

Gas chromatography를 이용한 향미 유전자원의 2-acetyl-1-pyrroline 정량분석

김정순 · 박원성² · 안상낙¹ · 이정로 · 곽재균 · 김태산 · 이석영*
농촌진흥청 농업생명공학연구원 유전자원과, ¹충남대학교 농업생명과학대학 농학과
²경희대학교 자연과학대학 유전공학과

Quantification of 2-Acetyl-1-pyrroline from the Aroma Rice Germplasm by Gas Chromatography

Jeong-Soon Kim, One-Sung Park², Sang-Nag Ahn¹, Jung-Ro Lee, Jae-Gyun Gwag,
Tae-San Kim, and Sok-Young Lee*

Genetic Resources Division, National Institute of Agricultural Biotechnology, RDA

¹Department of Agronomy, Chungnam National University

²Department of Genetic Engineering, Kyunghee University

Abstract This study was conducted to optimize the analysis condition and quantify the 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) in the brown aroma rice. Extraction effect of the solvent for 2AP was the order of ethanol>acetonitrile>methanol in the range from 30 to 90°C. In the extraction time of 15, 30, 60, and 90 min, the 30 min had the highest 2AP concentration, and it was decreased according to lapse of time. At grinding time, 5 sec resulted in highest 2AP concentration. It was recommended that five sec grinding time, using ethanol, at 90°C for 30 min was the optimization conditions to quantify the 2AP. Hyangmibyedo2ho and Aranghyangchalbyeon were mild aroma. In the foreign aroma rice, 11 of 19 accessions of Indica types and 2 of 6 accessions of Japonica types were more than mild aroma. Finally, 30 accessions of aroma rice were selected based on their 2AP concentration and agronomic traits.

Key words: aroma rice, germplasm, gas chromatography, 2-acetyl-1-pyrroline

향미는 북동아시아, 인도, 유럽, 남미 등에서 알려진 다양한 향을 갖는 고급미로서 일반미에 비해 고부가가치의 쌀로 알려져 있다. 최근 우리나라는 급격한 경제적인 성장과 더불어 소비자들의 소비성향도 변하여 점차 식량으로서의 기능 이외에 건강 증진에 도움이 되는 기능성을 가지고 있는 특수미에 대한 관심과 수요가 점차 늘고 있다(14).

우리나라는 쌀을 주식으로 하고 있는 나라들 중의 하나로 쌀에 관한 많은 연구가 수행되어져 왔다. 과거로부터 주로 쌀의 영양학적인 면과 품질에 영향을 주는 요인들에 대한 다양한 연구가 이루어져왔고, 1970년대 이후부터는 쌀이나 쌀밥의 특징적인 향기를 구명하는 연구가 수행되었다(5). 일본에서는 Ishitani와 Fushimi(6)에 의하여 쌀로부터 약 200여종 이상의 휘발성 성분이 보고되었으며, Endo 등(7)과 Yajima 등(8)에 의하여 쌀의 향기성분에 대한 연구결과가 보고되었다.

과거 육종가들은 향미벼를 선발하기 위해 관능적인 검사법(9)

을 통해 향의 정도를 평가하였으나 이것은 소요되는 시간은 짧고 주관적인 성향에 의존하고 있어서 정확한 평가가 이루어지지 않았다. 그러나 최근에는 향미벼의 향을 내는 주요한 요소 중의 하나인 2-acetyl-1-pyrroline(2AP)(5,10)의 효과적인 추출방법과 gas chromatography(GC)를 이용하여 2AP 함량을 정량적으로 분석하여 보다 과학적인 방법에 의해 우수한 향미벼를 선발하고 있으며, GC-MS(mass spectrophotometer)를 이용하여 정성·정량분석을 동시에 수행하고 있다(11-13).

Buttery 등(5)은 '2-acetyl-1-pyrroline'에 대하여 양적으로는 미량 함유되어 있으나 쌀을 취반할 때 생성되는 향기생성에 중요한 역할을 하며 일반미보다는 향미에 많이 함유되어 있다고 보고하였다.

따라서 본 실험은 국내 육성향미자원과 유전적 배경이 서로 다른 도입향미 유전자원 및 다면적 재배품종의 2AP 함량을 비교 분석하여, 2AP 함량이 높고 농업적 형질이 우수한 자원을 선발하고 향후 우수한 향미 품종의 육성에 필요한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용한 벼품종은 Kim 등(14)이 사용한 재료와 동일하며, 향미자원 65품종(국내 육성-5품종, 국외 육성-60품종) 및 국내에서 다면적 재배품종 14품종을 비향미자원으로 하여 총 79품

*Corresponding author: Sok-Young Lee, Genetic Resources Division, National Institute of Agricultural Biotechnology, RDA, Suwon, Gyeonggi-do 441-707, Korea
Tel: 82-31-299-1821
Fax: 82-31-294-6029
E-mail: lsy007@rda.go.kr
Received July 12, 2008; revised August 21, 2008;
accepted August 23, 2008

중이었다. 시험재배관리는 농촌진흥청 농업생명공학연구원 유전자원과 답작포장에서 수행하여 재배, 수확한 것을 사용하였다. 수확한 벼는 수분이 15%가 되도록 음건시켜 4°C에 저장하여 실험에 사용하였다.

생육 관련 특성 조사

2007년 수원시 권선구 유전자원과 증식포장에 국내 및 도입 향미자원을 파종하여 생육관련 형질을 조사하였다. 공시재료로 79 품종의 생육특성을 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 준하여 조사하였다. 벼의 생육특성은 출수기(heading date)는 총경수의 40%가 출수한 날을 기준으로 구별로 조사하였다. 수량 구성 요소에 해당하는 천립중은 현미 1,000립의 무게를 각각 3 반복 조사하였다.

향에 따른 관능검사

공시재료 중 정상적으로 출수한 79품종을 실험실용 현미기(SY88-TH, Ssangyong, Incheon, Korea)로 탈영시켜 현미로 만든 다음 Blind test 방식으로 각각의 현미를 씹어서 느껴지는 향을 세분하여 무향(non-aromatic; -), 약유향(lightly aroma; +), 유향(mild aroma; ++), 팝콘향(popcorn aroma; +++)로 분류하였다.

검량선 작성

분석한 시료의 peak area(%)로부터 2AP의 함량을 구하기 위해 Sigma사(St. Louis, MO, USA)로부터 구입한 2AP 표준물질을 ethanol에 0.5, 1, 2, 3, 4 ppm으로 용해시켜 GC (TRACE2000, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)에 주입한 후 표준물질 농도별로 나온 peak area와 상관계수를 구하여 검량선을 작성하였다.

2AP 성분 추출 조건

각 재료에 대한 2AP의 효과적인 추출을 위해 실험실용 현미기(Ssangyong)로 탈영시켜서 시미, 피헤립 등을 제거하여 사용하였으며, 파키스탄에서 도입한 Bsamati 370(WAR09)을 대표 향미벼로 선발하여 다음의 조건에서 2AP 최적 추출 조건을 구명하였다.

본 실험에서는 향미벼로부터 2AP를 비롯한 방향성 화합물을 효과적으로 추출하기 위한 다양한 용매와 조건들에 대한 연구 결과들 중(5,15) 2AP 추출에 가장 효과적인 것으로 보고되어 있는 acetonitrile, ethanol 그리고 methanol 등 3가지 유기용매(Sigma-Aldrich)를 사용하여 비교분석하였다(16-17). 또한 유기용매별로 추출온도에 따라 2AP의 휘발성 정도가 다를 것으로 판단하여 30-90°C까지 10°C 간격으로 온도를 변화시켜 현미가루로부터 2AP를 추출하여, 3,500 rpm에서 30초간 원심분리 후, 상등액을 1 µL를 GC(Thermo Fisher Scientific)에 주입하여 분석하였다.

2AP의 효과적인 검출을 위해 GC(Thermo Fisher Scientific)의 샘플당 분석시간 과 작업시간을 고려하여 가장 효과적이고 경제적인 추출시간을 알아보려 90°C 항온수조에서 15, 30, 60분, 그리고 90분간 각각 추출하여 2AP의 함량을 비교하였다. 또한 보다 효과적인 추출조건의 확립을 위해 현미를 분쇄하는 정도에 따른 2AP의 추출량을 비교하고자 5초부터 25초까지 5초 간격으로 분쇄기를 작동하여 분쇄한 현미가루와 분쇄하지 않은 현미를 90°C water bath에서 30분간 추출하여 3,500 rpm에서 30초간 원심분리하고 상등액을 1 µL씩 GC(Thermo Fisher Scientific)에 주입하여 분석하였다.

벼 유전자원의 2AP 정량

공시재료 79품종의 현미를 분쇄기로 5초 간 분쇄한 현미가루 200 mg을 1 mL screw cap vial에 넣고 0.75 mL 100% ethanol을 첨가하여 90°C 항온수조에 30분간 가열하여 2AP를 추출한 후, 3,500 rpm에서 30초간 원심분리하여 상등액을 1 µL씩 분석하였다.

GC는 Thermo-FID형을 사용하였다. 분석용 column은 Thermo DB5MS(30 m×0.32 mm i.d., 0.25 µm)를 사용하였으며, GC oven 온도는 40°C에서 1분간 유지한 다음 120°C까지 분당 9 속도로 온도를 올려 120°C에서 1분간 유지한 다음 275°C까지 분당 25°C 속도로 온도를 올려 5분간 유지하여 전체 oven의 run-time은 22 분으로 하였다. 주입구(inlet-SSL)의 온도는 155°C split flow는 10 mL/min이며 splitless 시간은 1분이었고 검출기는 불꽃이온화 검출기(Flame ionization detector, FID)를 사용하였으며, 검출기 온도는 300°C로 air는 350 mL/min로, 수소(H₂)는 35 mL/min로 흐르게 하였다. Carrier gas는 질소(N₂) 가스(1.0 mL/min)를 사용하여 splitless mode로 샘플을 주입하였다.

결과 및 고찰

2AP 검량선 작성

2AP 표준물질을 농도별로 희석하여 GC로 분석한 후 표준물질 농도별로 나온 peak area로부터 검량식을 구하였고, Fig. 1과 같이 상관계수(R²)가 0.999로 매우 높은 유의성을 보였으며 검량선의 패턴은 $y=0.00004x-0.02226$ 의 직선형을 나타내었다.

용매 및 추출온도 조건 정립

시험재료로부터 2AP를 비롯한 방향성 화합물을 효과적으로 추출하기 위해 일반적으로 많이 사용하고 있는 3종류의 유기용매(acetonitrile, ethanol, methanol)를 이용하여 추출온도(30-90°C)별로 각각 2AP를 추출하였고, 그 결과 Fig. 2와 같이 추출온도에 따라

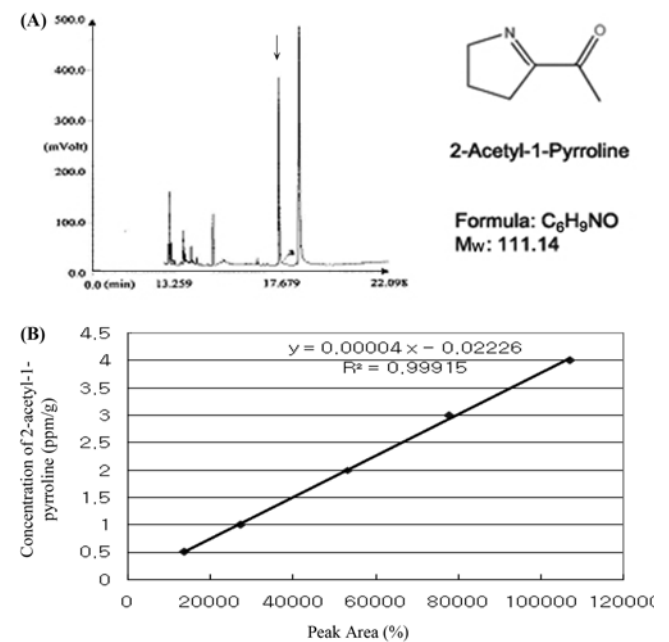


Fig. 1. Typical GC chromatogram (A), structure of 2AP (A) and correlation standard curve of 2AP between peak area (%) of the GC spectrum and 2AP concentration (ppm/g) (B).

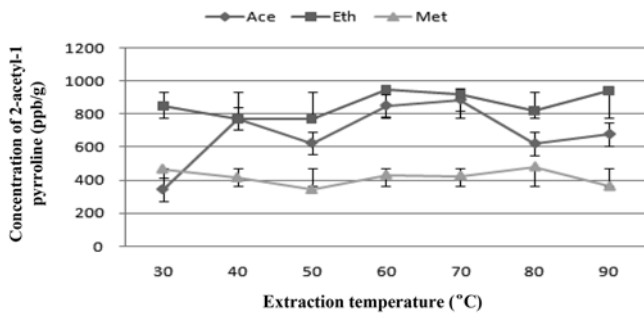


Fig. 2. Estimation of extraction conditions of 2AP of brown rice under the different condition of temperature and organic solvents. Ace, acetonitrile; Eth, ethanol; Met, methanol.

차이를 보였으며, ethanol>acetonitrile>methanol 순으로 추출효율을 보였다.

추출온도에 따른 유기용매별 2AP 추출농도의 변화를 살펴보면 methanol의 경우 추출농도가 가장 낮았고 추출온도의 변화에 따른 2AP 추출농도의 변이 차이가 없었다. ethanol의 경우 30-90°C의 온도 범위에서 3가지의 유기용매 중 2AP 추출효과가 가장 뛰어났고, 특히 90°C에서 2AP 추출농도가 가장 높았다. 3종류의 유기용매 중 극성이 가장 높은 acetonitrile은 methanol과 ethanol의 중간적인 효과를 나타내었는데 90°C보다 70°C에서 2AP 추출농도가 높았다. Itani 등(18)은 ethanol을 이용하여 80°C 항온수조에서 60분간 진탕하여 효과적으로 추출한 것으로 보고하였다.

추출시간 및 분쇄 정도

향미로부터 효과적인 2AP 추출을 위해 100% ethanol을 용매로 하여 90°C에서 15분, 30분, 60분, 90분 간격으로 추출하였고, 그 결과 Fig. 3의 A와 같이 30분간 추출하였을 때 2AP 추출함량이 가장 높았으며 추출 시간이 경과할수록 2AP의 함량이 낮아지는 경향을 보였다. 이와 유사한 결과가 SPME(solid phase micro extraction)방법에 의한 2AP의 추출조건으로 80°C에서 25분간 전열처리 후 15분간 2AP를 포집하여 분석하여 보고되었다(12-13). 또한 Yoshihashi 등(16)은 쌀가루로부터 효과적인 2AP의 추출을 위해 90°C에서 8-14분 동안 추출하여 실험한 결과 8분간 추출한 시료에서 2AP 농도가 가장 높았고 시간이 경과함에 따라 2AP 농도가 감소하는 것으로 보고하였다.

Kim 등(14)에 의하면 국내육성 향미자원(71.1±0.89-68.7±2.0)

및 다면적 재래자원(70.5±1.18)의 평균 호화개시온도가 도입 향미자원(78.2±4.66-73.8±6.40°C)의 평균 호화개시온도보다 약 3-8°C 정도 낮은 것으로 보고되었으므로 2AP의 추출온도 및 시간도 이러한 물리적인 영향을 받은 것으로 사료된다.

현미의 분쇄정도(0, 5, 10, 15, 20, 25초)에 따른 2AP 추출함량의 차이를 살펴보면, Fig. 3의 B와 같이 5초간 분쇄하였을 경우 2AP 추출함량이 높았으며 분쇄하지 않은 현미로부터 추출하였을 경우 가장 낮은 2AP 함량을 나타내었고 분쇄 시간이 길어질수록 2AP의 함량이 낮아지는 경향을 나타내었다.

이러한 경향을 Gay 등(12)은 2AP를 비롯한 방향성 화합물은 쉽게 대기 중에서 증발하기 때문에 분석하고자 하는 시료를 유리병에 밀봉하여 4°C에서 저온 저장한다고 보고하였으며, Buttery 등(5)은 파우더 상태에서 보다 현미 상태에서 2AP를 추출하였을 때 추출농도가 더 높았다고 보고하였다. 또한 Yoshihashi 등(17)에 의하면 2AP는 친유성의 화합물로 전분입자 표면에 결합되어 있어 실온에서도 높은 방향성을 나타낸다고 보고하였다. 따라서 쌀에서 2AP 농도는 저장방법, 요리방법, 분쇄방법 등 물리적인 요인에 의해 큰 영향을 받는 것으로 사료된다.

2AP에 관한 최초 보고자인 Buttery 등(1,11) 뿐만 아니라 다른 실험자들(Ishitani 등(6), Hien 등(9), De Kimpe 등(10), Grimm 등(13), Yoshihashi 등(17), Kim 등(19))도 본 실험과 같이 단일 유기용매만을 사용하여 GC 및 GC-MS를 이용하여 2AP뿐만 아니라 방향성 화합물을 효과적으로 분석한 결과를 보고하였다.

벼 유전자원의 2AP 정량

Fig. 4는 실험에 사용한 79품종에 대한 2AP 함량을 GC로 분석한 결과로, 국내에서 육성한 향미 자원의 평균 2AP함량은 75.1 ng/g이었고 2AP 함량 범위는 47.7-157.3 ng/g이었다. 도입 향미자원 중 Indica type의 평균 2AP함량은 115.5 ng/g이었고 2AP 함량 범위는 30.6-603.0 ng/g이었으며, Japonica type의 평균 2AP함량은 102.1 ng/g이었고 2AP 함량 범위는 32.7-285.9 ng/g이었다. 결과에서 평균 2AP함량은 국내 육성 향미 자원이 도입 향미자원에 비해 낮은 경향을 보였으며 도입자원에서는 Indica type의 향미 자원이 높은 2AP 함량을 나타내었다. Jeong 등(20)에 의하면 향미자원을 GC로 분석하였을 때, 향남벼를 비롯한 Japonica type의 평균 2AP 농도는 142.3 ng/g이며 향남벼 1호를 비롯한 Indica type의 평균 2AP 농도는 278.5 ng/g으로 Indica type의 향미자원의 2AP 농도가 상대적으로 높게 검출되었음을 보고하였다. 또한 GC-MS 분석결과에서도 동일한 경향을 나타냄을 보고하였다.

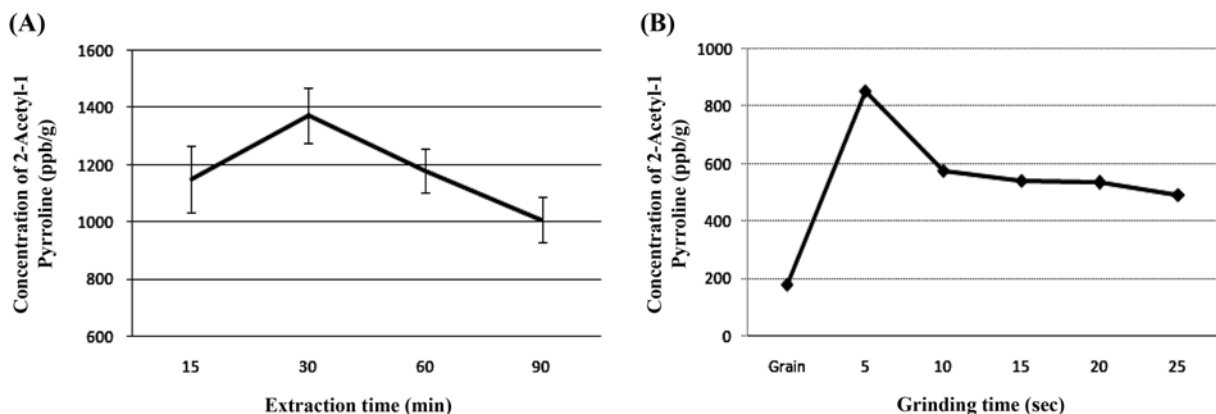


Fig. 3. Extraction time of 2AP of the brown rice with 100% ethanol at 90°C (A), and grinding time of the brown rice with hand mixer at 3,500 rpm (B).

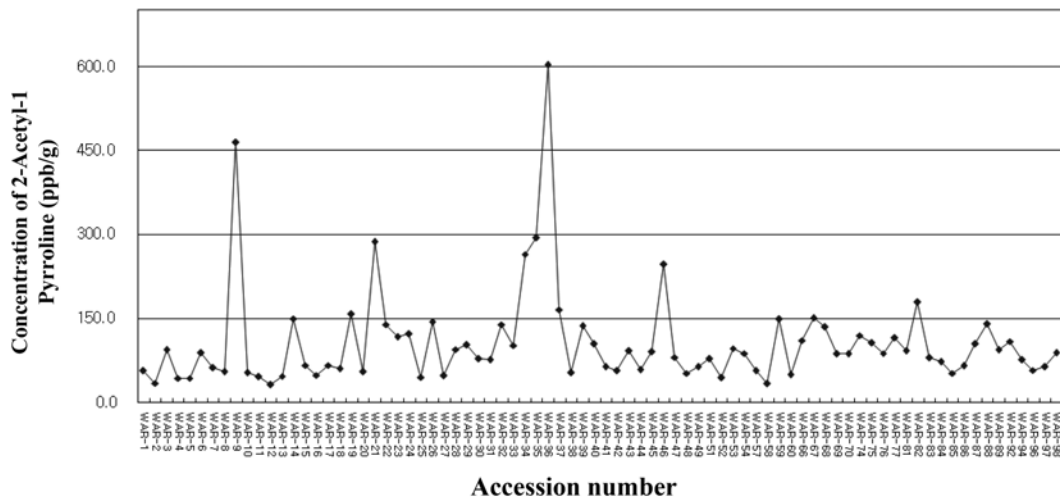


Fig. 4. Quantification of 2AP extracted with 100% ethanol at 90°C for 30 min on the hot block by gas chromatography with SPME method in 79 accessions of aroma rice germplasm.

방향성 유용유전자원 선발

Table 1은 실험에 사용한 79품종 중에서 2AP 함량(Fig. 4)이 높으며 벼의 수량을 결정하는 구성요소 중 1,000립중(1,000 weight)이 많고 출수기간이 짧은 자원을 선발하였다. 국내 육성 향미자원은 아랑향찰벼 외 4품종(21)과 도입 향미자원은 Indica type의 Basmati6313 외 18품종 및 도입 향미자원은 Japonica type의 Jahyangna861 외 5품종을 선발하였다. 선발한 국내 육성 향미자원의 평균 2AP함량과 범위는 앞에서 언급한 바와 같고 평균 출수일은 130.3일(122-136일)이며, 평균 1,000립중은 21.65 g(18.5-24.6 g)이었다. 선발한 도입 Indica type 향미자원의 평균 2AP함량은 175.5 ng/g(51.96-602.96 ng/g)이고, 평균 출수일은 137.1일(122-148일)이며, 평균 1,000립중은 19.9 g(15.5-23.6 g)이었다. 또한 선발한 도입 Japonica type 향미자원의 평균 2AP 함량은 144.4 ng/g(65.81-285.89 ng/g)이고, 평균 출수일은 131.8일(108-139일)이며, 평균 1,000립중은 25.5 g(20.1-29.7 g)이었다.

우리나라는 1970년대 이후부터 쌀이나 쌀밥의 특징적인 향기를 구명하는 연구가 수행되었으며(5,21), 1993년부터 “향미벼1호” 비롯한 향미품종을 육성 보급하게 되었고(22) 다양한 향이나 질서, 색깔을 갖는 향미품종을 개발 및 유전적인 연구가 진행되었다(2,19,24-25).

Wanchana 등(25)에 의하면 향미 유전자원의 2AP와 관련된 QTL 분석 결과 벼의 8번 chromosome 4.5 cM 부위에 의해 조절된다는 보고가 있었고, 그 이전에 Ahn 등(23)의 연구 결과에 의하면, 미국의 대표적인 향미자원인 Della의 방향성에 관련된 열성 유전자가 벼의 8번 염색체 상의 RFLP 표지인자 RG28과 4.5 cM 거리로 연관되어 있고 향미벼1호, 상해향혈나 등 향미품종과 화성벼를 비방향성 품종으로 하여 2개의 조합 및 향미품종간 6개 조합을 통한 향미품종의 방향성에 관련된 유전자를 분석 하였다.

또한 Yoshihashi 등(16-17,26)에 의하면 2AP 함량은 유전적인 특성뿐만 아니라 재배하는 토양, 기후, 관수나 시비량과 같은 재배방법 등 환경적인 요인에 의해 동일한 품종이라 하더라도 다양한 2AP 함량을 나타내기도 하고 저장 조건에 따라서도 2AP의 함량이 차이가 있다고 보고되었지만 향미자원이 가지는 유전적인 특성이 중요하다고 사료된다.

본 실험의 목적 중에 하나는 대량의 유전자원이 가지는 특성

을 신속·정확하게 분석하는 것이다. 따라서 다소 화학적으로 복잡한 추출방법을 피하고 가능하다면 간편하고 신속하게 2AP를 정량할 수 있는 추출 및 분석방법을 택하여 비교분석 하였다.

향후, 본 실험의 결과를 통해 선발된 30품종들은 GC-MS분석을 통한 품종간의 방향성 화합물의 정성·정량적 분석을 통해 보다 정확한 방향성 향미자원 육종 재료의 선발이 필요할 것으로 사료된다.

요 약

본 실험은 국내 육성향미자원과 유전적 배경이 서로 다른 도입향미 유전자원의 2AP 함량을 비교분석하여, 2AP 함량이 높고 농업적 형질이 우수한 자원을 선발하여 우수한 향미자원의 육성에 필요한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다. 3종류의 유기용매에 대한 추출효율은 ethanol>acetone>methanol 순으로 확인되었으며, ethanol의 경우 30-90°C의 온도범위에서 3가지 유기용매 중 2AP 추출효과가 가장 뛰어났고, 특히 90°C에서 30분간 추출하였을 때 2AP 추출함량이 가장 높았고 추출 시간이 경과할수록 2AP의 함량이 낮았다. 현미의 분쇄정도에 따른 2AP 추출함량은 5초간 분쇄하였을 경우 가장 높았으며 분쇄 시간이 길어질수록 낮아졌다. 선발한 30품종 중 국내 향미자원과 자포니카형 도입자원의 평균 출수일은 각각 130.3일과 131.8일로 비슷하였으며 인디카형 도입자원은 약 137.1일로 가장 늦었다. 평균 1,000립중은 인디카형 도입자원이 19.9 g으로 가장 낮았으며, 국내 향미자원이 21.65 g이었고 자포니카형 도입자원은 25.5 g으로 높았다. 선발자원의 향에 대한 관능검사는 국내 향미자원 5품종 중 향남벼 2호, 아랑향찰벼가 중간 정도의 향을 띄었고 인디카형 도입자원 19품종 중에서 11품종(57.9%)과 자포니카형 도입자원 6품종 중 2품종(33.3%)이 중간 이상의 향을 나타냈다. 선발한 30품종의 평균 2AP 함량은 국내 육성 향미자원이 도입 향미자원에 비해 낮았으며 도입자원에서는 인디카형이 자포니카형보다 높은 2AP 함량을 나타내었다. 국내 육성 향미자원은 아랑향찰벼 외 4품종과 도입 향미자원 중 인디카형은 Basmati6313 외 18품종 및 자포니카형은 자향나 861 외 5품종을 선발하였다.

Table 1. A total 30 accessions of rice germplasm selected based on 2AP concentration and other agronomic traits

	Accession Number	IT Number ¹⁾	Varieties	Origin	2AP (ng/g) ²⁾	Sensory test	Heading date	1000 weight (g)
Domestic aroma rice	WAR19	203705	Aranghyangchalbyeo	Korea	157.32	++	136	18.5
	WAR17	191971	Hyangnambyeo	Korea	65.61	++	136	21.5
	WAR18	191962	Hyangmibyeco2ho	Korea	59.46	+	122	24.6
	WAR20	196276	Mihayangbyeo	Korea	54.53	+	136	20.9
	WAR16	192023	Hyangmibyeco1ho	Korea	47.73	+	122	22.8
Indica type of foreign aroma rice	WAR24	207636	Goolarath	Australia	121.87	++	122	19.6
	WAR23	102310	Seratus Malam	India	116.50	++	122	33.6
	WAR06	213081	Iranbeopssi	Iran	87.40	+	136	24.3
	WAR28	136185	TALLI	Nepal	93.87	+	122	19.9
	WAR82	155906	Basmati213C	Pakistan	178.6	+	148	20.7
	WAR09	207665	Basmati370	Pakistan	463.46	+++	136	18.1
	WAR67	155925	Basmati5854	Pakistan	150.72	+	138	17.8
	WAR68	155927	Basmati5875	Pakistan	134.40	+	145	20.8
	WAR84	K056308	Chahora144	Pakistan	72.05	++	131	18.5
	WAR30	155899	Basmati107	Philippines	76.87	++	136	16.5
	WAR31	155915	Basmati405	Philippines	75.03	+	136	16.4
	WAR32	155924	Basmati5853	Philippines	138.46	+	136	19.0
	WAR33	155926	Basmati5874	Philippines	101.36	++	147	17.0
	WAR34	155930	Basmati6129	Philippines	263.42	++	147	17.9
	WAR37	155934	Basmati6141	Philippines	165.10	++	147	20.0
WAR35	155932	Basmati6311	Philippines	292.68	++	136	21.6	
WAR36	155933	Basmati6313	Philippines	602.96	+++	147	17.6	
WAR59	000347	Binicol	Philippines	148.97	++	136	15.5	
WAR10	K037775	Jasmine85	USA	51.96	+	136	22.6	
Japonica type of foreign aroma rice	WAR21	043511	A-2	Butan	285.89	+	136	29.7
	WAR22	113892	A-3, Choh Chang	Butan	138.90	+	136	28.0
	WAR03	K037323	Jahyangna861	Chaina	92.77	+	136	24.6
	WAR15	177080	Shiyayuuine	Japan	65.81	+	108	20.1
	WAR26	165761	Daw Dam	Thailand	143.41	++	136	28.7
	WAR14	K016876	415 X Ir352	Vietnam	139.63	++	139	21.9

¹⁾Korean Genebank's identity number (K- is means the temporary IT number)

²⁾2AP detected by gas chromatography occupied with FID detector

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업생명공학연구원의 2008년도 기본경상과제로 수행되었으며 주저자의 박사학위논문 수행을 위한 산학연과정으로 도움을 받아 수행하였다.

문헌

- Buttery RG, Ling LC, Juliano BO, Tumbaugh JG. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. *J. Agr. Food Chem.* 31: 823-826 (1983)
- Park SJ, Choi HC, Heu MH, Koh HJ. Development of new rice varieties and techniques improving the palatability of cooked rice to increase the consumption of rice. RDA special research report. pp. 88-143. Rural Development Administration Press, Suwon, Korea. (1993)
- Son JL, Kim JH, Lee JI, Yoon YH, Kim JG, Hwang HG, Moon HP. Trend and further research of rice quality evaluation. *Korean J. Crop Sci.* 47: 33-54 (2002)
- Kumary SL. Rice varieties Kerala's special. *Kerala Calling* 27: 16-18 (2007)
- Lee BY, Son JR, Ushio M, Keiji K, Akio M. Changes of volatile components of cooked rice during storage at 70. *J. Korean Soc. Food Sci. Technol.* 23: 610-613 (1991)
- Ishitani K, Fushimi C. Influence of pre- and post-harvest conditions on 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice. *The Koryo* 183: 73-80 (1994)
- Endo I, Chikubu S, Tano T. Measurement of volatile carbonyl compounds in the vapor of cooked rice. *J. Jpn. Soc. Food Technol.* 24: 142-144 (1977)
- Yajima, I, Yanai T, Nakamura M, Sakakibara H, Hayashi K. Volatile flavor components of cooked Kaorimai-(Scented rice, *O. sativa japonica*). *Agr. Biol. Chem.* 43: 2425-2429 (1979)
- Hien NL, Yoshihashi T, Sarhadi WA, Hirata Y. Sensory test for aroma and quantitative analysis of 2-acetyl-1-pyrroline in asian aromatic rice varieties. *Plant Prod. Sci.* 9: 294-297 (2006)
- De Kimpe NG, Stevens CV, Keppens MA. Synthesis of 2-acetyl-1-pyrroline, the principal rice flavor component. *J. Agr. Food Chem.* 41: 1458-1461 (1993)
- Buttery RG, Ling LC, Mon TR. Quantitative analysis of 2-acetyl-1-pyrroline in rice. *J. Agr. Food Chem.* 34: 112-114 (1986)
- Gay F, Mestres C, Hien PP, Laguerre M, Ringuet J. Development of SEMI-quantitative methods to analyse rice aroma. pp. 178-18. In: Proceedings of International Workshop on Biotechnology in Agriculture. October 20-21, Nong Lam Univ. Ho Chi Minh, Vietnam. International Rice Research Institute, Manila, Philippine (2006)
- Grimm CC, Bergman C, Delgado JT, Bryant R. Screening for 2-acetyl-1-pyrroline in the headspace of rice using SPME/GC-MS. *J. Agr. Food Chem.* 49: 245-249 (2001)

14. Kim JS, Ahn SN, Kang HK, Cho YH, Gwag JG, Lee SY. Estimation of physico-chemical characteristics of domestic aroma rice and foreign aroma rice. *Korean J. Crop Sci.* 53(2):203-216 (2008)
15. Lin CF, Hsieh TC, Hoff and BJ. Identification and quantification of the 'popcor-like' aroma in Louisiana aromatic 'Della' rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agr. Food Chem.* 55: 1466-1467 (1990)
16. Yoshihashi T. Quantitative analysis on 2-acetyl-1-pyrroline of an aromatic rice by stable isotope dilution method and model studies on its formation during cooking. *J. Food Sci.* 67: 619-622 (2002)
17. Yoshihashi T, Huong NTT, Surojanametakul V, Tungtrakul P, Varayanond W. Effect of storage conditions on 2-acetyl-1-pyrroline content in aromatic rice variety, 'Khao Dawk Mali 105'. *J. Food Sci.* 70: S34-S37 (2005)
18. Itani T, Tamaki M, Hayata Y, Fushimi T, Hashizume K. Variation of 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice grains collected in the same region in Japan and factors affecting its concentration. *Plant Prod. Sci.* 7: 178-183 (2004)
19. Kim KH, Cho SY, Moon HP, Choi HC. Breeding strategy for improvement and diversification of grain quality in rice. *Korean J. Breed. Sci.* 26: 3-19 (1994)
20. Jeong OY, Lee JH, Hong HC, Kim SL, Paek JS, Lee KS, Yang SJ, Lee YT, Yang DS, Kays SJ. Volatile flavor components of aromatic versus non-aromatic rice varieties. *Korean J. Crop Sci.* 47: 284-285 (2002)
21. Lee JC, Kim YH. Comparison of volatile flavor components of Korean aromatic rice and nonaromatic rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28 : 299-304 (1999)
22. Choi YG, Kim MK, Jung KH, Cho SY, Moon HP, Jun BT, Choi HC, Park NG, Kim GW, Hwang KH, Kim YS, Park RK, Cho JY. An aromatic semi-dwarf lodging resistant rice variety 'Hwangmibyeolho'. *Agricultural Science Reports of RDA* 37: 67-74. Rural Development Administration Press, Suwon, Korea (1995)
23. Ahn SN, Bolich CN, Tanksley SD. RFLP tagging of gene for aroma in rice. *Theor. Appl. Genet.* 84: 825-828 (1992)
24. Kim CY, Lee JC, Kim YH, Pyon JY, Lee SG. Volatile flavor components of scent, colored, and common rice cultivars in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 44: 181-185 (1999)
25. Wanchana S, Kamolsukyonyong W, Ruengphayak S, Toojinda T, Traoonrun S, Vanavichii A. A rapid construction of a physical contig across a 4.5 cM region for rice grain aroma facilitates marker enrichment for positional cloning. *Science Asia* 31 : 299-306 (2005)
26. Yoshihashi T, Huong NTT, Kabaki N. Quality evaluation of 'Khao Dawk Mali 105', an aromatic rice variety of northeast Thailand. *Jpn. Agr. Res. Quart.* 30: 151-160 (2004)