

## 유색미 색소체 및 페놀성화합물 함량과 항산화 · 항변이원성 간의 상관관계

강미영 · 신수영 · 남석현<sup>1,\*</sup>  
 경북대학교 식품영양학과, <sup>1</sup>이주대학교 생명과학과

## Correlation of Antioxidant and Antimutagenic Activity with Content of Pigments and Phenolic Compounds of Colored Rice Seeds

Mi Young Kang, Soo Young Shin and Seok Hyun Nam<sup>1,\*</sup>  
 Department of Food Science and Nutrition, Kyungpook National University  
<sup>1</sup>Department of Biological Science, Ajou University

Twenty-three cultivars of colored rice were collected from inside and outside Korea to determine the contents of pigments and phenolic compounds, and also to compare their correlations with antioxidativity and antimutagenicity. The pigment content decreased in the order of LK 1-3-6-12-1-1 > LK 1D 2-7-12-1-1 > Elwee > Mutumanikam > IR 1544-38-2-2-1-2-2 > wx 124-163-45-7-1-1-1, LK 1A-2-12-1-1. Polyphenolic content was the greatest in IR 17491-5-4-3-3 with a ratio of 0.244 g per 100 g brown rice, followed by LK 1-3-6-12-1-1 > LK 1D2-12-1 > Elwee > Mutumanikam > IR 1544-38-2-2-1-2-2, LK 1A-2-12-1-1. The pigment contents for each colored rice cultivar showed a highly positive correlation with polyphenolics in colored rice seeds. For chromaticity, a positive correlation was exhibited between the lightness and hydroxyl radical scavenging activity. In contrast, a negative correlation was observed between the redness and the inhibitory effect of lipid peroxidation.

**Key words:** colored rice, organic solvent extraction fractions, pigment fraction, antioxidativity, antimutagenicity

### 서 론

식품의 고급화 다양화 추세가 증대되고, 천연물의 건강 기능성 식품소재로서의 이용 요구도가 높아짐에 따라 식품 및 의약품 첨가용 색소를 국제적으로 천연색소로 제한하고 있어, 농산물로부터 다양한 천연색소를 개발·이용하여야 할 필요성이 있다. 유색미의 경우 부산물인 쌀겨에 색소가 함유되어 있기 때문에 이를 효율적으로 활용하는 것은 쌀가공 식품의 고급화 및 다양화 면에서나 환경 보전적 차원에서 매우 중요한 일이다. 적갈에서 흑자색에 이르는 다양한 품종의 유색미 과피의 색은 몇 개의 원색소의 작용에 의한 것으로서, 착색분포 유전자나 활성증진 조효소 유전자의 상호작용 및 색, 농도에 관계되는 미동유전자의 작용으로 답황-황갈-적갈-암적-흑자색에 이르는 다양한 변이를 나타낸다<sup>(1,2)</sup>고 알려져 있다. 그리고 자색미계가 함유하고 있는 색소는 chrysanthem, keracyanin, uliginosin, cyanidin, peonidin의 배당체<sup>(2,3)</sup> 등이 보고되어 있으며, 이들 색소성분 중에서 주성분은 chrysanthem일 것<sup>(2,4)</sup>

이라고 생각되어지고 있다. 이러한 자색계 색소는 쌀겨층에 존재하는 경우 매우 안정된 상태로 있지만 추출시킨 색소체는 빛이나 산도(pH), 열에 의해서 변색 및 퇴색 등으로 안정성을 잃는다<sup>(4,8)</sup>. 이에 비해서 적색미계는 카테킨, 카테코올탄닌 및 푸로바헨 등이 함유되어 있으며, HPLC 크로마토그램 상에 다수의 peak가 보이는<sup>(4)</sup> 등으로 미루어 볼 때 색소 조성이 복잡 다양한 것으로 판단되고 있다. 이렇게 유색미에 함유되어 있는 천연색소들을 이용함으로써 쌀가공 식품의 다양화를 꾀할 수 있을 것이라는 기대감과 더불어 안토시아닌 배당체들의 생리활성 효과<sup>(8-10)</sup>에 기인하는 기능성 식품에의 적용 또한 기대되기 때문에, 이들 색소가 나타내는 생리활성 기능을 검증하는 일은 매우 의미있는 일이라고 생각한다. 이에 본 연구에서는 23품종 유색미의 항산화성 및 항변이원성 효과와 색소성분의 함량 및 색소성분을 포함하는 페놀성 화합물 함량 간의 상관성을 검토하고 색차계에 의한 색도의 품종간 비교를 실시함으로써 생리활성 효과를 강화시키기 위한 유색미 육종 연구 시, 색차에 의한 선별만으로도 일차적으로 간단하게 선별할 수 있는 기초자료를 마련하고자 한다.

\*Corresponding author : Seok Hyun Nam, Department of Biological Science, Ajou University, 5 Wonchon-dong, Paldal-ku, Suwon 442-749, Korea  
 Tel: 82-31-219-2619  
 Fax: 82-31-2191615  
 E-mail: shnam@ajou.ac.kr

### 재료 및 방법

#### 실험재료 및 시약

23종류의 유색미를 서울대학교 농학과로부터 제공받았으

며, 대조군으로서 일반미를 시중에서 구입하여 사용하였다. DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), ONPG(*o*-nitrophenyl  $\beta$ -D-galactosidase), PNPP(*p*-nitrophenyl phosphate), mitomycin C 등은 Sigma사(St. Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였고, ampicilline은 영진약품의 주사용 펜브라스를 멸균수로 희석하여 사용하였으며, bactotrypton, yeast extract 등과 같은 세균 배양을 위한 배지용 시약은 Difco-BRL사(Bethesda, MD, USA)의 제품을 사용하였다. SOS chromotest의 지시균주인 *Escherichia coli* PQ 37(plasmid pKM 101, *sfI::Mud*(AP lac) CTS, *lac* $\Delta$ U169, *mat*<sup>t</sup>, *urvA*, *galE*, *galY*, *Pho*<sup>c</sup>, *rfa*/F<sup>-</sup>, *thr*, *leu*, *his*, *pyrD*, *thi*, *trp::Muc*<sup>+</sup>, sr1300::Tn10)은 서울대학교 천연물화학 연구소에서 분양받았고 ampicilline이 포함된 LB broth(1% bactotryptone, 0.5% yeast extract, 1% NaCl)를 사용하여 배양하였다.

**유색미 색도 측정**

품종별 유색미 과피의 색소는 색차계(Model Whiteness Checker RF-1, Nippon Denshoku Kogyo Co., Japan)를 사용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness)를 각각 측정하였으며, L: 90.5, a: 0.7, b: 3.0의 표준색판을 백색판으로 사용하였다.

**색소함량 측정**

품종별 유색미 100 g을 도정기(Grain testing mill type PM 50, Satake, Japan)를 사용하여 3분간 도정한 다음, 미강층에

5배 부피의 methylene chloride로 실온에서 3시간 처리하여 지용성 분획을 제거하였다. 이 과정을 두 번 더 반복한 후, 3% TEA(Trifluoroacetic acid)-70% 메탄올 처리에 위해서 얻은 색소분획을 다시 ethylacetate 처리에 의해서 여분의 지용성 분획을 제거하였다. 이렇게 하여 얻어진 수용성 분획을 MCI gel(Mitsubishi chemical Co., Japan)을 충전시킨 column chromatography에 의해서 색소분획을 회수하고, 동결건조기를 사용하여 감압·건조시킨 후, 함량을 측정하였다.

**폴리페놀 화합물 함량 측정**

총 폴리페놀 화합물의 함량은 Hillis의 방법<sup>(11)</sup>에 따라 다음과 같이 측정하였다. 위에서 제조한 색소분획 시료용액(1 mg/mL) 0.5 mL를 6.5 mL 증류수에 희석하고, Folin-ciocalteu's phenol reagent(Sigma Co., St. Louis, MO, USA)를 0.5 mL 첨가하여, 3분간 방치 후, sodium carbonate 포화용액 1 mL를 첨가하고 전체를 10 mL로 정용하여 실온에서 1시간 방치시킨 후, 725 nm에서의 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 gallic acid를 표준물질로 작성하였다.

**항산화성 비교**

품종별 유색미의 70% 에탄올 추출물(80°C 3시간 reflux)을 시료로 하여 DPPH radical에 대한 전자공여능, Fenton 반응에 의해서 유도되는  $\cdot$ OH radical의 소거능 및 linoleic acid의 자동산화에 대한 억제효과 등<sup>(12)</sup>을 측정함으로써 항산화 활성을 각각 비교하였다.

**Table 1. Color values of 23 cultivars of colored rice seeds**

Cultivars	Color values <sup>1)</sup>		
	Lightness	Redness	Yellowness
Chuchung	56.0 $\pm$ 1.96	5.33 $\pm$ 0.40	15.7 $\pm$ 0.36
DK-1	30.7 $\pm$ 0.49	15.4 $\pm$ 0.67	10.5 $\pm$ 0.74
SC-45	36.1 $\pm$ 0.84	12.2 $\pm$ 0.75	11.7 $\pm$ 0.17
SC-5	42.2 $\pm$ 1.22	10.4 $\pm$ 1.08	14.9 $\pm$ 0.23
B-89-11-2	33.2 $\pm$ 0.61	14.2 $\pm$ 1.10	11.3 $\pm$ 0.10
Muthumanikam	32.3 $\pm$ 0.35	18.1 $\pm$ 0.65	12.0 $\pm$ 0.06
IR 1544-38-2-2-1-2-2	50.9 $\pm$ 1.53	6.67 $\pm$ 0.50	15.2 $\pm$ 0.86
Jumlocal-1	35.1 $\pm$ 0.85	13.6 $\pm$ 2.38	12.5 $\pm$ 0.10
Parnkhari 203	38.4 $\pm$ 0.26	16.7 $\pm$ 0.45	13.4 $\pm$ 0.20
DV 85	35.4 $\pm$ 0.79	15.4 $\pm$ 0.59	12.7 $\pm$ 0.70
DZ 78	35.7 $\pm$ 1.24	15.0 $\pm$ 1.32	11.9 $\pm$ 0.25
Elwee	31.8 $\pm$ 0.68	15.9 $\pm$ 0.29	10.6 $\pm$ 0.44
IR 17491-5-4-3-3	30.2 $\pm$ 0.76	16.5 $\pm$ 0.50	9.33 $\pm$ 0.35
Kele	36.7 $\pm$ 0.82	14.7 $\pm$ 1.06	11.4 $\pm$ 0.26
HP 833-1-3-1-1-1	33.4 $\pm$ 0.80	9.20 $\pm$ 0.20	10.5 $\pm$ 0.57
HP 883-1-1-1-B-1-1-1	26.0 $\pm$ 1.62	10.8 $\pm$ 0.92	6.37 $\pm$ 0.55
wx 124-163-45-7-1-1-1	37.3 $\pm$ 1.30	20.9 $\pm$ 0.90	15.2 $\pm$ 0.38
LK 1A-2-12-1-1	22.4 $\pm$ 0.64	9.90 $\pm$ 0.78	3.27 $\pm$ 0.55
LK 1-3-6-12-1-1	23.2 $\pm$ 0.53	12.9 $\pm$ 0.47	4.93 $\pm$ 0.38
LK 1D-2-12-1	25.5 $\pm$ 0.61	10.0 $\pm$ 0.29	6.47 $\pm$ 0.55
LK 2-7-12-1-1	35.7 $\pm$ 0.15	10.5 $\pm$ 0.58	12.7 $\pm$ 0.35
LK 1B-4-12-1-1	35.7 $\pm$ 0.76	9.30 $\pm$ 0.26	12.7 $\pm$ 0.17
LK 1B-2-1-1	24.3 $\pm$ 0.38	9.37 $\pm$ 0.35	5.57 $\pm$ 0.55
RGS No.336	33.0 $\pm$ 0.72	10.5 $\pm$ 0.45	11.8 $\pm$ 0.10

<sup>1)</sup>Each value is reported as mean $\pm$ SD (n=3).

**Table 2. The contents of pigments and polyphenolic compounds in 23 cultivars of colored rice seeds (per 100 g seed)**

Cultivars	Contents of pigments [A] (mg)	[B]/[A] (%)	Phenolic compounds		
			OD at 517 nm <sup>1)</sup>	( $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ )	Contents[B] (mg)
DK 1	80.0	73.1	0.392 ± 0.014	73.08	58.46
SC-45	116	91.6	0.492 ± 0.002	91.67	106.3
SC-5	53.0	46.5	0.248 ± 0.014	46.54	24.67
B-89-11-2	112	83.6	0.449 ± 0.023	83.61	93.64
Muthumanikam	147	90.4	0.485 ± 0.020	90.38	132.9
IR 1544-38-2-2-1-2-2	137	84.8	0.456 ± 0.026	84.80	116.2
Jumlocal-1	102	78.0	0.418 ± 0.005	78.01	79.57
Parnkhari 203	67.0	99.4	0.534 ± 0.027	99.37	66.58
DV 85	104	73.6	0.394 ± 0.007	73.56	76.50
DZ 78	89.0	92.0	0.494 ± 0.003	92.01	81.89
Elwee	151	95.4	0.513 ± 0.067	95.47	144.1
IR 17491-5-4-3-3	269	90.6	0.487 ± 0.009	90.62	243.8
Kele	74.0	93.0	0.500 ± 0.061	93.04	68.85
HP 833-1-3-1-1-1	101	43.7	0.233 ± 0.026	43.69	44.12
HP 883-1-1-1-B-1-1-1	136	48.7	0.259 ± 0.032	48.66	66.18
wx 124-163-45-7-1-1-1	100	72.5	0.389 ± 0.011	72.50	72.50
LK 1A-2-12-1-1	131	88.0	0.473 ± 0.042	88.03	115.3
LK 1-3-6-12-1-1	173	96.8	0.520 ± 0.092	96.76	167.4
LK 1D-2-12-1-1	158	94.1	0.506 ± 0.006	94.06	148.6
LK 2-7-12-1-1	110	65.0	0.348 ± 0.007	65.03	71.53
LK 1B-4-12-1-1	119	78.5	0.421 ± 0.048	78.48	93.39
LK 1B-2-1-1	126	77.7	0.417 ± 0.027	77.74	97.95
RGS No.336	151	64.3	0.344 ± 0.006	64.28	97.06

<sup>1)</sup>Each value is reported as mean±SD (n=3).

### 함면이원성 비교

품종별 유색미의 70% 에탄올 추출물 (80°C 3시간 reflux) 을 시료로 하여 *E. coli* PQ 37을 지시균주로 사용하는 SOS chromotest 기법을 이용<sup>(12)</sup>하여 측정·비교하였다. 각 효소활성 unit는  $[1,000 \times A_{420}/t, t: \text{반응시간(분)}]$ 으로 정의하였고 alkaline phosphatase 활성에 대한  $\beta$ -galactosidase 활성의 비율로 R값을 계산하였다.

### 통계처리

3회 반복실험 평균치의 유의성은 SPSS software package를 이용하여 Duncan's multiple range test에 의해서 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 유색미 색도

유색미 품종별 과피의 색을 색차계로 측정한 결과를 Table 1에 나타내었다. 색의 밝은 정도를 나타내는 brightness는 일반미 품종인 추천이 가장 높은 수치를 나타내고 있었으며, 유색미 품종 중에서 IR 1544-38-2-2-1-2-2는 추천과 같은 정도의 수치를 나타내고 있었다. 육안으로 보았을 때의 색 또한 IR 1544-38-2-2-1-2-2는 유색미 품종임에도 불구하고 담황색을 띠고 있어 일반미 품종과 거의 유사하였다. Brightness가 낮고 육안으로도 진한 색을 띠는 품종은 LK 1A-2-12-1-1, LK 1-3-6-12-1-1, LK 1B-2-1-1 등의 품종이었다. 붉은 정도를 나타내는 redness는 일반미 품종인 추천이 가장 낮은

수치인 5.33인데 비해서 유색미 품종들은 대부분 10이상의 수치를 나타내고 있었으며, 유색미 품종 중에서는 wx 124-163-45-7-1-1-1 이 가장 높은 수치인 20.9이었다. 그리고 황색도는 일반미 품종인 추천과 유색미 품종 중에서는 IR 1544-38-2-2-1-2-2, wx 124-163-45-7-1-1-1 등이 높은 수치를 나타내고 있었으며, LK 1A-2-12-1-1, LK 1-3-6-12-1-1, LK 1D-2-12-1 등이 낮은 수치를 나타내고 있었다. 이렇게 색차계에 의한 유색미의 색도를 비교한 이유는 육종에 따른 품종 선별시, 쌀 곡립의 상태에서 손쉽게 적용할 수 있으리라는 의미에서 실시한 것이다. 본 연구의 주된 목적인 유색미의 색상과 생리활성 효과 간의 상관성을 검토하기에는 매우 고무적인 연구 결과로써 Table 4에 제시한 것과 같이, 색도상의 brightness는 Fenton 반응에 의해서 생성되는 hydroxy radical 소거활성과 정의 상관성이 있었으며, redness는 linoleic acid의 자동산화 억제하는 효과와 부의 상관성이 있었다. 그리고 황색도는 색소체 함량과 부의 상관성이 있었다. 이러한 연구 결과는 실제로 육종연구 시 유색미 품종 중 항산화 효과가 큰 품종을 선별하고자 할 때, 유색미 종자의 색차를 측정함으로써 1차적으로 간단하게 선별할 수는 유용한 결과라고 생각한다.

### 유색미의 색소 및 페놀성 화합물 함량

유색미 과피부분으로부터 염화메틸렌과 에틸아세테이트에 의해서 순차적으로 지용성성분을 제거한 수용성의 성분만의 MCI gel column chromatography에 의해서 회수한, 유색미의

**Table 3. Antioxidant activities of 70% ethanolic extracts from 23 cultivars of colored rice seeds**

Cultivars	DPPH radical scavenging activity		·OH radical scavenging activity		Lipid peroxidation	
	Optical density <sup>1)</sup> at 517 nm	Inhibition (%)	Optical density <sup>1)</sup> at 517 nm	Inhibition (%)	Optical density <sup>1)</sup> at 517 nm	Inhibition (%)
Control	1.059 ± 0.054	0	0.210 ± 0.009	0	0.235 ± 0.058	0
Ascorbic acid	0.079 ± 0.005	92.5	0.132 ± 0.137	49.4	-	-
α-Tocopherol	0.115 ± 0.003	89.2	0.129 ± 0.031	51.7	-	-
BHT	0.097 ± 0.003	90.8	0.090 ± 0.053	76.3	0.115 ± 0.065	51.0
DK 1	0.130 ± 0.020	87.7	0.013 ± 0.016	125	0.238 ± 0.021	-1.47
SC-45	0.109 ± 0.025	89.7	0.067 ± 0.054	91.0	0.294 ± 0.055	-25.3
SC-5	0.153 ± 0.011	85.5	0.024 ± 0.005	118	0.201 ± 0.014	14.2
B-89-11-2	0.138 ± 0.029	87.0	0.098 ± 0.041	71.5	0.261 ± 0.052	-11.1
Muthumanikam	0.138 ± 0.026	87.0	0.097 ± 0.035	72.0	0.286 ± 0.053	-22.0
IR 1544-38-2-2-1-2-2	0.130 ± 0.008	87.7	0.020 ± 0.017	120	0.209 ± 0.017	10.8
Jumlalocal-1	0.145 ± 0.024	86.3	0.113 ± 0.03	61.3	0.316 ± 0.082	-34.7
Parnkhari 203	0.114 ± 0.019	89.2	0.098 ± 0.054	70.7	0.228 ± 0.051	-22.7
DV 85	0.119 ± 0.018	88.7	0.205 ± 0.070	2.79	0.282 ± 0.042	-20.3
DZ 78	0.107 ± 0.020	89.9	0.199 ± 0.073	6.67	0.263 ± 0.002	-11.9
Elwee	0.110 ± 0.014	89.6	0.094 ± 0.036	70.3	0.351 ± 0.104	-49.7
IR 17491-5-4-3-3	0.129 ± 0.004	87.8	0.121 ± 0.045	56.3	0.263 ± 0.016	-12.1
Kele	0.135 ± 0.019	87.3	0.156 ± 0.030	34.1	0.237 ± 0.019	-0.974
HP 833-1-3-1-1-1	0.056 ± 0.003	94.8	0.106 ± 0.043	66.2	0.198 ± 0.043	15.6
HP 883-1-1-1-B-1-1-1	-0.162 ± 0.029	115.3	0.150 ± 0.026	38.2	0.194 ± 0.042	17.3
wx 124-163-45-7-1-1-1	0.159 ± 0.009	85.0	0.084 ± 0.028	80.2	0.233 ± 0.040	0.787
LK 1A-2-12-1-1	0.117 ± 0.018	88.9	0.152 ± 0.027	36.9	0.121 ± 0.032	48.4
LK 1-3-6-12-1-1	0.117 ± 0.027	88.9	0.176 ± 0.058	21.4	0.220 ± 0.054	6.14
LK 1D-2-12-1	0.145 ± 0.019	86.3	0.177 ± 0.016	20.7	0.204 ± 0.008	12.9
LK 2-7-12-1-1	0.091 ± 0.015	91.4	0.221 ± 0.011	-7.16	0.134 ± 0.034	42.9
LK 1B-4-12-1-1	0.207 ± 0.107	80.4	0.165 ± 0.023	28.7	0.108 ± 0.030	54.0
LK 1B-2-1-1	0.123 ± 0.014	88.4	0.162 ± 0.014	30.1	0.106 ± 0.027	54.9
RGS No.336	0.131 ± 0.015	87.7	0.123 ± 0.056	54.8	0.101 ± 0.028	57.1

<sup>1)</sup>Each value is reported as mean±SD (n=3).

품종별 색소 함량을 Table 2에 나타내었다. IR 17491-5-4-3-3이 현미 100 g당 0.269 g으로서 0.27%의 색소함량을 나타내고 있어, 본 실험에 사용한 유색미 품종 중에서 가장 높은 함량을 나타내고 있었다. 그리고 23개 유색미 중 색소함량이 많은 품종에서는 LK 1-3-6-12-1-1 > LK 1D 2-12-1 > Elwee > Mutumanikam > IR 1544-38-2-2-1-2-2 > wx 124-163-45-7-1-1-1, LK 1A-2-12-1-1 순으로 색소함량이 낮게 나타났으며, 색소함량이 낮은 품종 중에서는 SC-5 < Parnkhari 203 < Kele 순으로 색소함량이 많아졌다. 그리고 유색미에 함유되어 있는 폴리페놀화합물의 양은 IR 17491-5-4-3-3 품종이 현미 100 g당 0.244 g으로서 가장 높은 함량을 나타내고 있었으며, 그 다음으로는 LK 1-3-6-12-1-1 > LK 1D2-12-1 > Elwee > Mutumanikam > IR 1544-38-2-2-1-2-2, LK 1A-2-12-1-1 등의 순이었다. 그리고 SC-5 < HP 833-1-3-1-1-1 < HP 883-1-1-1-B-1-1-1, Parnkhari 203, Kele 등의 순으로 폴리페놀 화합물의 함량이 낮게 나타났다. 이렇게 유색미 품종별 색소의 함량은, 유색미 함유 생리활성 성분 중 총 폴리페놀 화합물의 함량과 매우 높은 정의 상관성(r=0.926, p<0.01)이 있었다 (Table 5). 그러나 색소 성분 중의 폴리페놀화합물의 비율

(Table 2의 lane 2, [B]/[A])은 HP 883-1-1-1-B-1-1-1의 경우 43.7에서부터 LK 1-3-6-12-1-1의 96.8까지 품종에 따른 편차가 상당히 크다는 사실을 알 수 있었다. 유색미에 함유되어 있는 색소 및 폴리페놀화합물의 양들은 본 논문에서 검토하고자 했던 유색미의 항산화성 및 항변이원성과는 유의한 상관성이 없다는 결과를 얻었다(Table 5). 이러한 결과는 대체로 일반품종의 쌀에 비해서 유색미의 항산화 효과 등 생리활성 효과가 높은 이유가 주로 색소성분에 기인한다는 여타의 연구들<sup>(13-16)</sup>과는 약간 다른 해석이 요구되는 결과였으며, 장차 색소성분 및 색소성분과 여타성분과의 복합체에 대한 심도 깊은 연구가 필요하다는 것을 시사하는 결과라고 생각한다.

**유색미의 항산화성**

품종별 유색미 에탄올 추출물 2 mg이 나타내는 전자공여능, hydroxyl radical 소거활성, 지질과산화 억제활성 등의 항산화 활성을 ascorbic acid(0.1 mg), α-tocopherol(0.1 mg), BHT(0.1 mg) 등의 항산화제와 비교하여 Table 3에 나타내었다. DPPH radical에 대한 전자공여능은 모든 유색미 품종들이 80% 이상의 높은 활성을 가지고 있었으며, 특히 HP 883-1-1-1-B-

**Table 4. Antimutagenicities of 70% ethanolic extracts from 23 cultivars of colored rice seeds**

Cultivars	$\beta$ -Galactosidase <sup>1)</sup> (units)	Alkaline phosphatase <sup>1)</sup> (units)	R-factor	Antimutagenicity (%)
Negative control	6.91 ± 0.50	51.2 ± 5.79	0.14	100
Positive control	19.7 ± 2.62	14.7 ± 1.83	1.36	0
DK 1	17.7 ± 1.14	12.5 ± 1.02	1.43	-5.74
SC-45	12.2 ± 1.25	9.92 ± 1.01	1.23	10.7
SC-5	17.8 ± 1.88	13.0 ± 1.42	1.37	-0.81
B-89-11-2	14.8 ± 1.86	11.4 ± 1.42	1.30	4.92
Muthumanikam	11.5 ± 1.58	9.45 ± 1.08	1.21	12.3
IR 1544-38-2-2-1-2-2	17.2 ± 0.11	12.8 ± 0.17	1.34	1.64
Jumlocal-1	13.2 ± 1.84	10.5 ± 1.45	1.25	9.02
Parnkhari 203	9.32 ± 1.49	8.95 ± 1.27	1.04	26.2
DV 85	12.4 ± 2.43	10.1 ± 1.84	1.22	11.5
DZ 78	13.3 ± 3.05	11.6 ± 1.42	1.14	18.0
Elwee	14.6 ± 2.00	11.4 ± 1.01	1.28	6.56
IR 17491-5-4-3-3	14.6 ± 0.25	9.68 ± 0.21	1.51	-12.3
Kele	17.0 ± 1.87	12.7 ± 1.21	1.33	2.46
HP 833-1-3-1-1-1	15.2 ± 1.73	11.9 ± 1.04	1.28	6.56
HP 883-1-1-1-B-1-1-1	15.7 ± 2.05	12.9 ± 1.47	1.22	11.5
wx 124-163-45-7-1-1-1	16.8 ± 2.37	12.1 ± 0.84	1.38	-1.64
LK 1A-2-12-1-1	19.9 ± 1.98	15.4 ± 1.63	1.29	5.74
LK 1-3-6-12-1-1	7.93 ± 1.07	8.80 ± 0.78	0.90	37.7
LK 1D-2-12-1	18.2 ± 1.24	13.2 ± 1.05	1.38	-1.64
LK 2-7-12-1-1	17.8 ± 1.80	13.1 ± 0.86	1.36	0
LK 1B-4-12-1-1	20.9 ± 2.97	13.8 ± 1.09	1.51	-12.3
LK 1B-2-1-1	16.7 ± 1.67	13.2 ± 1.08	1.26	8.20
RGS No.336	19.2 ± 2.09	15.0 ± 1.14	1.27	7.38

<sup>1)</sup>Each value is reported as mean SD (n=3).

**Table 5. Correlation coefficients among antioxidativity, amount of pigments, colored values and polyphenolic compounds**

Relevant characteristics	Correlation coefficient
Amounts of pigments	- Amounts of phenolic compounds 0.926**
	- Yellowness - 0.428*
Lightness	- Yellowness 0.912**
	- ·OH scavenging activity 0.463*
Redness	- Inhibition of lipid peroxidation - 0.651*

1-1-1 품종은 100% 이상으로 가장 높은 활성을 나타내고 있었다. 이에 비해서 hydroxyl radical 소거활성은 DK-1, IR 1544-38-2-2-1-2-2, SC-45 등의 품종이 높은 활성을 나타내고 있었으며, DV 85, DZ 78 등의 활성은 상당히 낮게 나타났는데, 특히 LK 2-7-12-1-1에서는 오히려 산화제로서의 역할이 보인다는 결과를 얻었다. 또한 linoleic acid의 자동산화에 대한 억제효과는 RGS No.336 > LK 1B-2-1-1, LK 1B-4-12-1-1 > LK 1A-2-12-1-1, LK 2-7-12-1 등의 순이었으며, wx 124-163-45-7-1-1-1 품종은 거의 억제효과가 없었으며, Elwee > Jumlocal-1 > SC-45 > Muthumanikam, Parnkhari 203, DV-85 등의 순서로 오히려 강한 산화제로서 작용하고 있는 결과를 얻었다. 이러한 항산화활성 가운데 hydroxyl radical 소거활성은 유색미 곡립의 색차계 분석 중, lightness와 정의 상관성 (r=0.463, p<0.05)이 있었으며, 지질과산화 억제효과는 redness와 부의 상관성 (r=-0.651, p<0.01)이 관찰되었다(Table 5). 이

결과는 곡립의 색차계 분석에 의해서 종자의 항산화성을 평가할 수 있다는 가능성을 제시한 것으로서, 향후 보다 건강기능성이 높은 유색미의 육성에 활용될 수 있을 것으로 본다.

**유색미의 항변이원성**

품종별 유색미 에탄올 추출물 2mg이 나타내는 직접 변이원 mitomycin C에 대한 항변이원성을 측정하여 Table 4에 나타내었다. 본 연구의 지시세포인 E. coli PQ 37에 화학적 직접변이원인 mitomycin C를 처리하면 균주의 성장을 나타내는 지표인 alkaline phosphatase의 활성은 51에서 15 units로 저하되고 있으나, 품종에 따라 차이는 있지만 유색미 추출물이 첨가되면 거의 대부분의 시료에서 양성대조군보다 오히려 낮은 활성을 나타내고 있어, 변이원으로 mitomycin C가 작용한 경우에는 mitomycin C의 독성에 대해서 유색미 추출물들이 긍정적인 생리활성 효과를 나타내기보다는 오히려 부

정적인 방향으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 그리고 R-factor의 수치로 나타내는 항변이원성도 DK-1, SC-5, IR 17491-5-4-3-3, wx 124-163-45-7-1-1-1, LK 1D-2-12-1 등의 품종은 양성대조군보다 높은 수치를 나타내고 있어 오히려 변이원성을 촉진하는 품종임을 알 수 있다. 그러나 이들 5품종을 제외한 대부분의 품종들은 미미하지만 항변이원성을 나타내고 있었으며, 특히 LK 1-3-6-12-1-1은 38% 정도의 가장 높은 억제효과를 나타내었다. 한편 이들 항변이원성과 유색미 색소성분 및 페놀성화합물 함량들 간에는 아무런 상관성이 없는 것으로 볼 때, 유색미가 나타내는 항변이원성은 적어도 유색미 특유의 색소성분 및 페놀성 화합물에 의한 영향만은 아니며, 다양한 성분들에 의한 복합적인 기작에 의한 것임을 알 수 있었다. 이 사실은 유색미의 색소성분은 라디칼 소거활성이나 항산화활성의 발현에 중요한 역할을 담당하고 있지만, 항변이원성의 발현과는 뚜렷한 연관성을 찾아볼 수 없었다는 본 연구자들의 선행연구에서도 나타난다<sup>(17,18)</sup>. 23품종의 유색미를 대상으로 겨주의 항산화활성, 항돌연변이활성을 유기용매 추출분획별로 조사한 결과에서도 항돌연변이활성은 색소분획이 아니라 주로 CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>에서 측정되는 것을 볼 수 있었고, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>로 추출된 지용성 분획의 화합물 조성에서 일반미인 추출과 유색미간에는 뚜렷한 차이를 보인다는 점(미발표결과)은 이미 언급한 바와 같이 유색미의 항돌연변이 활성이 구성성분간의 총체적인 기능발현의 결과라는 가능성을 시사한다. 페놀화합물의 일종인 resveratrol이나 caffeic acid류의 항종양 활성은 분자가 가지는 라디칼 소거활성뿐 아니라 뚜렷한 세포 내 목표물에 대한 저해활성에 기인하는 것으로 보여진다<sup>(19,21)</sup>. 반면에 일반적인 항산화 활성물질에 의한 세포 내 산화포텐셜의 저하가 항돌연변이 또는 항종양활성과 직접적으로 연결되지 못하는 것이 본 연구에서도 나타난 것처럼 시료의 항산화 활성과 항돌연변이 활성 간에 유의적 상관관계를 찾기 어려운 이유로 생각된다. 따라서 유색미의 생리활성의 원인물질의 화학적 분리 및 확인과 더불어 종합적인 활성측정 시스템의 확립이 향후 천연물의 생리활성 구명에 있어서 더욱 중요한 의미를 갖게 될 것으로 보인다.

## 요 약

국내·외에서 수집 재배한 23품종 유색미의 색소 및 페놀성 화합물의 양을 측정하고 항산화성 및 항변이원성과의 상관성을 각각 비교하였다. 색소의 함량은 LK 1-3-6-12-1-1 > LK 1D 2-7-12-1-1 > Elwee > Mutumanikam > IR 1544-38-2-2-1-2-2 > wx 124-163-45-7-1-1-1, LK 1A-2-12-1-1 등의 순서로 나타났다. 폴리페놀화합물의 양은 IR 17491-5-4-3-3 품종이 현미 100g 당 0.244g으로서 가장 높은 함량을 보였으며, 그 다음은 LK 1-3-6-12-1-1 > LK 1D2-12-1 > Elwee > Mutumanikam > IR 1544-38-2-2-1-2-2, LK 1A-2-12-1-1 등의 순이었다. 유색미 품종별 색소의 함량은, 유색미 함유 생리활성 성분 중 총 폴리페놀 화합물의 함량과 높은 정의 상관성이 있었으며, 색도상의 lightness는 hydroxyl radical 소거활성과 정의 상관성이 있었으나, redness는 지질과산화 억제활성과 부의 상관성을 보였다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년~2002년도 과학재단 특정기초 연구비 지원(과제번호: R01-1999-00165)에 의해서 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

## 문 헌

1. Kinoshita, T. Recent progress in crop breeding, 17: 19-32 (1989)
2. Nagai, I. Anthoxanthins and anthocyanins in the Oryzaceae I. Japanese J. Breed. 10: 247-260 (1960)
3. Takahashi, K. Isolation and fixation of the secondary pigments in red rice, p. 664. In: Abstracts in Annual Meeting of Nippon Nogeigagakkai. Takahashi, K. (ed.). Nippon Nogeigagakkai, Tokyo, Japan (1988)
4. Akiwa, Y. and Ohtani, T. Pigment properties of pigmented rices. Shokuhingogyo 34: 28-33 (1991)
5. Ohta, H. Studies on quality of grapefruit juice (I); Changes in colors and anthocyanin of concentrated grapefruit juice in the process of storage. Nippon Shokugogyoshi 23: 345-350 (1976)
6. Ohta, H. On the stability of anthocyan and related compounds in acidic solution. Nippon Shokugogyoshi 27: 81-85 (1980)
7. Ohta, H. Studies on quality control and manufacturing of grapefruit juice; stability of pigment component, improvement of quality control and manufacturing techniques. Nippon Shokugogyoshi 36: 721-77 (1989)
8. Nakayama, K and Kusano, H. Biofunctional glycosides of wild blueberry (I). Shokuhingogyo 33: 45-54 (1990)
9. Nakayama, K and Kusano, H. Biofunctional glycosides of wild blueberry (II). Shokuhingogyo 33: 55-59 (1990)
10. Mazza, G. Anthocyanins and other phenolic compounds of saskatoon berries. J. Food Sci. 51: 1260-1264 (1986)
11. Swine, T. and Hillis, W.E. The phenolic constituents of Prunus Domestica I; The quantitative analysis of phenolic constituents. J. Sci. Food Agric. 10: 63-68 (1959)
12. Chang, S.M., Nam, S.H. and Kang, M.Y. Screening of the antioxidative activity, anti-mutagenicity and mutagenicity of the ethanolic extracts from legumes. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 1115-1122 (2002)
13. Choi, S.W., Kang, W.W. and Osawa, T. Isolation and identification of anthocyanin pigments in black rice. Foods Biotechnol. 3: 131-135 (1994)
14. Tsuda, T., Watanabe, M. Ohshima, K. Norinobu, S., Kawakishi, S., Choi, S.W. and Osawa, T. Antioxidative activity of the anthocyanin pigments cyanidin 3-O-β-D-glucoside and cyanidin. J. Agric. Food Chem. 42: 2407-2411 (1994)
15. Rhamarathnam, N., Osawa, T., Namiki, M. and Kawakishi, S. Chemical studies on novel antioxidants I. Isolation, fractionation and partial characterization. J. Agric. Food Chem. 36: 727-732 (1988)
16. Rhamarathnam, N., Osawa, T., Namiki, M. and Kawakishi, S. Chemical studies on novel antioxidants II. Identification of isiviteixin C-glycosyl flavonoid. J. Agric. Food Chem. 37: 316-319 (1989)
17. Choi, S.W., Nam, S.H. and Choi, H.C. Antioxidative activity of ethanolic extracts of rice brans. Foods Biotechnol. 5: 305-309 (1996)
18. Nam, S.H. and Kang, M.Y. Comparison of inhibitory effect of rice bran-extracts of the colored rice cultivars on carcinogenesis. Agric. Chem. Biotechnol. 41: 78-83 (1998)
19. Gehm, B.D., McAndrews, J., Chien, P.-Y. and Jameson, J.L. Resveratrol, a polyphenolic compound found in grapes and wine, is an agonist for the estrgen receptor. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 94: 14138-14143 (1997)
20. Fontecave, M., Lepoivre, M., Elleingand, E., Gerez, C. and

- Guitte, O. Resveratrol, a remarkable inhibitor of ribonucleotide reductase. *FEBS Letters* 421: 277-279 (1998)
21. Jaiswal, A.K., Venugopal, R., Mucha, J., Carothers, A.M. and Grunberger, D. Caffeic acid phenethyl ester stimulates human antioxidant response element-mediated expression of the

NAD(P)H:quinic oxidoreductase (NQO1) gene. *Cancer Res.* 57: 440-446 (1997)

---

(2003년 4월 24일 접수; 2003년 8월 10일 채택)