,†]

Agronomic and End-use Quality Analysis of ‘AromaT’, a Black Rice (*Oryza Sativa* L.) Variety with Floury Endosperm

Su Kyung Ha[1], Young-Jun Mo[2], Jong-Min Jeong[3], Hyun-Sook Lee[1], Jinhee Kim[4], Woo-Duck Seo[5], and Ji-Ung Jeong[6,†]

ABSTRACT Rice is one of the most important staple foods in Wnju, Jeonbuk, South Korea. However, rice consumption has dramatically decreased as eating habits have diversified owing to rapid economic growth. Recently, floury endosperm rice varieties have been developed to invigorate the rice processing industry, because dry-milled rice flour is economically and environmentally suitable for massive rice flour distribution. The National Institute of Crop Science has developed ‘AromaT’, an early-maturing black rice with floury-endosperm, suitable for tea and dry milling. ‘AromaT’ was derived from a cross between ‘Suweon542’ as the floury endosperm source and ‘Heugjinju’ as the black and aromatic source. In this study, ‘AromaT’ and its parents, ‘Suweon542’ and ‘Heugjinju’, were analyzed for agronomic traits, anthocyanin content, and their major physicochemical properties by different planting date. The field experiment was conducted in Wanju, Jeollabuk-do Province, South Korea, in 2019. The transplanting dates were May 30 (ordinary season), June 25 (double-cropping season), and July 10 (late season). The yield performance of brown rice ‘AromaT’ was 330 kg/10 a in the double-cropping cultivation method and was the highest among the transplanting dates. The floury endosperm of ‘AromaT’ was derived from ‘Suweon542’ containing ‘*flo7*’, located on chromosome 5 and known to control floury endosperm. With the late planting date, the anthocyanin content of ‘AromaT’ was 570.5 mg/100 g, much higher than that of ‘Heugjinju’ (376.3 mg/100 mg). The brown rice of ‘AromaT’ also exhibited the pop-corn-flavoring 2-acetyl-1-pyrroline, exclusively detected in aroma rice varieties. The average particle sizes of ‘AromaT’ and ‘Suweon542’ were 67.12 μm and 70.9 μm, respectively, lower than that of ‘Heugjinju’ (95.5 μm) with a black transparent endosperm. The average damaged starch content of ‘AromaT’ was 8.1%, lower than that of ‘Heugjinju’ (10.05%) and Suweon542 (9.5%). As a result, ‘AromaT’ with high anthocyanin content, fine particle size, and low damaged starch content is expected to provide a new rice material in various processing fields.

Keywords : AromaT, black rice, black rice flour, rice flour

국내 쌀 소비 형태가 가정 내 ‘취반’에서 가정 밖 ‘가공’ 식품으로 빠르게 변화하고 있고, 쌀의 기능성 관련 연구가 활발해지고 있다. 특히 흑미에서 함량이 높은 안토시아닌은 현미 과피에 축적되고, 주로 cyanidin의 배당체(cyanidin-3-glucoside; C3G)와 배당체(Peonidin-3-glucoside;P3G)로 조성되었다. 또한, 적자색을 띄고, 대표적인 항산화 물질로 잘

[1)]농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과 농업연구사 (Junior Scientist, Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)
[2)]전북대학교 농생명과학대학 작물생명과학과 교수 (Professor, Department of Crop Science and Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea)
[3)]농촌진흥청 대변인실 농업연구사 (Junior Sceintist, Spokesperson Office, Rural Development Administration, Jeonju 54896, Korea)
[4)]농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 (Postdoc Fellow, Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)
[5)]농촌진흥청 국립식량과학원 기초기반과 농업연구관 (Senior Scientist, Crop Foundation Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)
[6)]농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과 농업연구관 (Senoir Scientist, Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

[†]Corresponding author: Ji-Ung Jeong; (Phone) +82-63-238-5231; (E-mail) jju@korea.kr
<Received 16 November, 2021; Revised 10 January, 2022; Accepted 19 January, 2022>

ⓒ 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

알려져있다(Ryu *et al*., 2006). 하지만, 주요 생리활성 물질인 안토시아닌 함량은 높은 열과 압력에 의해 낮아지는 것으로 보고되었다(Hiemori *et al*., 2009). 이는 국내에서 가장 보편적인 '취반용' 흑미 섭취의 효용성에 개선점이 필요함을 시사한다.

흑미의 안토시아닌 함량은 다양한 주동, 미동 유전자들의 복잡한 상호작용에 의해 결정된다고 알려져 있는데, 안토시아닌 생합성에 관여하는 주동 유전자는 Ra, Rc 및 Rd 등이 있다고 보고되었다(Ito & Lacerda, 2019). 유전적으로 고정된 흑미 품종이더라도, 안토시아닌 함량은 재배환경에 의해서 크게 영향을 받는다. 특히 이삭이 팬 후 등숙기 평균 온도가 22-23°C 일 때, 안토시아닌 함량은 최대치를 보이는데, 국내 벼 재배환경에서 6월 하순-7월 상순에 모를 내는 이모작 또는 만기 재배법이 적합하다(Bae *et al*., 2019). 따라서 흑미의 안토시아닌 생합성 특성을 활용하기 위해서는 생육기간이 짧아 이모작 또는 만기 재배에서도 안정적으로 수확이 가능한 조생종 품종이 유리하다. 짧은 최근 곡물 추출음료에 대한 소비자 관심이 높아지면서 차(茶)의 소재로써 흑미가 검토되고 있다(Bae & Chung, 2015). 그러나 차는 유용 성분을 뜨거운 물로 매우 짧은 시간에(80°C 내외, 3분 정도) 추출하여 음용하는 식품이라는 점을 고려할 때, 흑미차의 본연의 관능성을 향상시키기 위해서 안토시아닌 색소가 뜨거운 물만으로도 빠르게 용해되면서 고유의 향을 발산하는 흑미 품종이 유리하다.

흑미를 떡, 과자, 빵 등 가공품으로 제조하기 위해서는 흑미가루가 필요하다. 쌀을 가루형태로 만들기 위해서는 크게 두가지 방법을 사용한다. 첫번째, 세척, 불림, 탈수, 분쇄 등 공정을 거치는 '습식제분'의 방식이고, 두번째 분쇄, 포장의 공정만 거치는 건식제분 방법이 있다(Chiang & Yeh, 2002). 현재 대부분의 쌀가루는 배유의 경도 때문에 쌀을 물에 불려야하는 습식제분 방식으로 제분되고 있고, 흑미가루 역시 쌀을 물에 불리는 수침작업 공정을 거치는 것으로 알려져 있다. 이 과정에서, 다량의 안토시아닌이 용출될 수 있을 뿐만 아니라, 수침작업으로 인한 오폐수 정화, 살균 작업 등 추가적으로 환경 및 경제 비용이 필연적으로 발생한다(Yeh, 2004).

따라서, 최근 국립식량과학원에서는 일반 멥쌀보다 경도가 낮기 때문에 국내에서 습식제분보다 가공 단계 및 비용을 절약할 수 있는 건식제분에 적합한 쌀가루 계통인 '가루미'를 개발하였다. 건식제분에 유리한 분질배유 원천소재 '수원542호'를 비롯하여 '가루미1', '가루미2'를 개발하였고(Mo & Jeung, 2020), '수원542호'의 분질배유를 결정짓는 유전자가 5번 염색체에 위치한 열성 단인자 '*flo7*'에 의해 지배된다고 규명하였다(Mo *et al*., 2013). 분질배유를 지니는 흑미계통의 가루미도 개발되었다. '아로마티'는 가루미 원천소재인 '수원542호'를 모본, 흑미 품종인 '흑진주'를 부본으로 교배하였고, 분질배유를 지니는 흑미로써 효용성이 인정되어 2019년에 특허로 출원되었다(특허번호 : 10-2019-1079425, Ha *et al*., 2019).

본 연구에서는 분질배유를 지닌 흑미, '아로마티'의 주요 파종시기별 농업적 특성, 분질배유 결정 유전자형, 및 주요 가공 적합성을 보고하고자 한다. 특히, '아로마티'의 안정적 생산을 위해 안토시아닌 함량과 현미수량이 최적화될 수 있는 최적 이앙시기를 결정하기 위해 파종시기별 농업특성 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

'아로마티'의 육성 경위

'아로마티'는 분질배유 원천소재 '수원542호'를 모본으로 사용하였고, '흑진주'를 부본으로 2010년 하계에 교배하여 SR33555를 부여하였다. F_1 13개체를 양성하였고, F_2 135개체를 공시하여 F_3 35개체를 선발하였으며 F_7까지 계통을 전개하였다. 현미 과피색 및 분질배유 특성을 검정한 결과 SR33555-B-2-1-1-6-1계통을 선발하였다. 현미 적자색 발현 강도, 분질배유 및 수량성 등을 종합적으로 고려하여 'SR33555-B-2-1-1-6-1'계통을 '아로마티(AromaT)'라고 명명하였고, 농촌진흥청 국립농업과학원에 기탁하여 2019년 11월 25일자 수탁번호 KACC 98075P를 부여 받았다.

재배방법 및 농업특성조사

본 시험은 2019년 국립식량과학원 작물육종과 시험포장에서 수행되었다. 시험에는 '아로마티', '수원542호'(모본), '흑진주'(부본) 3품종을 이용하였다. 30일간 육묘한 모를 보통기(5월 30일), 이모작(6월 25일) 및 만기재배(7월 10일) 조건에서, 재식거리 30 × 15 cm로 주당 3본씩 손이앙하였다. 농촌진흥청 표준재배법를 준수하였고, 농업과학기술연구조사분석기준(RDA, 2012)에 의거하여 주요 작물학적 특성을 조사하였다. 출수기는 시험구 40~50%의 포기가 출수에 이른 날로 하였다. 출수 후 20일에 간장, 수장, 수수를 반복 당 20주, 수당립수는 3주를 선정 후 채취하여 조하였다. 정조수량은 100주를 예취하여 정조중을 측정하고 10a로 환산하였다. 제현율은 1 kg의 시료를 시험용현미기(Mini rice huller, Otake FC2K, Japan)를 이용하여 측정하였고, 10a 당 현미수량을 구하였다.

간장, 수장, 수수, 수당립수, 수량의 데이터 통계분석은

Jamovi 1.1.9.0을 이용하여 분석되었으며, 분산분석(ANOVA) 후 유의성이 나타난 항목은 Tukey 사후분석을 통해 $P<0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검정하였다.

'아로마티'의 분질배유 관련 유전자형 분석

'아로마티'의 분질배유 관련 유전자형 분석을 수행하였다. Genomic DNA 추출은 BiosSprint 96 (QIAGEN Co., USA)을 이용하였다.

벼 표준 유전체(IRGSP 1.0)정보를 바탕으로 선행연구를 통해 분질배유를 결정하는 5 번 염색체에 위치한 후보 유전자 PPDK1 (Pyruvate phosphate dikinase1)의 전사체 정보를 확인하였다. Os05g0405000-02-02 (19,718,538-19,737,605 bp)의 염기서열을 바탕으로 PPDKI1 내 19,718,785-19,726,340 (7,556 bp)의 염기서열을 분석하였다.

안토시아닌 함량 측정

열수처리에 의한 안토시아닌의 용출조건

흑미차 음용조건에서 '아로마티'의 적합성을 평가하고자 '흑진주'와 비교하여 시간별로 열수처리하여 안토시아닌 함량을 측정하였다. 2019년 보통기, 만기재배조건에서 생산된 '아로마티'와 '흑진주'의 현미를 사용하였다. 이모작조건에서 생산된 '아로마티'와 '흑진주'는 새피해로 인해 수확되지 못하여서, 안토시아닌 함량 측정이 제외었다. 현미 수분 15% 상태에서 열수처리하여 '아로마티'와 '흑진주'의 안토시아닌 함량을 정량분석 하였다. 비커에 80°C로 예열된 증류수 100 ml과 마크네틱바(Magnetic bar)를 넣은 후 자력식 가열교반기(Magnetic heating plate; BF-HPS120, 비엠에프코리아)에 올려 천천히 교반시키면서 증류수 온도를 안정화 시켰다. 증류수 온도가 안정화 된 후, 현미 시료 5 g을 투입하고 교반시켜서 30초 간격으로 총 6회(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0분)에 걸쳐 용출물 4 ml씩 취하였다. 용출물은 2,220 xg에서 10분간 원심분리(Continent 512R, 한일과학)한 뒤, 상층액 1 ml을 취하여 530 nm의 파장으로 흡광도를 측정하였다. 표준용액은 표준물질인 Cyanidin-3-glucoside (C3G; Sigma, USA)을 사용였고, 용출물 시료와 동일한 조건을 위해 200 μg의 C3G를 80°C 증류수 8 ml로 완전히 녹여 검량곡선을 작성 후 정량분석하였다.

전체 안토시아닌 함량측정

2019년 보통기, 이모작, 만기재배 조건에서 생산된 '아로마티'를 '흑진주'와 비교하여 안토시아닌 함량을 측정하였다. 안토시아닌 색소 추출 및 함량은 Hosseinian *et al.* (2008)의 방법을 이용하여 분석하였다. 150mesh 수준으로 건식으로 분쇄된 현미가루를 시료로 사용하였다. 시료 1 g에 1% 추출물 용매(1.0% HCl, 80%, MeOH (v/v)) 20 ml를 가하여 30°C 24시간 진탕 추출 후 0.2 μm 실린지 필터로 여과하였다. 여과된 용액을 GC-MS, HPLC 530 mm의 파장으로 정량분석하였다. 분석용매: A (물(0.1% TFA)), B (MeOH (0.1% TFA))를 사용하였고 표준용액은 표준물질인 Cyanidin-3-glucoside (C3G; Sigma, USA)을 사용하여 검량곡선을 작성 후 정량분석하였다.

통계분석은 Jamovi 1.1.9.0을 이용하였으며, 처리간의 차이는 t-test로 유의 수준 5% ($p<0.05$)에서 검정하였다.

기상자료

기상자료는 기상청 기상자료개방포털(KMA, 2019)에서 전주지역 기상을 다운받아 이용하였다. 출수 후 30일간, 출수 후 41~55일 및 출수 후 55일로 구분하여 평균기온과 적산온도를 각 품종과 재배시기별로 분석하였다.

향기성분 2-acetyl-pyrroline함량 측정

2-Acetyl-pyrroline 함량의 정량 분석을 위해 150 mesh 수준으로 분쇄된 현미가루 2.0 g에 5 ml의 EtOH에 넣고 80°C에서 60분간 추출 후, 1.5 ml tube에 옮겨 300 rpm에서 5분간 원심분리하였다. 그 상징액을 유리병에 담아 gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS; QP-2010 Ultra, Shimadzu, Japan)에 주입하였다. 컬럼은 DB-5MS (30 m × 0.25 mm I.D.)를 사용하였고 주입구의 온도는 250°C, 이동상 gas는 helium (99.9%)를 사용하였다. 컬럼의 오븐 온도는 초기 40°C에서 5분간 유지후 310°C에 도달할 때까지 분당 10°C의 속도로 증가시켰다. 정량분석을 위한 2AP 표준품은 Toronto Research Chemical, Canada에서 구입하여 사용하였고, Selected Ion Monitoring (SIM) 방법에 준하여 m/z 111에서 얻어진 표준품과 시료 함유 2-acetyl-pyrroline (2AP)를 각각 측정하여 정량분석하였다.

통계분석은 Jamovi 1.1.9.0을 이용하였으며, 처리간의 차이는 t-test로 유의 수준 5% ($p<0.05$)에서 검정하였다.

건식제분 적합성

2019년 만기재배에서 확보된 현미 상태의 '아로마티', '수원542호', '흑진주'를 기류식 제분기(Air Classifier Mill, 한국분체기계)를 이용하여 분쇄하였다. 입도 분석기(LS13320, Beckman Coulter Inc., 미국)를 이용하여 입도를 측정하였다. 쌀가루의 손상전분 함량은 Megazyme starch damage assay kit (Megazyme International Ltd, Wicklow, Ireland)를 사용하여(Chemists, 2001) 측정하였다.

통계분석은 Jamovi 1.1.9.0을 이용하여 분석되었으며, 분산분석(ANOVA) 후 유의성이 나타난 항목은 Tukey 사후분석을 통해 $P<0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

‘아로마티’의 주요 농업적 특성

‘아로마티’는 분질배유를 지니는 흑미이다(Fig. 1). 보통기, 이모작 및 만기재배에서 ‘아로마티’의 출수기는 각 7월 30일, 8월 14일, 8월 26일로 모두 ‘흑진주’ 보다 각 8일(7월 22일), 7일(8월 7일), 4일(8월 22일) 늦었다(Table 1). ‘아로마티’의 수당립수와 현미수량은 모든 재배조건에서 ‘흑진주’보다 높았다. 보통기, 이모작, 만기재배에서 ‘아로마티’의 수당립수는 각 105개, 95개, 92개이었고, ‘흑진주’는 각 82개, 75개, 77개였다. ‘아로마티’의 수량은 이모작(330 kg/10a), 만기(311 kg/10a), 보통기(316 kg/10a)순으로 높았다. 또한, ‘아로마티’와 ‘흑진주’의 현미 수량성은 보통기 재배(지수 101)보다 이모작(107) 및 만기재배(109)에서 격차가 더 컸다. 따라서, ‘아로마티’는 ‘흑진주’에 비해 남부지방에서의 이모작 및 만기재배 환경에 더 잘 적응할 것으로 분석되었다.

‘아로마티’의 분질배유 유전분석

‘아로마티’ 모본 ‘수원542호’의 분질배유는 열성 단인자 ‘flo7’에 의해 결정된다고 보고되었다(Mo *et al*., 2013). 본 실험에서는 ‘아로마티’의 분질배유가 ‘수원542호’에서 유래되었는지 유전자형으로 확인하였다. 선행연구를 통해 벼 표준 유전체(IRGSP 1.0)정보를 바탕으로 분질배유를 결정하는 5번 염색체에 위치한 후보 유전자 PPDK1 (Pyruvate phosphate dikinase1)의 전사체 정보를 확인하였고(Wang *et al*., 2018), 해당 염기서열을 분석하였다. 그 결과, 분질배유를 결정하는 유전자 cyOsPPDK (cytosolic pyruvate

Fig. 1. Grain appearance and black rice extract of ‘AromaT’. (A) Grain appearance of ‘AromaT’ and its parents under the ordinary cultivation method. (B) Back rice extract of ‘AromaT’ and ‘Heugjinju’. Brown rice from the late cultivation method was dissolved in distilled water (100 mL) and heated at 80°C for 3.0 min.

Table 1. Major agronomic traits and yield components of ‘AromaT’ and its parents.

Cultivation	Variety	HD (mm/dd)	DTH (days)	CL (cm)	PL (cm)	TN (no.)	KPP (no.)	Brown rice yield (kg/10a) (index)
Ordinary	AromaT	7/30	91	80a	23a	10a	105a	316a (101)
	Suweon542	8/01	93	83a	24a	11a	121b	477b (152)
	Heugjinju	7/22	83	78a	20a	13b	82ab	313a (100)
Double	AromaT	8/14	74	76a	22a	10a	95a	330a (107)
	Suweon542	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	Heugjinju	8/07	67	80b	23a	11a	75b	309b (100)
Late	AromaT	8/26	72	71a	22a	9a	92a	311a (109)
	Suweon542	8/31	77	77b	22a	8a	115b	452b (158)
	Heugjinju	8/22	68	75ab	21a	10b	77ab	286ab (100)

HD, heading date; DTH, days to heading; CL, culm length; PL; panicle length; TN, tiller number; KPP, kernels per panicle; NE, not evaluated.
Different lowercase letters indicate significant differences according to Tukey’s honest significant difference (HSD) test (ns: not significant).

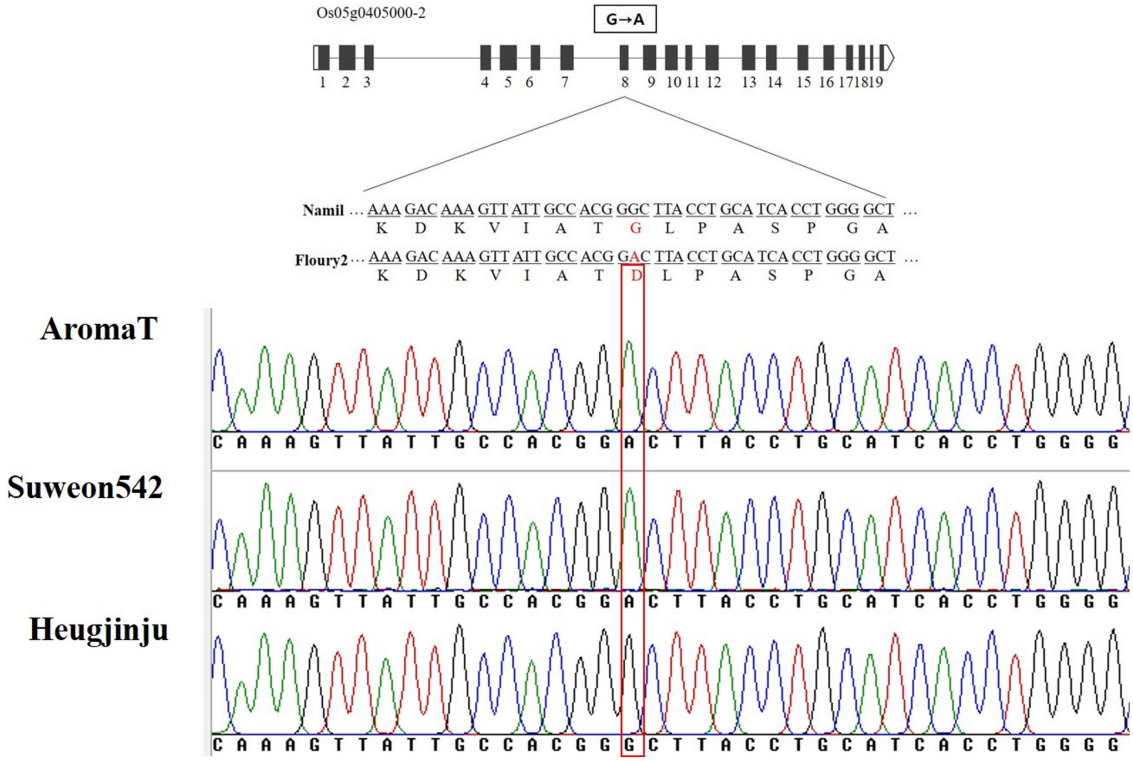

Fig. 2. Sequence variation in *flo7* detected from a previous study (Wang *et al*., 2018) and comparison of DNA sequence showing a nucleotide mutant (G→A) within exon8 in 'AromaT', 'Suweon542', and 'Heugjinju'.

orthophosphate dikinase protein)의 ORF (Open Reading Frame) Os05g0405000-02 8번 Exon에 존재하는 SNP가 '아로마티'와 '수원542호'는 A염기를, '흑진주'는 G 염기를 지니고 있음을 확인하였다. '아로마티'는 '수원542호'에서 마찬가지로 Os05g0405000-02의 404번째 아미노산이 글리신(Glycine, Gly, G)에서 아스파르트산(Asparic acid, Asp, D)로 변경되었음을 확인하였다. 따라서 '아로마티'의 분질배유 특성은 '수원542호'에서 유래되었음을 유전적으로 확인할 수 있었다(Fig. 2).

'아로마티'의 안토시아닌 열수처리에 의한 용출성 및 향기성분 분석

흑미의 안토시아닌 함량은 이앙시기가 늦어 등숙기 평균온도가 낮을수록 높아지지는 것으로 보고되었다(Kim *et al*., 2013; Oh *et al*., 2015; Bae *et al*., 2017). '아로마티'의 흑미차로써 음용 가능성을 확인하기 위해서 뜨거운 물에서 현미상태에서 '아로마티'의 안토시아닌 함량을 시간에 따라 '흑진주'와 비교하여 분석하였다. 본 시험에서도 기존에 보고된 바와 같이, 이앙시기가 늦을수록 흑미의 안토시아닌 함량이 높아지는 경향이 있었다. 시간이 지남에 따라 80°C 물에서 현미상태에서 '아로마티'와 '흑진주'의 안토시아닌

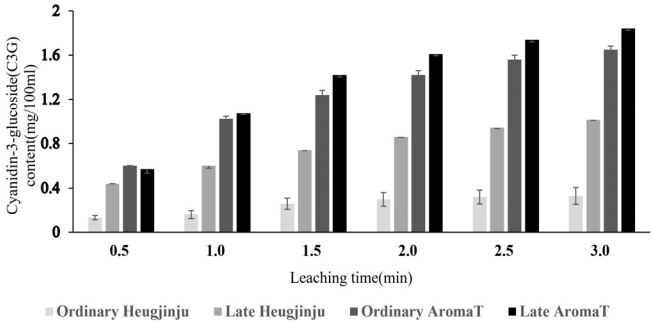

Fig. 3. Cyanidin-3-glucoside (C3G) content of brown rice according to leaching time (min). C3G was dissolved in distilled water (100 mL) and heated to 80°C for 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, and 3.0 min. Error bar indicates ±SD (n = 3).

함량은 지속적으로 증가하였다. '아로마티'의 안토시아닌 함량은 보통기·만기재배에서 '흑진주' 보다 높았다. 80°C 물에서 3.0분 지난 후 '아로마티'의 안토시아닌 함량은 보통기·만기재배에서 각 1.65 mg/100 ml, 1.84 mg/100 ml이었고, '흑진주'의 안토시아닌 함량은 각 0.33 mg/100 ml, 1.01 mg/100 ml 이었다(Fig. 3).

열수처리 과정에서 '아로마티'의 추출물에서 '흑진주'와

거의 비슷한 구수한 향이 발산되는 것을 확인하였다. 만기재배에서 생산된 '아로마티'와 '흑진주'에서 구수한 향의 주성분으로 알려진 2-acetyl-pyrroline (2AP)를(Buttery *et al*., 1988) 분석하였다. 그 결과 2AP 성분은 '아로마티'(1.09 μg/g)와 '흑진주'(1.18 μg/g)에서 검출되었으나, '수원542호'에서는 검출되지 않았다(Table 2). '아로마티'는 벼에서 주요한 향기성분인 2-acetyl-pyrroline이 포함되어 구수한 향을 나타내고, 간단한 열수처리를 통해 높은 안토시아닌 함량을 섭취할 수 있으므로 흑미차로써 적합할 것으로 판단된다.

'아로마티'의 안토시아닌 함량 및 건식제분 특성

'아로마티'의 안토시아닌 함량은 세가지 재배법 모두에서 '흑진주'보다 매우 높았다. 특히, '아로마티'의 안토시아닌 함량은 이모작 재배(587.2 mg/100 g) 에서 가장 높아 '흑진주'보다(419.6 mg/100 g) 40.0% 높았다. 이모작 재배에서 '아로마티'와 '흑진주'의 등숙기간(출수이후 55일) 평균기온은 각 23.2°C, 24.4°C이었다. 이는 이삭이 팬 후 등숙기 평균온도가 22~23°C 일 때 안토시아닌 함량이 최대치를 보였다는 선행연구와 잘 부합됨을 알 수 있었다(Bae *et al*., 2017).

또한, 만기재배에서 '아로마티'의 안토시아닌 함량은 570.5 mg/100 g으로 '흑진주'(376.3 mg/100 g)보다 51.6% 높았다. 만기재배에서 '아로마티'의 현미 수량(311 kg/10a)이 '흑진주'(286 kg/10a)보다 9% 증수되었다는 점을 고려하면(Table 1), '아로마티'는 단위면적 당 '흑진주'보다 월등히 많은 양의 안토시아닌 생합성이 가능하다. 이모작 재배에 비해 만기 재배에서 안토시아닌 함량은 '아로마티'(570.5 mg/100 g)와 '흑진주'(376.3 mg/100 g) 모두 감소하였다. 10월 이상저온으로 인하여 등숙후기 15일(출수후 41~55일) 동안의 평균기온이 '아로마티', '흑진주' 각 16.6°C, 18.1°C로 저온이었기 때문으로 보인다. 이모작 재배 대비 만기재배에서 저온으로 인한 안토시아닌 함량 감소는 '흑진주'가 10%

Table 2. Characteristics related to black rice tea and dry-milling flour of 'AromaT' from the late cultivation method in 2019.

Variety	Black rice tea	Dry-milling	
	2AP content (μg/g)	Mean particle size (μm)	Damaged starch rate (%)
AromaT	1.09 ± 0.09ns	67.4 ± 0.91a	8.1 ± 0.03a
Suweon542	NE	71.0 ± 0.44a	9.6 ± 0.21b
Heugjinju	1.18 ± 0.11ns	95.6 ± 7.31b	10.1 ± 0.44b

NE: not evaluated.
Different lowercase letters indicate significant differences according to Tukey's honest significant difference (HSD) test (ns: not significant).
2AP: Different letters indicate significant differences between varieties (*t*-test, $p<0.05$; ns, not significant).
Dry milling: Different lowercase letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test (ns: not significant).

Table 3. Cyanidin-3-glucoside (C3G) content of the powder extract from black rice bran and its temperature conditions after heading date in ordinary, double, and late cultivations. C3G was dissolved in distilled methanol solvent heated to 30°C for 24 h. The data are means ± S.D. (n = 3).

Cultivation	Variety	C3G content of brown rice (mg/100 g)	HD (mm/dd)	30 days AHD		41-55 days AHD		55 days AHD	
				AT (°C)	ACT (°C)	AT (°C)	ACT (°C)	AT (°C)	ACT (°C)
Ordinary	AromaT	480.6 ± 0.5a	7/30	27.3	820	22.6	339	25.5	1,400
	Suweon542	NE	8/01	27.0	809	21.8	327	25.1	1,379
	Heugjinju	74.5 ± 0.3b	7/22	28.1	844	24.3	365	26.4	1,455
Double	AromaT	587.2 ± 13.1a	8/14	25.0	750	20.8	313	23.2	1.277
	Heugjinju	419.6 ± 4.2b	8/07	25.9	777	21.0	315	24.4	1,340
Late	AromaT	570.5 ± 4.9a	8/26	23.0	691	16.6	249	21.1	1,160
	Suweon542	NE	8/31	22.7	682	16.7	250	20.5	1,126
	Heugjinju	376.3 ± 1.3b	8/22	23.9	716	18.1	272	21.7	1,195

HD, heading date; AHD, after heading date; AT, average temperature; ACT, accumulated temperature; NE, not evaluated.
Different lowercase letters indicate significant differences between varieties (*t*-test, $p<0.05$; ns, not significant).

(43.3 mg/100 g)에 비해 '아로마티'는 3% (16.7 mg/100 g)로 낮았다. 또한 보통기 재배에서 '아로마티'(480.6 mg/100 g) 안토시아닌 함량은 '흑진주'(74.5 mg/100 g) 보다 월등히 높았다. 이는 등숙기간(7월말~9월초)의 높은 기온 조건에서도 '아로마티'는 '흑진주'에 비해 더 안정적으로 안토시아닌 색소를 생성했기 때문으로 보인다. 따라서 '아로마티'는 '흑진주'부다 안토시아닌 색소 생합성 능력이 뛰어나고, 등숙기간 동안 저온 및 고온에 대한 적응력도 우수하다고 판단된다(Table 3).

일반적으로 쌀은 배유특성상 밀에 비해 곡립 경도가 높고 제분에 의해 물리·화학적이 달라진다(Nishita & Bean, 1982). 또한, 선행연구에 따르면 손상전분 함량이 높으면 쌀가루의 수분흡수 표면적과 흡수정도가 증가하여 가공공정에 유리하지 않을 것으로 밝혀졌다(Yoon *et al*., 2011). 본 연구에서는 기류식으로 제분된 '아로마티'의 입도 및 손상전분을 '수원542호'(모본), '흑진주'(부본) 함께 분석하였다. 그 결과, '아로마티'의 평균입도는 67.4 μm으로 '수원542호'(71.0 μm)와 비슷하였고, '흑진주'(95.6 μm)보다 매우 고운입자로 이루어져 있음을 확인하였다. 기류식으로 생산된 '아로마티'(8.1%)의 손상전분은 '수원542호'(9.6%), '흑진주'(10.1%)보다 낮았다. 동일 조건에서 '아로마티'는 '흑진주'보다 미세한 조건으로 분쇄되고, 손상전분 함량이 낮기 때문에, 가공공정에 다양하게 활용될 것으로 판단된다.

적 요

흑미에서 생합성되는 안토시아닌에 대한 관심이 높아지고 있고, 환경 및 제분비용이 낮은 건식제분 쌀가루의 장점이 부각되고 있다. 이에 따라 국립식량과학원에서는 분질배유를 지녀 건식제분에 적합한 벼 '수원542호'에 흑미인 '흑진주'를 교배한 '아로마티'를 개발하였고, 2019년 특허출원하였다(Ha *et al*., 2019). 2019년 국립식량과학원 작물육종과 포장에서 재배된 '아로마티'의 재배시기별 주요 농업형질, 분질배유 및 건식제분 적합성을 연구한 주요 결과는 다음과 같다.

1. '아로마티'는 남부지방에서 이모작 또는 만기재배에 적합하다. 이모작 및 만기재배에서 '아로마티'의 출수기는 각 8월 14일 및 8월 26일으로써 부본인 '흑진주'보다 늦었다. '아로마티'와 '흑진주' 현미수량성은 보통기 재배보다 이모작 재배와 만기재배에서 격차가 더 컸다. '아로마티'의 안토시아닌 성분과 향기성분인 2AP 함량은 만기재배에서 유리하다. 따라서 '아로마티'는 '흑진주'에 비해 남부지방에서의 이모작 및 만기재배 환경에 더 적합할 것으로 판단된다.
2. '아로마티'의 분질배유는 모본인 '수원542호'에서 유래되었다고 유전적으로 규명하였다. '수원542호'의 분질배유는 5번염색체에 존재하는 열성 단인자 '*flo7*'에 의해 결정되고, 분질배유 유전자인 cyOsPPDK 유전자의 ORF 내 8번 Exon에 존재하는 SNP의 서열이 G에서 A로 치환되었다고 보고되었다. 해당 영역의 '아로마티'의 SNP 서열은 '수원542호'와 동일하게 G에서 A로 치환되었다. 또한, '아로마티'에서는 '수원542호'와 동일한 'Adenine' 염기가 확인되었고, '흑진주'에서는 'Guanine' 염기가 확인됨을 알 수 있었다. 따라서 '아로마티'의 분질배유는 '수원542호'에서 유래되었음을 유전적으로 확인할 수 있었다.
3. '아로마티'가 '흑진주'보다 등숙기간의 저온 및 고온 적응력이 더 우수하다. '아로마티'의 안토시아닌 함량은 모든 재배조건에서 '흑진주'보다 높게 생합성되기 때문이다. 특히, 만기재배에 생산된 '아로마티'는 부본인 '흑진주'보다 열수처리를 통해 용출되는 안토시아닌 함량도 높았고, 구수한 향을 발산하는 2AP의 함량이 높으므로 음용이 간단한 흑미차 소재로 활용가치를 확인하였다.
4. '아로마티'는 건식 흑미가루 생산에 적합하다. '아로마티'는 분질배유를 지니었기에, 가루로 제조할 경우 입도가 곱고, 손상전분이 낮다. 따라서 '아로마티'는 다양한 쌀 가공품 소재로 활용가능성이 높은 건식 흑미가루 생산에 적합할 것으로 판단된다.
5. 이상의 결과로 '아로마티'는 분질배유를 지니는 흑미이자 향이 존재하는 점을 고려할 때, 고품질 흑미가루 및 현미차 등으로 활용하여 쌀가공산업에 신소재로써 가치가 높다고 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ0128902020)의 지원으로 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

Bae, S. O. and D. O. Chung. 2015. Quality characteristics of tea-bags processed with black rice and black rice bran. Journal of Korean Tea Society 21(2) : 85-90.

Bae, H. K., S. H. Oh, J. D. Hwang, J. H. Seo, S. Y. Kim, and M. K. Oh. 2017. Polyphenol content and yield variation of red-colored cultivars depends on transplanting date in southern

plain region of Korea. Korean Journal of Crop Science 62(3) : 166-171.

Bae, H. K., S. H. Oh, J. D. Hwang, and S. Y. Kim. 2019. Variation in grain quality and yield of black-colored rice affected by the transplanting time and temperature during ripening stage. Korean Journal of Crop Science 64(2) : 63-69.

Buttery, R. G., J. G. Turnbaugh, and L. C. Ling. 1988. Contribution of volatiles to rice aroma. Journal of Agricultural and Food Chemistry 36(5) : 1006-1009.

Chemists, A. A. of C. 2001. AACC method 08-01: Ash basic method.

Ha, S. K., J-U. Jeong, D. K. Lee, Y. J. W. D. Seo, Mo, J. M. Jeong, W. J. Kim, and B. K. Kim. 2019. New early-maturing black rice lines, AromaT, with floury endosperm and the food preparation containing them as valid ingredient. Patent number: 10-2019-1079425.

Hiemori, M., E. Koh, and A. E. Mitchell. 2009. Influence of cooking on anthocyanins in black rice (oryza sativa L. japonica var. SBR). Journal of Agricultural and Food Chemistry 57(5) : 1908-1914.

Hosseinian, F. S., W. Li, and T. Beta. 2008. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. Food Chemistry 109(4) : 916-924.

Ito, V. C. and L. G. Lacerda. 2019. Black rice (Oryza sativaL.): A review of its historical aspects, chemicalcomposition, nutritional and functional properties, and applications andprocessing technologies. Food Chemistry 301(125304).

Kim, S.-K., J.-H. Shin, D.-K. Kang, S.-Y. Kim, and S.-Y. Park. 2013. Changes of Anthocyanidin content and brown rice yield in three pigmented rice varieties among different transplanting and harvesting times. Korean J Crop Sci 58(1) : 28-35.

Korea Meteorological Administration (KMA). 2019. Automated Synoptic Observing System. Retrieved from https://data.kma.go.kr

Mo, Y.-J., J.-U. Jeung, Y.-S. Shin, C. S. Park, K.-H. Kang, and B.-K. Kim. 2013. Agronomic and genetic analysis of Suweon 542, a rice floury mutant line suitable for dry milling. Rice 6(37) : 1-12.

Mo, Y.-J. and J.-U. Jeung. 2020. The use of floury endosperm mutants to develop rice cultivars suitable for dry milling. Plant Biotechnology Reports 14(2) : 185-191.

Nishita, K. D. and M. M. Bean. 1982. Grinding methods: their impact on rice flour properties. Cereal Chem. 59 : 46-49.

Oh, S. H., K.-J. Choi, S. Y. Kim, W. D. Seo, S. I. Han, J. H. Cho, Y. C. Song, M. H. Nam, C. K. Lee, and S. Woo. 2015. Variation of functional materials and antioxidant activity as affected by cultivation environment in pigmented rice varieties. Korean Journal of Crop Science 60(2) : 153-166.

RDA. 2012. Standard of analysis and survey for agricultural research. Suwon. Korea.

Ryu, S.-N., S.-J. Han, S.-Z. Park, and H.-R. Kim. 2006. Antioxidant activity of blackish purple rice. Korean J Crop Sci 51(2) : 173-178.

Wang, H., Y.-J. Mo, D. E. Im, S. G. Jang, T. H. Ham, J. Lee, J. U. Jeung, and S. W. Kwon. 2018. A new SNP in cyOsPPDK gene is associated with floury endosperm in Suweon 542. Molecular Genetics and Genomics 293(5) : 1151-1158.

Yeh, A. 2004. Preparation and applications of rice flour Rice: Chemistry and Technology 495-539.

Yoon, M.-R., A.-R. Chun, S.-K. Oh, S.-H. Ko, D.-J. Kim, H.-C. Hong, I.-S. Choi, and J.-H. Lee. 2011. Physicochemical Properties of Endosperm Starch and Breadmaking Quality of Rice Cultivars Korean Journal of Crop Science 56(3): 219-225.