

전자눈을 이용한 햅쌀, 묵은쌀 및 이의 혼합쌀 판별 분석

홍지화* · 이재훈 · 조영호¹ · 최경후 · 이민휘 · 박영준 · 김현태

국립농산물품질관리원 시험연구소, ¹센텀테크

Discrimination analysis of new rice, stale rice, and their mixture using an electronic eye

Jee-Hwa Hong*, Jae-Hwon Lee, Young-Ho Cho¹, Kyung-Hu Choi, Min-Hui Lee, Young-Jun Park, and Hyun-Tae Kim

Experiment Research Institute, National Agricultural Products Quality Management Service
¹Centum-Tech

Abstract The objective of this study was to develop methods for the discrimination of new and stale rice by using an electronic eye. To develop the discriminant, 107 rice samples produced in the years 2015 and 2016 were investigated. After the rice was treated with guaiacol, oxydol, and *p*-phenylenediamine reagents, an electronic eye was applied to discriminate between newly harvested rice and rice stored for 1 year. Out of the 4,096 color codes of the electronic eye, 31 color codes were identified for the discrimination of newly harvested rice and rice stored for 1 year. The classification ratio of newly harvested rice and rice stored for 1 year was 100% and the discrimination accuracy for unknown samples was 100%. In a total of 150 mixtures of new rice and stale rice, the discrimination accuracy was between 16.7 and 95.6%, depending on the mixing ratio. This capability of the electronic eye will be useful as a tool for discriminating the production year of rice.

Keywords: electronic eye, discrimination, newly harvested rice, rice stored for one year, color codes

서 론

쌀은 아시아 지역 국가의 주식으로 섭취되는 식품으로 전세계적으로 가장 중요한 식품 중 하나이다. 쌀은 수확된 벼로부터 제현 및 가공을 거쳐서 생산이 되는데, 햅쌀(신곡)이라 함은 당해 연도에 생산되어 다음해에 새로운 쌀이 생산될 때까지 가공, 유통되는 쌀이다. 양곡관리법의 양곡의 혼합금지 조항에 따라 생산 연도가 다른 양곡을 혼합하여 판매하는 행위는 금지되어 있으나 묵은쌀(구곡)을 햅쌀로 둔갑하거나 생산연도가 다른 쌀을 혼합하여 유통 판매 하는 등 연산을 거짓으로 표시하는 사례가 지속적으로 발생하고 있어 농산물 안전에 대한 우려가 커지고 있다. 이에 따라 햅쌀과 묵은쌀을 판별하기 위한 분석법 개발이 매우 필요한 실정이다. 햅쌀과 묵은쌀을 판별할 수 있는 방법은 국내외적으로 현재까지 보고된 바 없으나 벼의 저장기간 동안의 생리학적 변화 등에 대한 연구(1-3)와 신선도(freshness) 품질 검정과 관련된 연구(4,5)가 수행된 바 있다. 또한 국립농산물품질관리원 농산물 검사·검정의 표준계측 및 감정방법에 고시된 쌀의 신선도 감정 방법에 따르면 쌀의 신선도라고 함은 쌀의 신곡과 구곡

에 상관없이 쌀이 신선한가 아닌가를 판단하는 것이며 GOP(guaiacol, oxydol, *p*-phenylenediamin) 시약 처리에 의한 산화효소 작용의 정도를 발색된 시약의 색깔의 진하기로 판단한다. 국외에서는 쌀의 신선도를 판별하는 방법으로 Hachiya 등(6)은 구아이아콜(guaiacol) 시약을 이용하여 효소 활성도를 분석하였고 bromothymol blue(7)와 과산화 효소(peroxidase) 반응(7,8)을 이용하여 신선도를 분석한 결과가 보고된 바 있다. 이러한 신선도 감정법을 이용하여 쌀의 신곡 판별이 가능한지 알아보고자 다양한 조건에서 보관된 벼를 수집하여 쌀로 가공한 후 신곡을 판별한 결과 판별 정확도가 99%이상으로 나타났다. 하지만 신선도 감정법은 효소의 활성 정도를 육안으로 감정하는 방법으로 감정자에 따라 결과 판단이 주관적이기 때문에 이를 신곡과 구곡의 판별에 직접 활용하기는 어려운 실정이다. 따라서 신선도 감정법을 신곡 판별에 활용하기 위해서는 객관적이고 과학적으로 판별할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 국내에서 수집된 쌀 신곡과 구곡을 대상으로 GOP 시약을 처리한 후 색을 판별하는 전자눈 장비를 이용하여 신곡과 구곡의 판별에 적합한 색깔 코드의 선별과 이를 이용한 쌀 신곡과 구곡의 판별 체계를 확립하고자 하였다. 또한 개발된 판별식을 이용하여 혼합곡에 대한 판별이 가능한지를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

쌀 분석시료

전자눈 분석을 이용한 쌀의 신곡 판별식 작성을 위하여 2016년산 벼(신곡) 32점과 2015년산 벼(구곡) 75점을 수집하였다. 시

*Corresponding author: Jee-Hwa Hong, Experiment Research Institute, National Agricultural Products Quality Management Service, Gimcheon, Gyeongbuk 39660, Korea
Tel: +82-54-429-7722
Fax: +82-54-429-7729
E-mail: hongjh19@korea.kr
Received May 2, 2017; revised August 12, 2017;
accepted August 14, 2017

료는 전국에서 생산된 주요 벼 품종으로 추청, 신동진, 대안, 삼광, 운광, 새누리, 오대, 고시히까리, 수광, 일품 품종 등을 수집하였다. 수집된 벼를 제현기(SY-88, Ssangyong, Incheon, Korea)로 제현 한 후 도정기(MC-90A, Toyo, Tokyo, Japan)를 이용하여 12분도로 가공하였다. 신곡과 구곡을 일정한 비율로 혼합한 시료는 2016년산 벼 53점과 2015년산 벼 78점을 수집하였고 수집된 시료로부터 신곡과 구곡을 일정 비율로 혼합한 시료 총 150점을 분석에 사용하였다. 혼합곡은 신곡과 구곡을 시료 점당 100립에 맞춰서 8:2, 7:3, 5:5, 3:7, 2:8의 비율로 조제하였다.

시료 전처리

쌀에 포함된 과산화효소 등의 활성도를 분석하기 위하여 국립농산물품질관리원 농산물 검사검정의 표준계측 및 감정방법의 신선도 감정법에 준하여 전처리를 실시하였다. 쌀을 균분하여 완전립 100립을 채취한 후 시험관에 담아두었다. 구아이아콜 1%액, 과산화수소 3%액, 파라페닐렌디아민(*p*-phenylenediamine) 0.2%액을 조제하였고 쌀에 조제된 구아이아콜 4 mL을 가하여 vortex한 후 2분간 정치하고, 과산화수소 200 μ L을 가하여 vortex한 다음, 파라페닐렌디아민 3 mL을 추가하여 vortex한 후 5분간 정치하였다. 증류수를 이용하여 시료를 1회 세척한 후, 액을 버리고 시약에 의해 착색된 쌀을 전자눈 분석 시료로 활용하였다.

전자눈 분석

시약 처리된 쌀을 전자눈 장비(IRIS Visual Analyzer VA400, Alpha MOS, Toulouse, France)의 검정 시료판 중 검정색 샘플 트레이에 올려 놓은 후, 장비에 탑재된 카메라로 사진을 찍어 이미지 데이터를 얻었다. 시료의 이미지 촬영은 동일시료라도 2-3회씩 촬영하였고 매회 시료를 골고루 섞어서 정확성이 확보되도록 하였다. 카메라는 16M CCD 칼라 카메라에 렌즈 크기는 25 mm, 조명은 장비 위에 위치한 LED 조명만 켜 상태로 촬영하였다. 전자눈 장비는 센서와 카메라를 통해 받은 신호를 소프트웨어에서 인지하여 통계처리를 통해 색을 판단하게 되는데 IRIS 소프트웨어에 탑재된 칼라 코드는 4,096개가 있고 각 칼라코드는 빛의 3원색인 적(Red), 녹(Green), 청(Blue)을 기반으로 각각의 RGB 값으로 표현이 된다. 이 규격은 sRGB(standard RGB 또는 single RGB)로서 1999년에 IEC(국제전기표준회의)의 TC100 중 IEC 61966-2-1에 기재가 되어 있다(9). 시료의 색은 픽셀(pixel) 단위로 색의 면적(area) 값을 데이터 처리하는 방법을 선택하였고 이에 따라 색의 함량은 픽셀 수로 계산하였다. 샘플과 관련이 없는 색은 데이터 처리과정에서 배경 데이터 값을 빼고 분석하였다.

통계분석

칼라 코드별 식별능(discrimination power)은 IRIS 전자눈 장비에 탑재되어 있는 소프트웨어 프로그램(AlphaSoft, version 14.3, Toulouse, France)을 이용하여 분석하였고 계산식은 아래와 같다.

Discrimination Power

$$=1-\text{Variance (color code)}/\text{Variance (total selected color code)}$$

위 식에서 변수는 선정된 칼라코드 별 픽셀 수 또는 칼라 함량(area %)에 의하여 판별되는 값을 의미한다. 전자눈 분석 결과의 데이터 분석은 IRIS 전자눈 장비에 포함된 통계프로그램 중 주성분분석을 통해 신곡과 구곡 및 혼합곡간의 통계적인 거리 및 분포도를 확인하였다. 신곡과 구곡의 판별식 작성을 위하여 신곡과 구곡 간에 차이를 나타내는 변수로 선정된 칼라코드 별 시료의 픽셀수 데이터를 하나의 표로 정리하여 신곡이면 “1”, 구곡이면 “2”로 구분한 후 통계프로그램(UNISTAT Statistical Package for Windows, version 6.5, London, England)의 다중판별분석 중 정준판별 분석을 이용하여 통계분석을 실시하였다. 통계 분석을 통해 각 시료별로 신곡과 구곡에 일치되게 적중되는 비율을 계산하여 판별식을 작성하였고 확립된 판별식의 검증은 기 확립된 판별식에 미지 시료의 픽셀 값을 추가하고 미지 시료는 “*”로 구분한 후 정준판별 분석하여 판별 정확도를 검증하였다. 또한 미지 시료 중 혼합곡의 경우 구곡이 혼합되어 있으므로 구곡으로 판별될 확률로 판별 정확도를 검증하였다.

결과 및 고찰

쌀 신곡과 구곡 판별용 칼라 코드 선정

신곡과 구곡의 차이를 식별할 수 있는 색을 선정하기 위하여 GOP 시약 처리에 의한 효소 활성도 반응을 수행한 후 전자눈 분석을 통해 신곡과 구곡 수집시료에 대한 이미지 데이터를 획득하였다(Fig. 1). 칼라 코드 각각의 RGB 값은 8, 24, 40, 56, 72, 88, 104, 120, 136, 152, 168, 184, 200, 216, 232, 248 총 16개의 번호로 나열되어 있으며 각각의 조합으로 4,096개의 색이 표현이 된다. 장비에 탑재되어 있는 4,096개의 칼라 코드로부터 판별식 작성용 시료 107점 중 신곡과 구곡 시료 간의 차이를 식별해 낼 수 있는 칼라 코드를 31개 선별하였고 칼라코드 별 RGB 값과 식별능은 Table 1과 같다. 31개 색의 식별능 값은 최소 0.326 (color-802)에서 최대 0.945 (color-1093)의 범위를 나타내었고 31개 색의 평균 식별능 값은 0.631로 0.5보다 높게 나타났으므로 신곡과 구곡이 색깔 지표로 구분될 수 있음을 확인할 수 있었다.

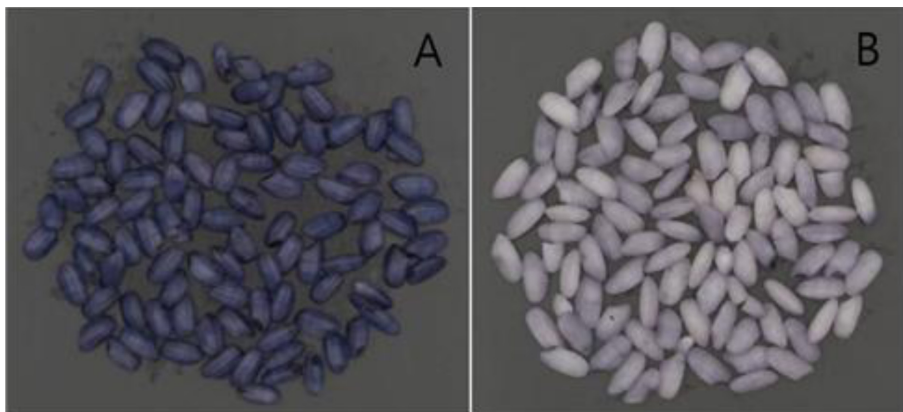


Fig. 1. Representative image of electronic eye for new rice (A) and stale rice (B) treated with guaiacol, oxydol, and *p*-phenylenediamine.

Table 1. The list of color codes and discrimination power for identifying new rice and stale rice

No.	Color code name	Red	Green	Blue	Discrimination power
1	Color-530	40	24	40	0.483
2	Color-546	40	40	40	0.588
3	Color-563	40	56	56	0.765
4	Color-802	56	40	40	0.326
5	Color-803	56	40	56	0.791
6	Color-804	56	40	72	0.702
7	Color-819	56	56	56	0.490
8	Color-820	56	56	72	0.841
9	Color-836	56	72	72	0.682
10	Color-1076	72	56	72	0.672
11	Color-1077	72	56	88	0.869
12	Color-1091	72	72	56	0.373
13	Color-1093	72	72	88	0.945
14	Color-1094	72	72	104	0.754
15	Color-1110	72	88	104	0.698
16	Color-1349	88	72	88	0.693
17	Color-1350	88	72	104	0.798
18	Color-1366	88	88	104	0.870
19	Color-1367	88	88	120	0.645
20	Color-1383	88	104	120	0.586
21	Color-1621	104	88	88	0.704
22	Color-1623	104	88	120	0.651
23	Color-1637	104	104	88	0.766
24	Color-1640	104	104	136	0.473
25	Color-1656	104	120	136	0.367
26	Color-1894	120	104	104	0.642
27	Color-1910	120	120	104	0.360
28	Color-2167	136	120	120	0.522
29	Color-2440	152	136	136	0.349
30	Color-2457	152	152	152	0.696
31	Color-2714	168	152	168	0.448
Average					0.631

평균 식별능 값이 의미하는 것은 31개 칼라코드 각각의 식별능 값이 차이가 있더라도 31개 칼라코드는 쌀의 신곡과 구곡을 판별하는데 각각 기여를 하며 31개 칼라코드를 조합으로 묶어서 변수로 활용하였을 때 쌀의 신곡과 구곡을 가장 잘 판별할 수 있는 수치를 의미한다. 전자눈 분석에서는 사례가 없지만, 품종 식별 마커 개발 연구에서 마커별 품종구분 능력을 나타내어 주는 값이 특정 마커에서 낮다고 하더라도 전체 마커의 조합으로 공시 품종을 식별함으로써 모든 품종이 식별된 연구 결과가 발표된 바 있다(10). 따라서 본 연구를 통해 선별된 31개 색 코드 세트를 쌀의 신곡과 구곡을 판별하기 위한 지표로 선정하였다.

쌀 신구곡 판별식 작성

선별된 칼라코드 31개를 변수로 이용하여 판별식 작성 시료의 픽셀 수 값을 주성분 분석한 결과 2016년산 신곡 32점과 2015년산 구곡 75점의 분류적중률은 100%로 나타났다(Fig. 2). 주성분 분석에 의한 칼라맵의 X축인 PC1의 변수 값은 87.068이었고 Y축인 PC2의 변수값은 5.129였다. 이것은 분석된 시료의 값들이 X축에서는 87.068% 설명이 되고, Y축에서는 시료의 값들이

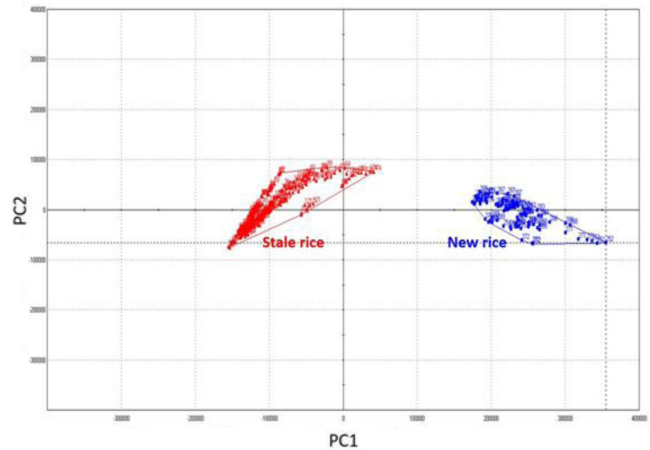


Fig. 2. Principal component analysis of electronic eye data for new rice and stale rice.

5.129% 설명이 됨을 의미한다. 판별식 작성을 위하여 다중판별 통계분석 한 결과 신곡의 판별분석 값은 11.7587, 구곡의 판별분석 값은 -4.8603으로 나타나 신곡은 양의 방향, 구곡은 음의 방향으로 값이 나타났다. 각각의 그룹간의 상관관계 값은 0.9914로 높게 나타났고 신곡과 구곡 그룹의 평균 간의 통계적인 거리는 16.619로 나타나 두 그룹간의 통계적인 유의 차가 발생되어 신곡과 구곡 단일시료는 분류가 되는 것으로 나타났다. 개발된 신구곡 판별식에 사용된 시료의 정확한 보관 이력은 알 수 없으나 다양한 지역에서 재배된 품종과 다양한 조건에서 보관된 시료인 것은 분명하다. 그럼에도 불구하고 GOP 처리에 의한 쌀의 착색 정도를 전자눈 장비로 판별하여 쌀 신곡과 구곡이 각각의 그룹으로 나뉘어 지는 것을 확인할 수 있었다. GOP 시약 반응의 원리는 쌀에 포함된 과산화 효소의 활성도를 시약에 의해 착색된 정도로 감정하는 것으로 이 방법은 기존에 신곡과 구곡의 판별지표로 활용한 인지질 성분분석에 의한 다중판별 분석 결과보다는 판별되는 확률이 높은 결과를 보였다. 인지질 성분의 경우 쌀에 포함된 지방함량이 매우 적고 저장조건에 따라 판별 정확도가 떨어지는 문제점을 안고 있어서 판별 정확도를 높이기 위한 다양한 지표물질 발굴과 분석법 개발이 필요하다고 보고된 바 있다(11). 쌀에 포함되어 있는 과산화 효소의 경우 효소가 널리 균일하게 분포되어 있고 효소의 활성이 비교적 높은 편이며 다양한 환경적 변화에 좀더 대응이 가능한 지표인 것으로 추정되기 때문에 시간이 지남에 따라 효소 활성이 감소되는 점을 토대로 신곡과 구곡이 판별되는 것으로 판단된다.

쌀 신구곡 판별식 검증

전자눈 판별식의 실용적인 활용 가능성을 판단하기 위해서 생산연도를 정확하게 알고 있는 미지의 시료를 수집하여 판별 정확도를 분석하였다. 신곡 53점, 구곡 78점을 수집하여 GOP 시약 처리에 의한 과산화 효소의 활성도를 분석한 후 선별된 31개 칼라 코드로 주성분 분석 한 결과 판별 정확도는 신곡 100%, 구곡 100%로 나타났다(Fig. 3). 이는 전자눈의 31개 칼라코드가 신곡과 구곡의 차이를 판별할 수 있는 지표로 재현성이 있음을 시사한다. 검증 시료 중에 작성된 판별식의 판별 함수 값의 범위에 포함되지 않은 시료들도 있었지만, 통계 분석 결과 신곡과 구곡은 정확하게 맞추는 것으로 나타났다. 이것은 판별식 검증을 위해 수집한 미지 시료의 경우도 보관 상태 등이 매우 다양할 것으로 추정되나 미지 시료를 개발된 판별식에 대입하였을 때 판

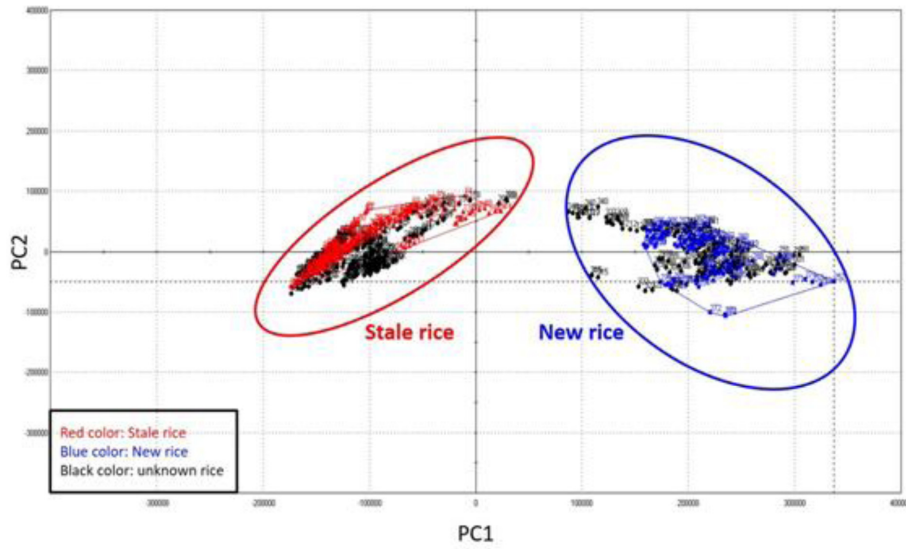


Fig. 3. Verification of discriminant data for new rice and stale rice by principal component analysis of electronic eye.

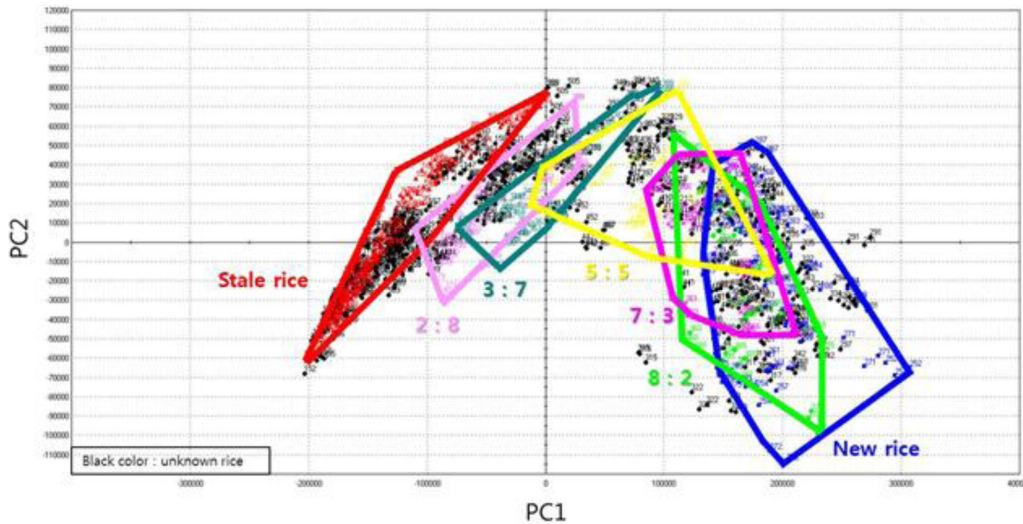


Fig. 4. Verification of mixed rice using discrimination data of electronic eye. The ratio represents new rice to stale rice.

별식 작성 시료의 범위와 유사한 판별함수 값을 나타낸 결과로 해석할 수 있다. 실제 수입산 쌀 중 저온보관 창고에서 관리된 구곡 시료에 대하여 본 연구에서 확립된 판별식을 이용하여 신곡과 구곡 판별을 수행한 결과 구곡으로 판별되어 향후 의심시료에 대한 객관적인 근거자료로서의 활용성이 있을 것으로 판단된다. 다만 본 연구 결과는 신곡을 수확 후 바로 수집하여 분석한 것이므로 시간이 지남에 따라 효소의 활성도는 떨어지기 때문에 연중으로 판별식을 이용하기 위해서는 일정 시기별로 신곡과 구곡 단일시료에 대한 효소 활성도 값을 보정해야 할 것으로 판단된다. 특히 Hachiya 등(6)은 쌀에서 구아니아콜 시약 반응은 여름과 같이 온도가 높을 때 낮아진다고 보고한 바 있다. 쌀에 포함된 효소 등이 고온상태를 거치면서 호흡작용이 활발해지므로 쌀에 포함된 효소 함량이 감소하는 것으로 추정되므로 이에 대비한 판별법 개발 등에 관한 연구도 지속적으로 추진되어야 할 것으로 판단된다.

쌀 혼합곡 판별식 검증

일정비율로 신곡과 구곡이 혼합된 경우에 전자는 판별식의 실용적인 활용 가능성을 알아보기 위해서 혼합곡에 대한 판별 정확도를 분석하였다. 신곡과 구곡을 8:2, 7:3, 5:5, 3:7, 2:8의 비율로 각 30점씩 조제하였고 GOP 시약 처리에 의한 과산화 효소 활성도를 분석한 후 선별된 31개 칼라 코드로 주성분 분석한 결과, 신곡과 구곡 그룹 사이에 혼합곡이 분포하는 것으로 나타났다. 신곡이 높은 비율로 포함된 혼합곡은 신곡 그룹에 가까이 분포하였고 구곡이 높은 비율로 포함된 혼합곡은 구곡 그룹에 가까이 분포하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 혼합곡인 경우 본 연구에서 확립된 판별식에 대입한 경우 구곡이 조금만 혼합되어도 구곡으로 판별되어야 하나 혼합 비율에 따라 구곡으로 판별되는 정확도는 다르게 나타났다. 혼합 비율별로 구곡으로 판별되는 정확도를 살펴보면 신곡과 구곡이 8:2의 비율로 혼합된 경우 16.7%, 신곡과 구곡이 7:3의 비율로 혼합된 경우 17.8%, 신곡과 구곡이

Table 2. Accuracy of discrimination for mixed rice derived from new rice to stale rice using electronic eye

Ratio of mixture (new rice : stale rice)	Number of samples	Accuracy of discrimination
8:2	30	16.7%
7:3	30	17.8%
5:5	30	43.3%
3:7	30	93.3%
2:8	30	95.6%
Total	150	Average 53.3%

5:5의 비율로 혼합된 경우 43.3%, 신곡과 구곡이 3:7의 비율로 혼합된 경우 93.3%, 신곡과 구곡이 2:8의 비율로 혼합된 경우 95.6%의 정확도를 나타내었다(Table 2). 구곡이 혼합된 비율이 높아질수록 구곡으로 판별되는 정확도가 높게 나타나서 통계적인 분포의 경향성을 찾을 수는 있었지만 단일곡과 혼합곡 각각의 구간에 중복되는 시료들이 발생되기 때문에 혼합곡의 전체 판별 정확도는 53.3%로 낮게 나타났다. 현재의 판별식을 이용할 경우 구곡이 80% 비율 이상으로 포함된 경우 Choi 등(12)이 밝힌 법적 인 효력을 갖기 위한 판별 확률인 95%이상의 정확도를 보여주는 것으로 나타났다. 하지만 구곡의 비율이 적게 혼합된 경우 이를 판별할 수 있는 정밀한 분석법 개발 등이 필요한 것으로 판단된다. 따라서 혼합곡에 대한 판별 정확도를 높이기 위해서는 다양한 환경변화에 대응이 가능한 새로운 지표 개발 등에 대한 연구가 더 이루어져야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 햅쌀과 묵은쌀 및 이의 혼합곡 판별을 위하여 전자눈 분석을 이용한 쌀 신곡과 구곡 판별법 개발 연구를 수행하였다. 국내에서 수집된 신곡을 대상으로 GOP 시약처리를 통해 효소 활성에 따른 정색 반응을 확인한 후 전자눈 장비를 이용하여 신곡과 구곡의 판별에 적합한 색깔 코드의 선별과 이를 이용한 쌀 신곡과 구곡의 판별법을 개발하였다. 미지시료를 이용하여 판별 정확도를 분석한 결과 신곡과 구곡인 단일곡은 100%의 정확도로 판별이 되었으나 혼합곡의 경우 혼합된 비율에 따라 판별 정확도가 달라졌다. 혼합곡은 신곡과 구곡의 혼합 비율에서 구곡이 비율이 높아질수록 판별 정확도가 높아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 전자눈 분석을 통하여 햅쌀과 묵은쌀을 판별할 수 있는 실용적인 판별 체계를 구축하였으므로 본 연구를 통해 개발된 판별식은 쌀 신곡 판별을 위한 과학적인 근

거자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립농산물품질관리원 시험연구사업 쌀 연산 판별법 개발 연구 과제로 수행되었으며 그 지원에 감사 드립니다.

References

- Aibara S, Ismail IA, Yamashita H, Ohta H, Sekiyama F, Morita Y. Changes in rice bran lipids and free amino acids during storage. *Agr. Biol. Chem. Tokyo* 50: 665-673 (1986)
- Kim JJ, Baek MK, Kim KS, Yoon MR, Kim GY, Lee JH. Changes of physicochemical properties and fatty acid compositions of rough rice stored at different storage temperatures and periods. *Korean J. Crop Sci.* 59: 413-426 (2014)
- Zhou Z, Robards K, Helliwell S, Blanchard C. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. *J. Cereal Sci.* 33: 1-15 (2001)
- Chen TF, Chen CL. Analysing the freshness of intact rice grains by colour determination of peroxidase activity. *J. Sci. Food Agric.* 83: 1214-1218 (2003)
- Chuang YK, Hu YP, Yang IC, Delwiche SR, Lo YM, Tsai CY, Chen S. Integration of independent component analysis with near infrared spectroscopy for evaluation of rice freshness. *J. Cereal Sci.* 60: 238-242 (2014)
- Hachiya M, Asanome N, Goto T, Noda T. Fluorescence imaging with UV-excitation for evaluating freshness of rice. *Jarq-Jpn. Agr. Res. Q.* 43: 193-198 (2009)
- Koyachi E, Kojima K, Satake T, Suzuki H. Rapid on-site measurement of the freshness of rice on a micro electrochemical device. pp. 1176-1179. In: The 16th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems. June 5-9, National Convention Center, Beijing, China (2011)
- Srikaeo K, Panya U. Efficiencies of chemical techniques for rice grain freshness analysis. *Rice Sci.* 20: 292-297 (2013)
- International Electrotechnical Commission. Key sRGB color space specifications. EC 61966-2-1. Available from: <https://webstore.iec.ch/publication/6168>. Accessed May. 1, 2017.
- Hong JH, Kwon YS, Choi KJ, Mishra RK, Kim DH. Identification of lettuce germplasm and commercial cultivars using SSR markers developed from EST. *Korean J. Hortic. Sci.* 31: 772-781 (2013)
- Hong JH, Ahn JS, Kim YK, Choi KH, Lee MH, Park YJ, Kim HT, Lee JH. Discrimination analysis of production year of rice and brown rice based on phospholipids. *Korean J. Crop Sci.* 62: 105-112 (2017)
- Choi JY, Bang KH, Han KY, Noh BS. Discrimination analysis of the geographical origin of foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 503-525 (2012)