Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2017;36(3):175-183. Korean
Published online 2017 September 30. https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.3.26

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

국내 육성된 향미 품종의이앙시기별 이화학적 특성 및 향기성분 비교 분석

조준현[1], 송유천[1], 이광식[2], 최식원[2], 이미자[2], 장기창[2], 김현영[2], 강현중[2], 박기도[2], 서우덕[2*]

[1]국립식량과학원 남부작물부, [2]국립식량과학원 작물기초기반과

Physicochemical Characteristics of Cultivated Aromatic Rice Germplasm and Comparative Analysis of Flavor Components During Transplanting Time

Jun Hyun Cho[1], You Chun Song[1], Kwang Sik Lee[2], Sik Won Choi[2], Mi Ja Lee[2], Ki Chang Jang[2], Hyun Young Kim[2], Hyeon Jung Kang[2], Ki Do Park[2] and Woo Duck Seo[2*] ([1]Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science (NICS), Rural Development Administration (RDA), Wanju, 55365, Korea, [2]Department of southern crop, National Institute of Crop Science (NICS), Rural Development Administration (RDA), Miryang, 50425, Korea)

Received: 2 August 2017/ Revised: 14 September 2017/ Accepted: 25 September 2017

ORCID
Woo Duck SEO
http://orcid.org/0000-0001-7394-5636

Abstract

BACKGROUND: The Aromatic rice which is characterized by the flavor of Nurungji when cooked rice, and consumption is increasing recently. The purpose of this study was to investigate the physicochemical characteristics and aroma components of five aromatic rice cultivars according to transplanting time.

METHODS AND RESULTS: Quantitative analysis of protein, fat, fatty acid and essential amino acid for five aroma rice cultivars(Hyangmibyeo 2 ho, Aromi, Mihyang, Aranghyangchal, Heughyang)and transplanting time was analyzed by crude protein analyzer, gas chromatography (GC), liquid chromatography (LC) and viscosity analysis was done by using rapid viscosity analyzer (RVA). The content of 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) was determined by gas chromatography mass spectrometer. (GC-MS) As a result, the average protein and lipid contents were 6.5% and 2.4%, respectively. The content of essential amino acid showed the highest content at 104.4mg/g. There was no significant change in normal nutrients during the transplanting time. By RVA, cv.Hyangmibyeo 2 ho showed the highest peak and total setback viscosities and lowest breakdown viscosity in early transplantation. The content of 2AP in flavor varieties and transplanting time was quantitatively analyzed by GC-MS. Among the cultivars, Aromi showed the highest 2AP contents at 66.7 μg/100gin normal transplanting time.

CONCLUSION: cv.Aromi and Hyangmibyeo 2 ho were excellent physicochemical properties and 2AP components contents amongaromatic rice cultivars tested. Theiroptimaltime to transplant was at the beginning of June in the area of Miryang.

Key words: Aroma components, Aromatic rice, GC-MS, LC, Physicochemcial properties, RVA, 2-acetyl-1-pyrroline

*Corresponding author: Woo Duck Seo
Phone: +82-63-238-5333; Fax: +82-63-238-5305;
E-mail: swd2002@korea.kr

서 론

벼는 우리나라를 포함하여 일본, 태국, 인도네시아 등 동남아시아 각국의 주요한 주곡 작물이며 가공식품으로 활용도가 높은 곡류 중의 하나이다. 따라서 쌀의 영양성분 함량을 높이고 건강에 도움이 되는 기능성 물질 함량을 높이는 등 품

Fig. 1. Whole grain (left) and polished aromatic rice (right) cultivars.

질을 향상시키기 위한 연구 또한 오랫동안 진행되어 왔다(Oh *et al.*, 2015). 최근 우리나라는 고령화, 다문화, 1인 가구가 급속히 증가하고 웰니스, 뷰티에 대한 문화가 급속히 형성 되어 이러한 소비자의 니즈는 쌀의 연구방향에도 반영되어 기존의 밥맛 향상 연구 뿐만 아니라 건강 기능성, 편의성이 강화된 기능성 특수미에 대한 연구가 활발히 진행중이다(Son *et al.*, 2002). 밥맛을 결정짓는 화학적 특성(Kim and Kim, 1987)으로 쌀의 단백질, 아밀로스 함량(Gomez and Datta, 1975; Juliano, 1985) 및 점성(Son *et al.*, 2002) 등에 대한 연구가 많이 알려져 있고 더불어 건강 기능성과 기호성이 증가된 기능성 특수미 연구가 더욱 중요하게 대두되고 있다. 특수미 중 현미의 종피가 검정색을 나타내며 노화방지(Choi *et al.*, 2012), 항산화(Sompong*et al.*, 2011) 및 골다공증 개선(Jang *et al.*, 2015)이 알려진 안토시아닌계 색소를 함유하는 흑미와 현미의 종피가 적색 또는 적갈색을 띄는 항염증(Hu *et al.*, 2003) 등의 효능이 알려진 탄닌계 색소를 함유하는 적미(Shao *et al.*, 2015)에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

특히 향미는 밥 취반시 누룽지와 팝콘과 같은 향을 가지는 것을 특징을 가지는 기능성 쌀로서 동남아시아인도, 인도, 북동아시아 등에서 주로 재배되어 일반쌀에 비해 부가가치가 높은 고급쌀로 인식되어 있다(Buttery *et al.*, 1988). 우리나라에서는 1970년대를 시작으로 현미쌀이나 쌀밥의 향기성분을 구명하는 연구(Lee *et al.*, 1991)가 시작된 이래 1993년에 도복에 강하고, 병해충 저항성이 높은 복합내병성신풍종인 향미 벼1호(Choi *et al.*, 1995)를 육성하였고 이후 향남벼(Ha *et al.*, 1996), 향미벼 2호(Moon *et al.*, 1998)를 육성하여 보급하고 있다. 향미의 향기를 가지는 방향성 화합물에 관한 연구는 주로 기체크로마토그래피(Gas chromatography, GC)와 기체크로마토그래피-질량분석(Gas chromatography Mass, GC-MS)의 분석기기를 이용하여 약 200여종 이상의 방향성 화합물이 보고 되었다(Bryant and McClung, 2011; Mahmud *et al.*, 2016). 그중에서 향미의 핵심 향기성분으로 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)가 향미의 향을 결정하는 중요한 방향성분 중의 하나로 알려져 있다(Lee and Kim, 1999; Kim *et al.*, 2008; Wakte*et al.*, 2016). 향미의 향기성분 종류, 종피색소 및 유전적인 연구는 진행되고 있으나 향미 품종의 이앙시기에 따른 이화학적 특성 및 향기성분 변화에 대한 연구는 부진한 실정이다

따라서, 본 연구에서는 최근의 개발된 국내 향미 품종을 이용하여 이앙시기별 향미의 기본 영양성분 변화, 이화학적 특성 및 대표 향기성분인 2AP 함량을 정량분석하여 향미의 고유한 향기성분이 고함유된 고품질의 향미를 생산할 수 있는 적정 재배관리기술 확립을 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배방법

시험재료는 향미 품종인Hyangmibyeo 2 ho, Aromi, Mihyang, Aranghyangchal, Heughyang 5품종 (Fig. 1)을 경남밀양지역의 남부작물부 시험포장에서 5월 2일, 5월 15일, 6월 1일에 상자당 180 g씩 파종하여 20일 후 이앙하였다. 비료의 시비량은 10a 당 질소 9 kg, 인산 4.5 kg, 칼륨 5.7 kg로 시비하였고 재식거리는 30×15 cm로 이앙하였다.

시약

2-Acetyl-1-pyrroline (2AP)는 Parchem fine & Specialty Chemicals (NY, USA)에서, Amylose from potatos와 지방산 표준품은 fatty acid methyl ester는 Sigma Chemical Co. (St Louis, MO, USA)에서 구입하였다. AQC-Derivatized Amino Acid 표준품은 Waters (MA, USA)에서 구입하였다.

이화학적 특성평가

향미 시료는 수확 후 탈곡하여 수분함량이 15%가 되도록 음건하여 4℃에서 저장하여 실험에 사용하였다. 실험실용현미기(쌍용, SYY88-TH)로 왕겨, 불순물 등을 제거한 후 백미기로 도정하고 백미기를 분쇄기로 약 1분간 분쇄 한 후 100 Mesh의 채로 쳐서 균일한 백미가루를 이용하였다.

1) 단백질, 지방 함량 분석

단백질은 Kjeldahl질소정량법(Juliano, 1985)을 참고하여 자동킬달질소분석기(Kjeltec Auto Anlayzer, Foss, USA)로 분석하였다. 시료 2 g을 200 mL Kjeldahl 분해병에 넣고 황산(H_2SO_4) 10 mL를 가한 후 분해촉매제 1 g을 넣고 400℃에서 2 h동안 분해 하였다.실온에서 냉각시킨 후 3차 증류수 150 mL를 가하고 45%가성소다(NaOH) 5 mL을 가하여 중성화 시킨 후 증류장치로 35 mL 증류 한 후, 2% 붕산

용액(H_3BO_4) 5mL를 넣어 0.1 N 황산 표준용액으로 질소함량(N)을 분석 한 후,질소보정계수 5.95(%)로 계산하여 조단백질 함량으로 환산하였다.

조지방 분석은 시료 10 g을 정량하여 건조기에서 90℃에서 3 h동안 충분히 건조시킨 후 무수에테르를 추출용매로 사용하여 Soxhlet 지방추출장치를 사용하여 24 h 동안 시료의 지질을 연속 추출한 뒤 추출액에서 에테르를 제거한 후 다시 90℃에서 증발하여 남은 잔유물을 조지방으로 사용하는 Soxhlet 추출법을 이용하였다.

2) 지방산 분석

지방산 분석은 (Kim *et al.*, 2014)의 방법을 응용하여 향미 시료를 Soxhlet 추출법을 이용하여 추출한 다음 100 mL 둥근플라스크에 지방질 200 mg을 덜어낸 후 0.5 N NaOH/MeOH을 10 mL 첨가하였다. 환류냉각기를 이용하여 지방구가 없어질 때까지 가열하여 가수분해 시킨 뒤 10% BF3/MeOH 5 mL를 환류냉각기 위로 넣어 5 min간 반응시켜 메틸에스터화 한다. 5 mL n-헥산을 환류냉각기에 넣어 반응시켜 냉각관을 분리한 뒤 반응플라스크에 15 mL의 식염수를 넣고 흔든 후 n-헥산층만 덜어내어 무수황산나트륨(Na_2SO_4)으로 탈수 한 뒤 시험액을 불꽃이온화검출기(Flame Ionization Detector, FID)가 장착된 GC (Agilent 7890A system, Agilent, CA, USA)이용하여 분석하였다. 컬럼은 HP-INNOWax (30 m×0.25 mm×0.25 μm, Agilent), 검출기의 온도는 260℃였다. 주입기 온도는 200℃, 오븐의 온도는 60℃/5 min을 시작으로 매분 10℃상승시켜 250℃/5 min까지 올렸고 이동상 기체는 헬륨을 사용하였다.

3) 아밀로스분석

아밀로스 분석은 Juliano (1971)의 비색법에 따라 0.1 g 백미시료에 95% 에탄올 1 mL와 1 N NaOH 9 mL를 넣어 진탕 항온수조에서 15 min간 호화시킨 후 3차 증류수로 100 mL가 될 때까지 채운 후, 그 중 10 mL 를 덜어내어 1 N 초산(아세트산) 2 mL와 2% I_2-KI (Iodine 용액) 4 mL를 넣고 3차증류수로 100 mL까지 채운 후 30℃에서 20 min간 반응하여 발색시킨 후 UV/Vis 분광광도계로 흡광도(620 nm)를 측정하였다.

4) 아미노산 분석

향미 분말(2 g)에 80%(v/v) 에탄올 25 mL를 가하여 30℃에서 4 hr 초음파로 추출하고, 원심분리(3,000 rpm,10 min) 한 후 상등액은 다른 시험관에 이동시키고 침전물은 반복 추출하여 상등액을 모두 합해서 80%에 탄올로 50 mL에 맞추었다. 그 중 1 mL를 취해서 농축한 후 5%트리클로로아세트산을 1 mL 가하여 5 min 동안 반응시키고, 원심분리(10,000 rpm, 10 min)하였다. 그 상등액을 취해서 0.02 N 염산 1 mL로 가수분해하고, 0.2 μm 실린지필터를 통과시킨 후 유도체화 시약 넣어 반응시킨 후 분석용 시료로 사용하였다. 유리아미노산은 Waters (MA, USA)에서 개발한 AccQ-Tag amino acid analysis방법에 따라 AccQ Tag amino acid analysis column (3.9×150 mm, Waters, MA, USA) 컬럼을 장착한 초고압액체크로마토그래피(ACQUITY UPLC system, Waters, MA, USA)로 분석하였다.

아밀로그램 및 호화특성 분석

향미의 아밀로그램 분석은 Rapid Visco Analyzer (Newport, RVA-3D, UK)를 사용하여 2 g의 향미 시료를 2 mL 증류수로 현탁액을 만들어 믹스볼에 넣고 50℃에서 1 min, 50-90℃까지 분당 10℃ 상승시키고 90℃에서 3 min 동안 유지한 후 다시 50℃로 냉각시키면서 호화개시온도(gelatinization temperature), 최저점도(hot viscosity), 최고점도(peak viscosity), 최종점도(cool viscosity)를 구하였고,이 결과로 강하점도(breakdown)는 최고점도와 최저점도의 차이로, 치반점도(setback)는 최종점도와 최고점도의 차이로 산출하여 측정하였다(Deffenbaugh and Walker, 1989; Kim *et al*, 2012).

2AP 향기성분정량분석

향미 품종들의 이앙시기별 2AP 성분의 분석을 위하여 각각의 향미 샘플 10 g을 20 mL Headspace sampler (HSS) 용기에 담아 headspace autosampler (LECO, USA)로 추출하였다. 추출조건은 온도 90℃에서 30 min 동안 평형화시켜 용기의 쌀 시료의 상부공간의 향기성분 추출부분을 1 mL 주입하여 향기성분 중 2AP를 정량분석 하였다. 분석기기는 GC에 2차원 TOF-MS 가 부착된 Pegasus 4D (LECO, USA) 장비를 사용하였으며 1차 컬럼은 Rtx-5MS (30 m× 0.25 mm×0.25 μm), 2차 컬럼은 Rxi-17Sil MS (1.2 m× 0.15 mm×0.15 μm)를 사용하였고 구체적인 분석조건은 (Nam *et al.*, 2016)을 참조하여 기체크로마토그래피-고분해능질량분석기(Pegasus 4D-2D TOF system, Leco, MI, USA)로 분석하였다. 2AP의 검량선은 표준물질을1, 5, 10 ppm으로 농도별로 희석하여 GC로 분석한 후 표준물질농도별로 나온 피크의 면적비를 계산하여 검량식을 구하였고 상관계수(R^2)가 0.999로 매우 높은 유의성을 나타났다.

통계처리

본 실험은 3회 반복하여 얻어진 결과를 평균값과 표준편차로 나타내었다. 통계분석은 SAS 9.2 (SAS Institute Inc.) PC package를 이용하였고 통계 package로 평균을 구한 후 분산분석(ANOVA) 및 Duncan의 다중검정(Duncan's multiple range test)으로 a=0.05 수준에서 유의성을 검정하였다

결과 및 고찰

향미의 품종별,이앙시기별 이화학적 특성 평가

1) 단백질, 지방 및 지방산 특성 평가

향미 품종들의 이앙시기별 이화학적 특성 분석을 통해 품질과 기본 영양성분이 고함유된 최적의 재배조건을 알아보고

Table 1. Comparison of the protein, lipid and amylose contents of aromatic ricecultivarsby transplanting time (*n*=3)

Transplanting date	Cultivars	Physicochemical properties (%)		
		Proteina	Lipid[1)]	Amylose[1)]
May 22	Hyangmibyeo 2 ho	6.8±0.1b	2.5±0.1bc	20.1±1.4a
	Aromi	7.3±0.2a	2.3±0.2c	18.8±1.2a
	Mihyang	5.8±0.1d	2.5±0.1bc	19.6±1.1a
	Aranghyangchal	5.9±0.2d	3.0±0.1a	9.1±0.6b
	Heughyang	6.2±0.1c	2.6±0.1b	19.1±0.9a
June 5	Hyangmibyeo 2 ho	7.2±0.2a	2.5±0.2ab	19.4±2.1a
	Aromi	7.0±0.1a	2.2±0.2b	19.7±1.5a
	Mihyang	6.0±0.2b	2.5±0.1ab	20.9±2.3a
	Aranghyangchal	6.2±0.1b	2.7±0.1a	7.5±0.2b
	Heughyang	6.2±0.0b	2.4±0.2ab	19.8±0.6a
June 20	Hyangmibyeo 2 ho	6.8±0.2ab	1.8±0.1c	21.6±2.1a
	Aromi	7.0±0.2a	2.3±0.1b	20.7±1.8a
	Mihyang	6.4±0.1c	1.9±0.2c	21.3±1.4a
	Aranghyangchal	6.6±0.2bc	2.7±0.2a	7.3±0.3b
	Heughyang	6.4±0.2c	2.4±0.1b	20.8±3.1a

*Means in the same column by the same letter are not significantly different at the level of 0.05 by using Duncan's multiple range test.

자 하였다. 단백질 함량은 밥맛을 결정하는 중요한 인자로 알려져 있고단백질 함량이 증가할수록 영양적인 측면에서는 우수하나 쌀 자체의 경도가 높아져 밥맛에는 부정적인 영향을 끼치는 것으로 보고되었다(Kim *et al.*, 2008). 우리나라 쌀의 평균 단백질 함량은 약 8.3%이고 밥맛이 우수한 고품질 일반 쌀의 경우 단백질 함량이 약 7~9%를 형성한다고 보고되고 있다(Lee *et al.*, 1989).국내에 육성된 향미 품종은 대부분이 자포니카 타입으로 단백질 함량은 약 6.4%를 나타내었다 (Kim *et al.*, 2008). 본 실험에서 향미 품종별이앙시기에 따른 단백질 함량은 5.8~7.3% 로 나타났고 5월 22일 조기이앙시 평균 6.4%, 6월 5일 보통기이앙시 6.5%, 6월 20일 만기이앙시6.6%로 조기이앙시 단백질 함량은 전체적으로 낮았다.품종 중에는 Mihyang 이 평균 6.1%로 제일 낮았으며 Aromi가 7.1%로 가장 높았다(Table 1). 통계적으로 유의성은 없었지만 향미는 이앙시기에 관계없이 모두 밥맛이 우수한 단백질 함량 분포를 나타내었다. 향미의 지방 함량은 조기이앙시 평균 2.6%, 보통기이앙시 평균 2.5%, 만기이앙시 평균 2.2%를 나타내어 이앙시기가 빠를수록 낮은 경향을 나타내었다 (Table 1). 트리글리세라이드는 쌀에 있는 주요한 지질로 올레산(Oleic acid),리놀레산(Linoleic acid)또는 리놀렌산(Linolenic acid)과 같은 3개의 지방산에 에스테르 결합에 의해 구성되어 있다. 올레산(C18:1), 리놀레산(C18:2) 그리고 리놀렌산(C18:3)와 같은 불포화 지방산의 함량은 혈액내에 콜레스테롤 수치의 감소(Hegsted*et al.*, 1993), 항산화(Lee *et al.*, 2012) 활성 등이 밝혀지면서 식품의 고품질을 나타내는 인자로 여겨지고 있다. 향미의 지방산 조성 중 포화지방산은 조기이앙시 평균 19.7%, 보통기이앙시 평균 19.7%, 만기이앙시 평균 20.1%를 나타내었고 불포화지방산의 비율은 조기이앙시 평균 80.3%, 보통기 이앙시 평균 80.3%, 만기이앙시 평균 79.8%를 나타내었다. 특히 향미에는 올레산 함량이 37.2~45.9%로 다른 지방산류에 비해 높았고 Mihyang, Aromi품종이 올레산 함량이 우수하였다(Table 2).

2) 아밀로스 함량 특성 비교

쌀 전분 중 아밀로스(amylose) 함량은 취반시호화점도 및 밥의 경도에 많은 영향을 주어 밥의 식미, 취반특성 등을 결정하는 가장 중요한 요소로 벼의 재배 시 등숙온도, 이앙기, 출수기 등에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2014). 일반적인 밥쌀용 쌀의 경우 백미의 아밀로스 함량은 약 17~23% 수준으로 알려져 있고본 연구에서 조사되어진 향미의 이앙시기에 따른 아밀로스 함량은 조기이앙시 평균 17.3%, 보통기이앙시 평균 17.4%, 만기이앙시 평균 18.3%를 나타내었고 이앙시기가 늦어질수록 아밀로스의 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 품종 간에도 찰성을 가진 벼 품종인 Aranghyangchal 이 평균 7.9%로 제일 낮았고 나머지 품종들은 18.8~21.3%의 아밀로스 함량을 보였고 Heughyang을 제외하고 모두 이앙시기가 늦을수록 유의적으로 높은 값을나타내었다(Table 1). 이 결과로 본 실험에 사용한 향미 품종은 찹쌀을 제외하고 일반 밥쌀용 쌀과 거의 비슷한 아밀로스 함량을 나타내어 우수한 취반특성과식미를가질것으로 예측된다.

1) 필수 아미노산 함량 특성 비교

쌀의 영양성분은 일반적으로 전분이 약 75%로 가장 많고,

Table 2. Comparison for fatty acid of aromatic ricecultivarsby transplanting time (*n*=3)

Transplanting date	Cultivars	Fatty acid content (%)[1)]						
		Palmitic acid (C16:0)	Stearic acid (C18:0)	Oleic acid (C18:1)	Linoleic acid (C18:2)	Linolenic acid (C18:3)	SF*	USF**
May 22	Hyangmibyeo 2 ho	20.2±1.5a	1.8±0.1d	43.5±2.5a	33.3±1.6b	1.2±0.1bc	22.0±1.7a	78.0±4.5a
	Aromi	17.1±1.8bc	2.0±0.1c	44.7±3.4a	35.2±2.1ab	1.1±0.1c	19.1±2.1ab	80.9±5.8a
	Mihyang	15.1±1.1c	1.9±0.1cd	45.9±2.8a	35.9±1.8ab	1.1±0.1c	17.0±1.1b	83.0±6.6a
	Aranghyangchal	17.7±0.9ab	2.5±0.1a	41.8±4.1a	36.7±1.2a	1.3±0.1b	20.1±1.4a	79.9±6.4a
	Heughyang	18.3±1.1ab	2.2±0.1b	40.2±2.2a	37.7±1.5a	1.5±0.1a	20.5±1.1a	79.5±5.2a
June 5	Hyangmibyeo 2 ho	19.9±0.8a	1.8±0.1b	42.2±2.5ab	34.8±1.4a	1.4±0.1a	21.7±2.2a	78.3±5.1a
	Aromi	17.9±1.4ab	1.7±0.1b	42.7±2.4ab	36.5±1.5a	1.2±0.1b	19.6±2.1abc	80.4±4.5a
	Mihyang	15.5±0.5c	1.8±0.1b	43.9±2.2ab	37.7±1.5a	1.2±0.1b	17.3±0.2c	82.7±4.9a
	Aranghyangchal	18.9±1.2ab	2.3±0.2a	39.7±3.4b	37.7±2.1a	1.4±0.1a	21.2±1.3ab	78.8±4.4a
	Heughyang	16.7±1.9bc	1.8±0.1b	45.4±1.5a	34.7±1.9a	1.4±0.1a	18.5±0.4bc	81.5±5.4a
June 20	Hyangmibyeo 2 ho	20.6±1.4a	1.3±0.1c	41.6±1.6a	34.8±1.8b	1.7±0.1a	21.9±1.2a	78.1±5.1a
	Aromi	18.1±0.9b	1.6±0.1b	42.8±2.1a	36.3±1.6b	1.2±0.1c	19.7±0.8bc	80.3±4.8a
	Mihyang	17.4±0.4b	1.7±0.1ab	41.8±2.4a	37.8±1.3ab	1.3±0.1c	19.1±0.6c	80.9±4.2a
	Aranghyangchal	20.1±1.1a	1.0±0.1d	37.2±2.1b	40.1±1.8a	1.6±0.1ab	21.1±0.5ab	78.9±4.6a
	Heughyang	17.1±0.9b	1.8±0.1a	43.9±1.7a	35.7±1.6b	1.5±0.1b	18.9±0.9c	81.1±4.1a

*SF: saturated fatty acid, **USF: unsaturated fatty acid
Means in the same column by the same letter are not significantly different at the level of 0.05 by using Duncan's multiple range test

Table 3. Essential amino acid of aromatic rice cultivars by transplanting time (*n*=3)

Transplanting date	Cultivars	Essential amino acid contents (mg/g)								
		Ile	Leu	Lys	Met	Phe	Thre	Trp	His	Total
May 22	Hyangmibyeo 2 ho	6.7±0.1d	6.2±0.1c	26.4±0.6a	9.5±0.1d	25.4±0.2a	18.3±0.2a	2.1±0.1a	13.4±0.2a	108.1±2.1ab
	Aromi	7.8±0.2b	7.2±0.2a	23.9±0.6c	10.4±0.4c	23.2±0.2cd	18.5±0.1a	2.1±0.1a	10.4±0.2d	103.5±2.4bc
	Mihyang	6.2±0.1e	5.9±0.1d	22.1±0.5d	11.6±0.4a	22.8±0.3d	17.9±0.2b	1.5±0.1c	11.5±0.2c	99.5±3.1c
	Aranghyangchal	7.2±0.1c	6.8±0.1b	23.4±0.3c	10.5±0.1c	23.6±0.3c	17.9±0.1b	1.9±0.1b	10.4±0.2d	101.7±3.5c
	Heughyang	8.5±0.2a	7.4±0.1a	25.1±0.4b	11.1±0.1b	24.1±0.2b	18.4±0.2a	2.2±0.1a	12.4±0.1b	109.2±2.8a
June 5	Hyangmibyeo 2 ho	6.5±0.1d	6.4±0.1bc	28.4±0.3a	9.8±0.1d	22.1±0.1a	16.3±0.2ab	2.0±0.1c	12.5±0.1a	104.1±1.9a
	Aromi	7.7±0.2b	7.2±0.1a	24.8±0.2c	10.4±0.1c	21.8±0.3ab	16.4±0.1a	2.4±0.1a	10.4±0.2c	101.1±2.1ab
	Mihyang	6.7±0.1cd	6.2±0.2c	23.9±0.4d	11.4±0.4b	18.4±0.3c	16.1±0.1b	1.6±0.1e	11.6±0.1b	95.9±1.8c
	Aranghyangchal	6.9±0.1c	6.6±0.1b	24.5±0.4cd	12.1±0.5a	21.4±0.2b	15.6±0.1c	1.8±0.1d	10.5±0.1c	99.4±1.6bc
	Heughyang	8.4±0.2a	7.3±0.1a	25.8±0.5b	10.3±0.2cd	22.1±0.4a	16.2±0.1ab	2.2±0.1b	11.4±0.2b	103.7±2.2a
June 20	Hyangmibyeo 2 ho	6.6±0.2d	6.5±0.1b	26.5±0.3a	9.9±0.1c	20.6±0.2a	16.2±0.1c	2.1±0.1a	11.1±0.2b	99.5±2.2ab
	Aromi	7.6±0.2b	7.2±0.1a	24.5±0.2b	10.3±0.1bc	20.4±0.2a	17.3±0.1a	2.1±0.1a	11.4±0.1b	100.8±2.8ab
	Mihyang	6.4±0.2d	6.1±0.1c	23.8±0.4c	10.6±0.4b	16.9±0.1d	16.8±0.1b	1.8±0.1b	11.3±0.2b	93.7±2.4c
	Aranghyangchal	7.1±0.1c	6.2±0.1c	22.2±0.2d	11.6±0.3a	20.1±0.1b	15.8±0.2d	1.8±0.1b	11.8±0.2a	96.6±2.3bc
	Heughyang	8.9±0.2a	7.4±0.2a	24.2±0.2bc	10.5±0.1b	19.8±0.1c	17.2±0.2a	2.2±0.1a	12.1±0.1a	102.3±2.1a

Means in the same column by the same letter are not significantly different at the level of 0.05 by using Duncan's multiple range test.

단백질이 그 다음 많이 함유 되어 있고 단백질을 구성하는 아미노산의 조성은 쌀 단백질의 영양소 기능에 많은 영향을 끼친다. 특히 아미노산 중 필수아미노산은 단백질을 구성하는 요소 중 인체에서 합성이 되지 않아 반드시 식품으로 섭취 되어야 하는것으로 알려져 있다(Yoon *et al.*, 2016).국내 육성된 향미의 품종,이앙시기별 필수아미노산의 함량 분석 결과는 Table 3 과 같다.품종별로 총 필수 아미노산은 Mihyang 이 93.7~ 99.5 mg/g으로 가장 낮았고, Heughyang 가 102.3 ~ 109.2 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 이앙시기에 따른 필수아미노산 함량은 조기이앙시 평균 104.4 mg/g,

보통기이앙시 평균 100.8 mg/g, 만기이앙시 평균 99.8 mg/g를 나타내어 이앙시기가 빠를수록 높은 함량의 경향을 나타내었다. 따라서 향미 품종은 향미 고유의 향기성분 함량이 높은 시기와 고려하여 조기이앙 혹은 보통기이앙시에 필수아미노산 함량이 높을 것으로 예측된다. 최근의 식품에 필수아미노산과 펩타이드의 성분강화는 밥쌀의 맛과 풍미를 증진시키는 등의 각종 영양학적 우수성이 보고되어 있어 국내에 육성된 향미의 활용성이클것으로 기대된다. 향미의 경우 기능성도 중요하겠지만 쌀의 품질 또한 중요한 인자로 판단된다. 향미 쌀의 품질을 나타내는 기본 이화학적 특성을 일반미인 Hyangmibyeo 2 ho와 비교한 결과 시험재료로 사용한 향미 품종과는 품질에는 큰 차이를 보이지 않았다.

신속점도측정기(RVA)에 의한 호화 특성

쌀 전분의 팽윤과점성도에 관련된 호화특성을 분석하는 대표적인 방법은 RVA 측정에 의한 최고점도(Peak), 강하점도(Breakdown) 등을 분석결과에 따라 호화시최고점도가 높고 강하점도의 차이가 큰 쌀이 밥맛이 우수한 것으로 보고되고 있다(Son*et al.*, 2002). Table 3에 나타난 향미 품종, 이앙시기별 RVA의 값을 분석한 결과로부터 온도에 따른 호화양상을 비교하면 5종류의 향미품종이 큰 차이를 나타내었으며 호화개시온도는 Heughyang, Aranghyangchal, Mihyang, Aromi, Hyangmibyeo 2 ho 순으로 각각 70.1, 71.3, 73.6, 73.7, 74.1℃를 보였다. 일반 쌀가루의 호화개시 온도가 약 65~70℃인 것에 비해 모두 높은 값을 보였으며 그 중 Hyangmibyeo 2 ho가 가장 높았는데 이는 아밀로스의 함량이 높고 팽윤력이 작은 것과 상관성이 높은 것으로 판단된다. 최고점도(Peak, P)에서는 Hyangmibyeo 2 ho, Aromi 등이 279.3, 258.8 RVU로 높았고 찰벼 품종인 Aranghyangchal이 71.7 RVU로 가장 낮았다. 최종점도(Final viscosity)는 기기에서 가열을 중단 후 냉각되는 단계에서 일어나는 현상으로 아밀로스와 같은 전분 분자들이 다시 재결합하여 쌀 전분의 점도가 증가하는 단계로서 Aromi가 255.3 RVU로 가장 높았고 Aranghyangchal이 42.7 RVU로 가장 낮았다. 강하점도(Breakdown)는 아밀로스 함량과 부의 상관을 가지면 쌀의 호화 중 열과 전단(shear)에 대한 저항성과 높은 상관관계를 보이는데 주로 가공의 안정도를 나타낸다(Kim *et al.*, 2012). 강하점도는 Hyangmibyeo 2 ho가 152.3 RVU로 가장 높았고 Aranghyangchal이 38.4 RVU로 가장 낮았다. 쌀 전분의 냉각과정에 따른 겔화로 인해 전분 노화정도를 예측할 수 있는 치반점도(Setback) 점도 역시 Hyangmibyeo 2 ho가 -78.9 RVU로 가장 낮았고 Heughyang이 39.4 RVU로 가장 높았다. 따라서 Hyangmibyeo 2 ho는 가공시 안정도가 높을것으로 생각된다. 향미품종별 이앙시기에 따른 최고점도의 호화특성을 살펴보면 찰벼인 Aranghyangchal을 제외하고 대부분의 품종에서 조기이앙시 201.1~279.3 RVU를 보통기이앙시 185.9~262.2 RVU, 만기이앙시 194.8~234.4 RVU를 나타내었고 강하점도는 조기이앙시 66.6~152.3 RVU를 보통기이앙시 64.1~140.1 RVU, 만기이앙시 55.4~113.6

Table 4. Pasting properties of aromatic rice cultivars by transplanting time using RVA (n=3)

Transplanting date	Cultivars	Initial pasting temperature (℃)	Viscosity (RVU)1)				
			Peak (P)	Trough (T)	Final viscosity	Breakdown (P-T)	Setback
May 22	Hyangmibyeo 2 ho	74.1±0.05a	279.3±0.2a	126.9±0.2d	199.4±1.5d	152.3±10.5a	-78.9±8.2e
	Aromi	73.7±0.03b	258.8±0.2b	156.7±0.5a	255.3±1.4a	102.1±2.5b	-3.5±1.5b
	Mihyang	73.6±0.08c	249.1±0.3c	142.3±0.5b	231.8±2.5b	106.8±1.4b	-17.2±2.6c
	Aranghyangchal	71.3±0.05d	105.6±0.2e	50.1±0.3e	63.9±2.5e	55.5±1.2d	-41.6±1.9d
	Heughyang	70.1±0.03e	201.1±0.4d	134.6±0.4c	218.1±3.8c	66.6±1.0c	17.0±1.4a
June 5	Hyangmibyeo 2 ho	72.2±0.06a	262.2±0.3a	122.1±0.4c	201.8±3.2b	140.1±12.8a	-60.4±2.2e
	Aromi	71.8±0.03b	235.9±0.3c	150.2±0.6b	249.8±3.5a	85.7±4.5b	13.8±0.5b
	Mihyang	71.8±0.02b	240.4±0.2b	156.3±0.4a	245.2±2.8a	84.2±2.1b	4.8±0.1c
	Aranghyangchal	69.2±0.02c	71.7±0.2e	33.4±0.5d	42.7±1.5c	38.4±1.9d	-19.0±0.5d
	Heughyang	69.1±0.04d	185.9±0.2d	121.8±0.5c	207.3±4.8b	64.1±1.4c	21.4±0.8a
June 20	Hyangmibyeo 2 ho	68.2±0.02d	234.4±0.5a	120.8±0.6d	218.4±4.3c	113.6±6.5a	-16.1±1.4c
	Aromi	70.2±0.05b	223.3±0.6b	136.4±0.7b	241.7±5.1a	86.8±1.7b	18.4±1.1b
	Mihyang	70.5±0.03a	207.3±1.1c	132.8±0.5c	224.1±4.1c	74.5±5.1c	16.8±0.5b
	Aranghyangchal	68.0±0.02e	90.1±0.5e	32.9±0.6e	43.6±0.5d	57.2±2.2d	-46.5±3.3d
	Heughyang	68.8±0.02c	194.8±0.8d	139.4±0.8a	234.3±3.3b	55.4±0.9d	39.4±1.8a

Means in the same column by the same letter are not significantly different at the level of 0.05 by using Duncan's multiple range test.
[1)]RVU: Rapid Visco Units

RVU를 나타내었다. 최종점도 또한 조기이앙시 199.4~255.3 RVU를 보통기이앙시 201.8~249.8 RVU, 만기이앙시 218.4 ~241.7 RVU를 나타내었고 치반점도는 조기이앙시 -78.9~ 17.0 RVU를 보통기이앙시 -60.4~21.4 RVU, 만기이앙시 -46.5~39.4 RVU를 나타내었다. 위 결과를 종합해 볼 때 향미 품종 중 Hyangmibyeo 2 ho, Aromi가 강하점도의 값이 높아 전분의 구조가 호화되기 쉬운 구조적 특성을 가지고 다른 품종에 비해 밥맛이 우수할 것으로 판단되며 이앙시기는 조기나 보통기 이앙이 좋을 것으로 생각된다.

향미 품종,이앙시기별향기성분 정량 분석 비교

향미 쌀을 취반 하였을 때 생성되는 누룽지, 팝콘과 같은 향기는 고품질 쌀을 결정짓는 중요한 인자로 인식되고 있다 (Buttery *et al.*, 1988). 과거 향미 육종에서 관능적인 검사로 향의 정도를 평가하였으나 이것은 주관적인 성향에 의존하고 있어 정확한 평가가 이루어 질수 없었다. 현재 향미벼의 향을 나타내는 여러가지 향기성분 등 중 대표적으로 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)를 지표성분으로 정하고 위의 화합물을 GC나 GC-MS로 정량분석하여 함량이 우수한 향미벼를 선발하고 있다. 본 연구의 Fig. 2는 향미의 품종, 이앙시기별 2AP의 함량을 GC-MS를 이용하여 정량분석 한 결과이다. 품종 중에는 Aromi가 41.7~66.7 μg/100 g으로 가장 높은 2AP의 함량을 나타내었고 Mihyang이 10.5~22.1 μg/100 g로 가장 낮은 함량을 나타내었다. 향미 품종별 이앙시기에 따른 2AP 함량 변화를 살펴보면 모든 품종에서 각각 보통기이앙시 평균 37.4 μg/100 g, 만기이앙시 31.5 μg/100 g, 조기이앙시 평균 37.4 μg/100 g 순으로 나타나 2AP가 고함유된 향미벼를 생산하기 위한 최적 이앙시기는 생산력 검정 등의 다양한 요소를 고려해 볼 때 6월 5~20일 사이에 이앙하는 것이 최적으로 판단된다. 또한 Kim 등(2008)에 의하면 2AP의 함량은 유전적인 특성도 중요하지만 재배하는 기후, 비료의 시비량, 토양특성 등 환경적인 요인에 의해 동일한 품종이라도 다른 2AP 함량을 나타내기도 하고 수확 후 저장 조건에 따라서도 함량차이가 있다고 보고되어 있지만 본 실험에 의하면 각 품종의 유전적인 특성이 중요하다고 판단된다. 본 실험의 가장 큰 목적은 향미 품종의 육종 시 향기성분을고함유한 품종을 신속, 정확하게 분석한 후 최적 품종을 선발해 모본으로 활용하여 향기성분 뿐만 아니라 농업적 특성을 개량하는데 있다. 향후 본 실험의 결과로부터 선발된 Aromi 품종 등은 2AP외에 GC-MS 분석을 통한 품종간의 다양한 방향성 화합물의 정성, 정량분석을 통해 보다 정확한 향미자원육종재료의 선발이 필요할 것으로 사료된다. 또한 정확한 향미의 향기성분 최적 이앙시기를 유추하기 위하여 다년간 재배시험을 실시한 후 통계적으로 유의한 결과를 도출할 필요가 있다고 사료된다.

적 요

1. 본 연구의 향미의 품종별, 이앙시기별 이화학적 특성 평가한 결과 품종간의 차이는 나타나지 않았으며 단백질 함량은 5.8~7.3% 로 나타났고 5월 22일 조기이앙시 평균 6.4%로 가장 낮았으며 지방 함량은 조기이앙시 평균 2.6±0.1%, 보통기이앙시 평균 2.5±0.1%, 만기이앙시 평균 2.2±0.1%를 나타내어 이앙시기가 빠를수록 높은 경향을 나타내었다.

2. 향미 품종 중 Hyangmibyeo 2 ho가 강하점도의 값이 152.3RVU로 가장 높아 전분의 구조가 호화되기 쉬운 구조적 특성을 가지고 다른 품종에 비해 밥맛이 우수 할 것으로 판단되며 이앙시기는 조기나 보통기 이앙이 좋을 것으로 판단된다.

3. 향미 품종, 이앙시기별 향기성분 정량 분석 비교에서는 향기성분 등 중 대표적으로 2-acetyl-1-pyrroline (2AP)를 지표성분으로 정하여 정량분석 한 결과 품종 중에는 Aromi가 41.7~66.7 μg/100 g으로 가장 높은 2AP의 함량을 나타내었고 이앙시기의 영향은 모든 품종에서 각각 보통기이앙시 평균 37.4 μg/100 g, 만기이앙시 31.5 μg/100 g, 조기이앙시 평균 37.4 μg/100 g 순으로 나타났다. 최적 이앙시기는 생산력 검정 등의 다양한 요소를 고려해 볼 때 6월 5~20일 사이에 이앙하는 것이 최적으로 판단된다.

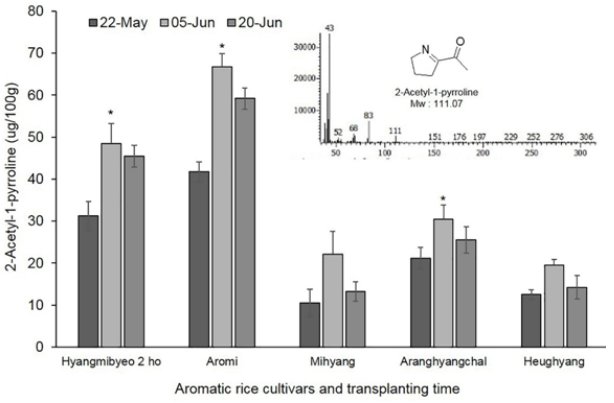

Fig. 2. 2AP contents of aromatic rice cultivars by transplanting time and GC-MS fragmentation pattern of 2AP.

Notes

The author declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of the "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title: Development of aromatic rice and identification of flavor chemicals for export quality, Project No. PJ011647002)" of the Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

References

Buttery, R. G., Turnbaugh, J. G., & Ling, L. C. (1988). Contribution of volatiles to rice aroma. Journal of

Agricultural and Food Chemistry, 36(5), 1006-1009.

Bryant, R. J., & McClung, A. M. (2011). Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC–MS. Food Chemistry, 124(2), 501-513.

Choi, Y. G., Kim, M. K., Jung, K. H., Cho, S. Y., Moon, H. P., Jun, B. T., Choi, H. C., Park, N. G. Kim, G. W. Hwang, K. H., Kim, Y. S., Park, R. K., & Cho, J. Y. (1995). An aromatic semi-dwarf lodging resistant rice variety 'Hyangmibyeo1ho'. Agricultural Science Reports of RDA, Korea, 37(1), 67-74.

Choi, M. J., Kim, H. Y., & Cho, E. J. (2012). Anti-aging effect of black rice against H2O2-induced premature senescence. Journal of Medicinal Plants Research, 6(20), 3672-3680.

Deffenbaugh, L. B., & Walker, C. E. (1989). Comparison of starch pasting properties in the Brabender Viscoamylograph and the Rapid Visco-Analyzer. Cereal Chemistry, 66(6), 493-499.

Gomez, K. A., & De Datta, S. K. (1975). Influence of environment on protein content of rice. Agronomy Journal, 67(4), 565-568.

Ha, K. Y., Lee, J. K., Shin, H. T., Lee, S. Y., Yang, B. G., Kim, B. K., Jung, J. I., Kim, Y. D., Shin, M. S., Koh, J. G., Lee, K. S., Kim, J. H., & Cho, S. Y. (1996). A new aromatic and good grain quality japonica rice variety "Hyangnambyeo". Agricultural Science Reports of RDA, Korea, 38(2), 54-60.

Hegsted, D. M., Ausman, L. M., Johnson, J. A., & Dallal, G. E. (1993). Dietary fat and serum lipids: an evaluation of the experimental data. The American Journal of Clinical Nutrition, 57(6), 875-883.

Hu, C., Zawistowski, J., Ling, W., & Kitts, D. D. (2003). Black rice (Oryza sativa L. indica) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(18), 5271-5277.

Juliano, B. O. (1971). A simplified assay for milled-rice amylose. Journal of Cereal Science, Today, 16, 334-360.

Juliano, B. (1985). Criteria and test for rice grain qualities. Rice: Chemistry and Technology, 443-524.

Jang, W. S., Seo, C. R., Jang, H. H., Song, N. J., Kim, J. K., Ahn, J. Y., Han, J. J., Seo, W. D., Kim, D. J., Oh, S. K., Lee, J. H., Yoon, M. R., Choi, I. S., Lee, D. H., & Kim, Y. G. (2012). Changes in quality properties of brown rice after germination. Korean Journal of Food Science and Technology, 44(3), 300-305.

Kim, K. J., & Kim, K. H. (1987). Study on the physico-chemical properties of rice grains harvested from different regions. Korean Journal of Crop Science, 32(2), 234-242.

Kim, J. S., Park, O. S., Ahn, S. N., Lee, J. R., Gwag, J. G., Kim, T. S., & Lee, S. Y. (2008). Quantification of 2-acetyl-1-pyrroline from the aroma rice germplasm by gas chromatography. Korean Journal of Food Science and Technology, 40(5), 516-521.

Kim, J. S., Song, M. H., Choi, J.E., Lee, H. B., & Ahn, S. N. (2008). Quantification of protein and amylose contents by near infrared reflectance spectroscopy in aroma rice. Korean Journal of Food Science and Technology, 40(6), 603-610.

Kim, J. S., Ahn, S. N., Kang, H. K., Cho, Y. H., Gwag, J. G., & Lee, S. Y.(2008). Estimation of physico-chemical characteristics of domestic aroma rice and foreign aroma rice. Korean Journal of Crop Science, 53(2), 203-216.

Kim, J. S., Ahn, S. N., Cho, Y. H., Gwag, J. G., Kim, T. S., Lee, J. R., & Lee, S. Y. (2008). Estimation of agronomic characteristics of domestic aromatic rice germplasm and foreign aromatic rice germplasm in RDA genebank, Korea. Korean Journal of Crop Science, 53(3), 261-272.

Kim, J. S., Cho, J. R., Gwag, J. G., Kim, T. S., Ahn, S. N., & Lee, S. Y. (2009). Comparison analysis of aromatic compounds in the aromatic rice germplasm by gas chromatography and mass spectrometry. Korean Journal of Crop Science, 54(1), 88-103.

Kim, H. N., Yu, S. Y., Yoon, W. B., Jang, S. M., Jang, Y. J., Lee, O. H. (2014). Analysis of nutritional components and physicochemical properties of hot-air dried Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosus L.) powder. Korean Journal of Food Science and Technology, 46(1), 73-78.

Lee, B. Y., Yoon, I. H., Tetsuya, I., Ikuji, K., & Tetsujiro, O. (1989). Cooking quality and texture of Japonica-Indica breeding type and Japonica type, Korean rice. Korean Journal of Food Science and Technology, 21(5), 613-618.

Lee, B. Y., Son, J. R., Ushio, M., Keiji, K., & Akio, M. (1991). Changes of Volatile Components of Cooked Rice during Storage at 70℃. Korean Journal of Food Science and Technology, 23(5), 610-613.

Lee, J. C., & Kim, Y. H. (1999). Comparison of volatile flavor components of korean aromatic rice and nonaromatic rice. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 28(2), 299-304.

Lee, T. S., Lee, Y. H., Kim, K. S., Kim, W., Kim, K. S., Jang, Y. S., & Park, K. G. (2012). Characteristics of fatty acid composition and properties by blending of vegetable oils. Korean Journal of Plant Resources, 25(5), 624-632.

Lee, Y. M., & Park, K. W. (2015). Black rice (Oryza sativa L.) extracts induce osteoblast differentiation and protect against bone loss in ovariectomized rats. Food & Function, 6(1), 264-274.

Moon, H. P., Choi, Y. G., Jeong, G. H., Hwang, G. H., Lee, J. H., Kim, M. G., Cho, S. Y., Jeon, B. T., Kim, J. I., Hwang, H. G., Choi, H. C., Park, R. G., & Kim, Y. S. (1998). A new variety, multi disease resistant and semi-dwarf aromatic rice cultivar "Hangmibyeo 2ho". Agricultural Science Reports of RDA, Korea, 40(1), 34-40.

Mahmud, M. M. C., Das, A. C., Lee, S. K., Kim, T. H., Oh, Y., Cho, Y. H., & Lee, Y. S. (2016). Germination-induced changes in favoring compound profiles and phytonutrient contents in scented rice. Korean Journal of Crop Science, 61(4), 242-250.

Nam, S., Kwon, Y. R., Cho, J. H., Seo, W. D., Choi & S. W. Yoon. (2016). Effect of roasting conditions on aromatic compounds and physicochemical characteristics of germinated aromatic rice (Oryza sativa L.-Miryang 302) tea. Korean Journal of Food Preservation, 23(5), 673-679.

Son, J. R., Kim, J. H., Lee, J. I., Youn, Y. H., Kim, J. K., Hwang, H. G., & Moon, H. P. (2002). Trend and further research of rice quality evaluation. Korean Journal of Crop Science, 47(S), 33-54.

Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G., & Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. Food Chemistry, 124(1), 132-140.

Shao, Y., Xu, F., Chen, Y., Huang, Y., Beta, T., & Bao, J. (2015). Analysis of genotype, environment, and their interaction effects on the phytochemicals and antioxidant capacities of red rice (Oryza sativa L.). Cereal Chemistry, 92(2), 204-210.

Wakte, K., Zanan, R., Hinge, V., Khandagale, K., Nadaf, A., & Henry, R. (2017). Thirty-three years of 2-acetyl-1-pyrroline, a principal basmati aroma compound in scented rice (Oryza sativa L.): a status review. Journal of the Science of Food and Agriculture, 97(2), 384-395.

Waters AccQ-Tag amino acid analysis system. (1993). Amino acid analysis system of operators manual of the Waters associates. pp. 41-46, Waters, Milford, MA, USA.

Yoon, Y. E., Kuppusamy, S., Kim, S. Y., Kim, J. H., & Lee, Y. B. (2016). Free amino acid composition of Korean spinach (Spanacia oleracea) cultivars as influenced by different harvesting time. Korean Journal of Environmental Agriculture, 35(2), 104-110.