

특수미 품종의 지방산과 아미노산 조성 및 열적 특성

- 연구노트 -

최 인 덕

국립식량과학원 벼맥류부

Fatty Acids, Amino Acids and Thermal Properties of Specialty Rice Cultivars

Induck Choi

Dept. of Rice and Winter Cereal Crop, NICS, Jeonbuk 570-080, Korea

Abstract

The compositions of fatty acid and amino acid of specialty rice which includes colored rice (Heugjinju, Jeuginju, Josangheugchalbyeo), flavored rice (Heughyangmi, Hyangmi1), and giant embryo rice (Keunnun) were determined and compared to those of regular rice (Ipumbyeo, Whaseonchalbyeo). Major fatty acids were linoleic acid (C18:2) and oleic acid (C18:1), which were composed of 75~80% of total fatty acids. Major amino acids were glutamic acid and aspartic acid in most cultivars but Jeuginju in which cysteine (169.61 nmol) and GABA (129.32 nmol) were the most abundant amino acids. Thermal properties measured by differential scanning calorimeter (DSC) revealed that the enthalpy (ΔH) for starch gelatinization was the highest in Josangheugchalbyeo and Whaseonchalbyeo. It suggests that the starch structure of waxy rice could be more crystallized compared to non-waxy rice, and also that amylopectin could have more impact on starch gelatinization than amylose. The on-set and complete temperature for starch gelatinization were higher in colored rice of Heugjinju and Jeuginju, and regular rice of Whateonchalbyeo.

Key words: specialty rice, fatty acids, amino acids, gelatinization, DSC

서 론

식품의 고급화, 다양화 추세가 증대되고, 기능성식품에 대한 소비자의 관심이 높아짐에 따라 쌀에 있어서도 색깔, 향, 생리활성물질 등 기능성 쌀 소비가 크게 급증하고 있다. 쌀에 대한 소비자들의 소비성향도 변하여 점차 식량으로서의 기본 기능 이외에 건강 증진과 밥맛 좋은 쌀을 선호하면서 특수미에 대한 관심과 수요가 점차 늘고 있다. 이러한 추세에 따라 육종연구도 용도별 고품질 품종을 개발하는 방향으로 전환되어, 쌀의 이화학적 특성의 새로운 변이를 창출하는 다양한 쌀 품종들이 개발되고 있다(1). 전분 분자 중 아밀로스 함량에 차이를 보이는 고아밀로스 변이체 *ae*(2), 저아밀로스 변이체 *lam*, *du*, *opaque*(3,4), 배유의 당 함량에서 차이를 보이는 *sugary*(*su*) 및 *shrunken*(*sh*) 변이체(5), 배아의 크기가 상당히 큰 거대 배아미(6), 배유 전분질이 분상질인 *floury* 변이체(7), 안토시아닌 색소를 함유한 유색미(8) 등 다양한 변이계통들이 개발되어 보급되고 있다(9).

유색미에는 흑자색, 적갈색, 녹색 등에 이르는 다양한 천연색소를 함유하고 있는데, 일반적으로 흑자색계 현미에는 안토시아닌계 색소가 다량 함유되어 있으며, 적갈색계 현미에는 탄닌계 색소가 포함되어 있는 것으로 알려지고 있다

(10). 유색미는 식이섬유를 다량 함유하고 있으며 각종 미네랄과 비타민, 불포화지방산과 같은 미량원소가 많아 항산화, 항산화 등의 활성과 인체의 종합조절 기능을 개선하고 면역력을 강화시켜 노화방지, 질병예방의 효과가 인정되어 식품학적으로 이용가치가 높은 것으로 보고되고 있다(10,11). 한편, 향미는 북동아시아, 인도, 유럽, 남미 등에서 알려진 다양한 향을 갖는 고급미로서 일반미에 비해 고부가가치의 쌀로 알려져 있으며, 쌀로부터 약 200여종 이상의 휘발성 성분이 보고되었다(12). 배아가 큰 거대배아미는 상대적으로 배유가 위축되어 등숙 상태가 충실하지 못한 경향이 있지만, 쌀 배아에는 양질의 단백질과 비타민 그리고 필수지방산이 다량 집적되어 있다는 점에서 배아 크기가 큰 쌀 품종의 개발은 건강 기능성 측면에서 큰 의의가 있다(13).

따라서, 본 실험의 목적은 최근 개발되고 있는 유색미, 향미 등 건강 기능성 쌀로 개발된 특수미의 지방산 및 아미노산 조성을 분석하고, 소화특성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

유색미 품종인 흑진주(Heuginju), 적진주(Jeuginju), 조

생흑찰(Josangheugchal), 향미 품종인 흑향미(Heughyanmi)와 향미벼1호(Hyangmil), 거대배아미인 큰눈(Keunnun), 그리고 일반현미 품종인 일품벼(Ilpumbyeo)와 화선찰벼(Whaseonchalbyeo)는 농촌진흥청 식량과학원에서 2007년에 수확된 것으로서, 정조를 현미기(model SY88-TH, Ssangyoung Ltd., Incheon, Korea)를 이용하여 현미로 조제하여 사용하였다. 전체 8개의 품종에서 조생흑찰과 화선찰벼는 찰성(waxy rice)이며, 나머지는 메성(non-waxy rice)이다.

지방산 조성 분석

지방산 분석은 Rafael과 Mancha(14)의 방법에 따라 0.5 g의 분말시료에 methanol : heptane : benzene : 2,2-dimethoxypropane : H₂SO₄(37:36:20:5:2, v/v)로 조제된 용액을 가하고, 80°C로 가열하여 digestion 및 lipid transmethoxylation 처리가 동시에 되도록 하였다. 가열이 끝난 single phase는 상온에서 냉각 후 fatty acid methyl esters (FAMES)를 함유하고 있는 상등액을 취하여 capillary GC에 주입하였다. 지방산 분석에 사용된 GC system은 HP 6890 system FID(HP Co., Palo Alto, USA)이었고, HP-Innowax capillary(Cross-linked polyethylene glycol) column(0.25 μm×30 m)를 사용하였다. 분석조건은 initial temperature 150°C, final temperature 280°C로서 4°C/min씩 증가되도록 하였고, carrier gas로서 N₂를 10 mL/min으로 흘려주었다. 분석이 진행되는 동안 inlet과 detector의 온도는 각각 250°C 및 300°C가 유지되도록 하였다. 표준 FAME mix(C₁₄-C₂₂)는 Supelco(Bellefonte, PA, USA)사 제품을 사용하였다.

아미노산 분석

시료 0.3 g에 5 mL의 6 N HCl을 가하고 N₂ gas로 치환시킨 후 110°C에서 24시간 HCl로 가수분해 후 No. 2 여지로 여과하여 10 mL-flask에 옮겨 놓고 Milli-Q water로 정용하였다. 이들 중 분자량이 큰 화합물을 제거시키기 위하여 0.1

% TFA(solution I)와 80% methanol(solution II)로 Sep-pak C₁₈을 활성화시킨 후, 시료용액을 통과시켜 분석시료로 사용하였다. 아미노산 정량분석은 amino acid auto-analyzer (L-8800, Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하였다. 아미노산 함량 계산을 위하여 아미노산 표준용액은 Ajinomoto-Takara사(Tokyo, Japan) 제품을 구입하여 사용하였다.

시차 주사 열량계(Differential scanning calorimeter, DSC)

스텐레스 DSC 팬에 쌀가루 20 mg과 증류수 0.9 mL를 넣고 밀봉하여 1시간 동안 방치한 후 DSC(model DSC Q1000, TA Instruments Inc., New Castle, USA)를 이용하여 20°C에서 150°C까지 10°C/min의 속도로 가열하며 흡열 피크를 얻었다.

통계분석

분석된 결과의 통계분석은 SAS(Ver 8.0, Statistical analysis system) 프로그램을 이용하여 평균, 분산분석(ANOVA), Duncan의 다중범위시험법(Duncan's multiple comparison)으로 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

지방산 조성

유색미(colored rice), 향미(flavored rice), 거대배아미(giant embryo brown rice) 등 특수미와 일반 쌀 품종의 지방산 조성은 품종 간에 유의한 차이를(ANOVA) 보였다(Table 1). 주된 지방산은 linoleic acid(C18:2), oleic acid(C18:1), palmitic acid(C16:0)이며, 특히 linoleic acid와 oleic acid가 전체 지방산의 75~80%를 차지하는 것으로 나타났다. 전체 지방산에 대한 포화지방산(SFA)과 불포화지방산(USFA)의 비율은 1:3 정도로 불포화지방산 함량이 높은 양질의 기

Table 1. Fatty acids composition (%) of the specialty rice cultivars

Specialty rice	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA
Colored rice						
Heugjinju	23.65±1.46 ^{ab}	—	32.66±3.86 ^c	43.69±2.39 ^a	23.65±1.46 ^{bcd}	76.35±1.46 ^{bcd}
Jeuginju	18.39±0.62 ^c	0.75	42.09±2.32 ^a	38.02±0.82 ^{bc}	19.14±0.44 ^e	80.86±0.44 ^a
Josangheugchalbyeo	25.73±0.09 ^a	—	39.55±0.30 ^{ab}	34.73±0.21 ^c	25.73±0.09 ^a	74.27±0.09 ^c
Flavored rice						
Heughyangmi	22.10±1.78 ^b	0.71	37.69±2.18 ^{ab}	38.79±2.41 ^b	22.81±0.77 ^{cd}	77.19±0.77 ^{bc}
Hyangmil	24.49±0.80 ^{ab}	—	36.86±1.58 ^{bc}	38.65±0.78 ^b	24.49±0.79 ^{abc}	75.51±0.80 ^{cde}
Giant embryo rice						
Keunnun	22.19±0.01 ^b	—	39.23±0.64 ^{ab}	38.57±0.65 ^{bc}	22.19±0.01 ^d	77.81±0.01 ^b
Brown rice						
Ilpumbyeo	23.37±1.39 ^{ab}	—	37.61±1.14 ^{ab}	39.01±2.53 ^b	23.37±1.39 ^{bcd}	76.63±1.39 ^{bcd}
Whaseonchalbyeo	25.30±0.16 ^a	—	36.29±0.19 ^{bc}	38.41±0.04 ^{bc}	25.30±0.16 ^{ab}	74.70±0.16 ^{de}
F-value	10.49 ^{***}	—	4.14 ^{**}	4.80 ^{**}	12.48 ^{***}	12.48 ^{***}

Means in the same column followed by different letters are significantly different at p<0.05.

Significant at ***p<0.001 and **p<0.05, respectively, from ANOVA

C16:0, palmitic acid; C18:0, stearic acid; C18:1, oleic acid; C18:2, linoleic acid; SFA, saturated fatty acid; USFA, unsaturated fatty acid.

름으로, 포화지방산으로는 palmitic acid가, 불포화지방산으로는 oleic acid와 linoleic acid가 대부분인 것으로 분석되었다. Fujino(15)도 쌀에 함유되어 있는 지방산은 palmitic acid, oleic acid, linoleic acid가 주된 지방산으로 전체의 95%를 차지한다고 발표하여 본 실험의 결과와 일치하였다. 각 품종별 주요 지방산 및 함량을 살펴보면, 유색미 품종인 흑진주에는 linoleic acid가 43.69%로서 가장 높고, 적진주와 조생흑찰의 주요 지방산은 oleic acid로서 각각 42.09와 39.55%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 유색미의 지방산 조성 이외에, 기능성분에 대해서 Seo 등(16)은 흑진주와 적진주 같은 흑색과 적색을 띠는 품종에 함유된 상당량의 anthocyanin으로 인해 다른 특수미에 비하여 2~9배의 높은 total polyphenol을 함유하여 다양한 생리활성을 나타냈다고 보고하였다. 한편, 향미벼인 흑향벼와 향미1호, 일반현미 품종인 일품벼와 화선찰벼에는 linoleic acid가, 거대배아미인 큰눈에는 oleic acid가 주요 지방산인 것으로 분석되었다. 쌀의 지방산 조성에 관한 Taira 등(17)의 보고에 의하면, 지방산 조성에 가장 중요한 요인은 등숙기 기온에 있으나, 벼의 품종과 재배시기에 따라서도 변화된다고 하였다.

유리아미노산 함량

쌀의 현미는 배아(embryo)와 배유(endosperm) 및 이를 둘러싸고 있는 얇은 막(rice bran, 미강)으로 구성되어있으며, 이 미강층은 과피(pericarp), 종피(seed coat), 호분층(aleurone layer)으로 구성되어있다. 단백질은 하위 호분층에 단백질체(protein body)의 형태로 분포하며 전분층의 중심으로 갈수록 희박해진다. 현미의 단백질 함량은 7.1~15.4%로서 도정에 의하여 단백질이 풍부한 호분층이 제거된 백미에는 5.6~13.3%의 단백질이 함유되어 있다. 일반적으로 쌀 성분은 품종에 따라 약간의 차이가 있으나 전분이 약 75% 정도로 가장 많고, 단백질이 그 다음으로 많이 함유되어 있는데, 단백질을 구성하고 있는 아미노산 조성은 쌀 단백질의 영양기능을 결정한다(18).

본 실험에 사용된 특수미의 아미노산 조성은 쌀 품종에 따

라 유의적으로 차이를 보였으며, 주요 아미노산은 aspartic acid와 glutamic acid인 것으로 나타났다(Table 2). 품종별 주요 아미노산을 살펴보면, 유색미인 흑진주와 조생흑찰에는 glutamic acid가 각각 309.70과 238.06 nmol로서 높게 나타났다. 적진주에는 cysteine(169.61)이 높은 것으로 측정되었다. 특히, 적진주에는 gamma-aminobutyric acid(GABA)가 129.32 nmol이 함유되어, 거대배아인 큰눈의 139.42 nmol 다음으로 많이 함유되어있는 것으로 나타났다. 동·식물 등 자연계에 널리 분포하고 있는 비단백질 구성아미노산인 GABA는 포유동물의 뇌나 척수에 존재하는 억제계의 신경 전달물질로서 신경억제작용과 정신안정기능을 가지며 혈압 상승억제작용, 뇌의 대사촉진작용 등의 효과를 보였다고 보고되었다(19). 특히, GABA는 곡류 발아 과정에서 성분이 증진되거나 새로 생성된다는 연구 결과가 보고되어, 발아현미가 새로운 기능성식품으로 주목받고 있다. Choi 등(20)은 발아현미의 전처리 조건을 확립하기 위한 실험을 통해, 현미를 40°C에서 8시간 침지 시 GABA 함량이 크게 증가하였다고 보고하였다. 또한 침지 용액의 종류, 현미 침지 시 혐기조건 등에 의해서도 GABA 함량이 크게 변화된다고 보고하였다. 한편, 향미벼인 흑향미와 향미1호의 주요 아미노산도 glutamic acid로서 각각 310.23와 133.58 nmol로 측정되었는데, 향미벼의 아미노산 조성은 향미1호는 흑향미에 비하여 모든 아미노산의 함량이 낮은 경향을 나타내서 품종간의 차이를 보였다. 큰눈의 glutamic acid 함량은 본 실험에서 분석된 품종 중에서 가장 높은 365.21 nmol 함유되는 것으로 나타났다, aspartic acid는 241.73 nmol, cysteine은 130.74 nmol의 순서로 다량 함유되는 것으로 분석되었다.

본 실험 결과로부터, 총 유리아미노산 함량은 거대배아미 품종인 큰눈이 1059.07 nmol로서 가장 높았고, 흑향미와 조생흑찰벼가 각각 784.22와 701.77 nmol을 함유하는 것으로 나타났다. 최근의 식이성 유리아미노산과 펩티드에 대한 영양적 가치에 대한 연구보고에 따르면, 식품 내의 유리아미노산과 올리고펩티드의 강화는 맛난 맛의 증진뿐 아니라, 빠른

Table 2. Amino acid contents in the specialty brown rice

(unit: nmol)

Specialty rice	Asp	Ser	Glu	Gly	Ala	Cys	GABA	Hylys	Total
Colored rice									
Heugjinju	87.95	30.80	309.70	19.62	37.32	15.91	25.98	32.14	559.43
Jeuginju	26.17	20.66	64.94	21.44	88.08	169.61	129.32	31.76	551.97
Josangheugchal	225.92	53.62	238.06	24.44	55.09	25.25	21.72	57.66	701.77
Flavored rice									
Heughyanmi	145.48	37.51	310.23	13.79	34.54	162.82	23.83	56.02	784.22
Hyangmil	94.69	16.25	133.58	13.15	18.15	64.74	—	56.34	396.90
Giant embryo rice									
Keunnun	241.73	64.44	365.21	19.43	42.33	130.74	139.42	55.77	1059.07
Brown rice									
Ilpumbyeo	127.06	35.51	226.23	15.22	39.56	22.73	—	56.32	522.64
Whaseonchalbyeo	132.06	—	243.16	14.45	39.33	29.18	37.26	57.19	552.61

Asp=aspartic acid, Ser=serine, Glu=glutamic acid, Gly=glycine, Ala=alanine, Cys=cystine, GABA=gamma-aminobutyric acid, Hylys=hydroxy lysine.

Table 3. Thermal properties of specialty rice by differential scanning calorimeter (DSC)

Specialty rice	To (°C)	Tp (°C)	Tc (°C)	ΔH (J/g)
Colored rice				
Heugjinju	70.24±0.41 ^b	79.56±0.37 ^a	97.99±0.73 ^b	6.45±0.08 ^b
Jeuginju	71.51±0.04 ^a	79.33±0.17 ^a	97.48±0.12 ^b	6.78±0.27 ^b
Josangheugchalbyeo	69.52±0.13 ^c	79.01±0.08 ^a	102.12±0.52 ^a	9.39±0.39 ^a
Flavored rice				
Heughyangmi	65.91±0.47 ^c	73.59±0.23 ^c	90.77±1.15 ^d	5.47±0.63 ^{cd}
Hyangmil	66.98±0.11 ^d	75.66±0.02 ^b	94.46±1.78 ^c	6.36±0.14 ^b
Giant embryo rice				
Keunnun	65.34±0.36 ^c	73.39±0.49 ^c	89.81±0.62 ^{de}	6.12±0.34 ^b
Brown rice				
Ilpumbyeo	64.03±0.25 ^f	72.64±0.22 ^d	88.49±0.21 ^c	5.33±0.24 ^d
Whaseonchalbyeo	69.24±0.09 ^e	79.44±0.11 ^a	102.49±1.05 ^a	9.12±0.17 ^a
<i>F</i> -value	182.06 ^{***}	287.26 ^{***}	69.81 ^{***}	44.77 ^{***}

Means in the same column followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$.

Significant at $***p < 0.001$ from ANOVA

To, onset temperature; Tp, peak temperature; Tc, completion temperature; ΔH, enthalpy for gelatinization.

흡수 및 근육단백질의 강화, 그리고 항산화작용과 같은 몇 가지 영양적 장점이 부각되어 있다(21).

DSC에 의한 호화특성

시차 주사 열량계(DSC)에 의한 특수미 품종의 호화특성을 측정된 결과 호화개시온도(To), 최대호화온도(Tp), 호화종결온도(Tc) 및 호화엔탈피(ΔH)는 품종 간에 유의적인 차이($p < 0.05$) 보였다(Table 3). DSC thermogram 상의 흡열 엔탈피를 전분이 호화될 때 나타나는 엔탈피로 볼 때, 호화에 필요한 흡열 엔탈피는 찰성인 조생흑찰벼과 화선찰벼가 각각 9.39와 9.12(J/g)로 높게 나타났다. 또한, 찰성 품종의 호화종결온도(Tc)는 102°C로서 유의하게 높게 나타났는데, Ko와 Park(22)은 일부 곡류의 전분 구조 내에 존재하고 있는 amylose-lipid complex의 용융으로 인한 Tc의 온도 상승이라고 보고하였다. 곡류 전분의 열 특성에 관한 연구에서, Inouchi 등(23)은 일반적으로 곡류 전분입자의 경우, 찰성 품종의 호화엔탈피가 메성 품종들에 비해서 높은 경향이 있으며, 호화엔탈피가 높은 찰성 품종의 전분 구조는 결정성이 높다고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 보여주었다. Kang 등(24)도 찰성 쌀 품종인 남풍 CB243이 다른 품종들과는 달리 호화개시온도 및 호화종결온도가 평균적으로 약 5°C 정도가 높았다고 보고하여 본 실험의 결과와 같은 경향을 보였다. 유색미 품종인 흑진주와 적진주의 열적 특성(thermal properties)은 다른 품종에 비하여 다소 높게 나타났는데, 호화 상전이에 필요한 에너지량을 나타내는 흡열피크의 호화개시온도는 70~71°C 범위이고, 최대호화온도는 79°C, 호화종결온도는 97°C로 측정되었다. 반면에, 일반 메성 쌀 품종인 일품벼는 모든 열적 특성이 가장 낮게 분석되었다.

DSC에 의한 특수미의 열 특성 분석 결과, 전분 입자의 호화 시 일어나는 흡열반응의 호화개시온도가 높은 유색미 품종의 취반 특성은 다른 품종에 비하여 다소 낮을 것으로 사료된다. 그러나 유색미의 주요 색소 성분인 안토시아닌계

화합물은 강한 항산화효과를 가지며 노화억제 등의 생리활성을 갖는 것으로 보고되어 있으며, Seo 등(16)은 특수미 품종, 특히 흑색과 적색을 나타내는 쌀의 항산화성분을 분석한 결과 유색미의 total polyphenol은 일반 품종에 비하여 4~5배 높았으며, 특히 흑색미의 경우 anthocyanine이 유의하게 높았다고 보고하였다. 따라서 본 실험에서 사용된 유색미 쌀 품종은 기능성 쌀 가공식품 소재로서의 가능성을 보여 주었으며, 향미와 거대배아미는 취반용 또는 발아현미용으로 활용성이 높을 것으로 사료된다.

요 약

특수미 품종인 유색미, 향미, 거대배아미의 지방산 및 아미노산 조성과 호화특성을 분석한 결과는 다음과 같다. 주된 지방산은 linoleic acid, oleic acid, palmitic acid이며, 특히 linoleic acid와 oleic acid가 전체 지방산의 75~80%를 차지하였다. 아미노산은 품종 간에 다소 차이가 있으나, 주요 아미노산은 glutamic acid와 aspartic acid로 분석되었으며, 적진주 품종인 경우는 cysteine과 GABA가 주요 아미노산이었고, 특히, 큰눈에는 cysteine과 GABA가 유의하게 높게 함유되어있는 것으로 나타났다. 특수미의 호화특성을 DSC 분석한 결과, 찰성인 조생흑찰과 화선찰벼가 호화에 필요한 흡열 엔탈피(ΔH)가 유의적으로 높게 나타났다. 또한, 유색미 품종인 흑진주와 적진주의 열적 특성인 호화개시온도, 최대호화온도 및 호화종결온도가 일반 메성 쌀인 일품현미에 비하여 높게 나타나, 유색미 품종의 취반 특성이 일반현미에 비하여 낮을 것으로 분석되었다.

문 헌

1. Choi HC. 2002. Perspectives in varietal improvement of rice

- cultivars for high-quality and value-added products. *Korean J Crop Sci* 47: 15-32.
2. Yano M, Okuno K, Kwakami J, Satoh H, Omura T. 1985. High amylose mutants of rice, *Oriza sativa* L. *Theor Appl Genetic* 69: 253-257.
 3. Kinshita T, Kikuchi H. 1987. Inheritance of amylose content in crosses of low amylose mutant. *Rice Genetic Newsletter* 4: 83-85.
 4. Okuno K, Fuwa H, Yano M. 1983. A new mutant gene lowering amylose content in endosperm starch of rice, *Oriza sativa* L. *Jpn J Breed* 33: 387-394.
 5. Okuno K, Yano M. 1984. New endosperm mutants modifying starch characteristics of rice, *Oriza sativa* L. *Japan Agric Research Quarterly* 18: 73-78.
 6. Lee YR, Choi YH, Koh HJ, Kang MY. 2001. Quality characteristics of brown rice flakes prepared with giant embryonic rice and normal rice cultivars. *Korean J Food Sci Technol* 33: 504-544.
 7. Maekawa M. 1985. Location of a floury endosperm gene in the second linkage group. *Rice Genetic Newsletter* 2: 57-58.
 8. Kang MY, Sin SY, Nam SH. 2003. Correlation of antioxidant and antimutagenic activity with content of pigments and phenolic compounds of colored rice seeds. *Korean J Food Sci Technol* 35: 968-974.
 9. Sato H, Omura T. 1981. New endosperm mutations introduced by chemical mutagens in rice, *Oriza sativa* L. *Jpn J Breed* 31: 316-326.
 10. Choi HC, Oh SK. 1996. Diversity and function of pigments in rice. *Korean J Crop Sci* 41: 1-9.
 11. Wang H, Cao G, Prior RL. 1997. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *J Agric Food Chem* 45: 304-309.
 12. Ishitani K, Fushimi C. 1994. Influence of pre- and post-harvest conditions on 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice. *The Koryo* 183: 73-80.
 13. Juliano BO. 1985. *Rice chemistry and technology*. AACC press, London, UK. p 295-311.
 14. Rafael G, Mancha M. 1993. One-step lipid extraction and fatty acid methyl ester preparation from fresh plant tissues. *Anal Biochem* 211: 139-143.
 15. Fujino Y. 1978. Rice lipid. *Cereal Chem* 55: 559-571.
 16. Seo SJ, Choi YM, Lee SM, Kim KJ, Son JR, Lee JS. 2007. Determination of selected antioxidant compounds in specialty rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 499-502.
 17. Taira H, Nakagahra M, Nagamine T. 1982. Fatty acid composition of Indica, Sinica, Javanica and Japonica groups of nonglutinous brown rice. *J Agric Food Chem* 36: 45-47.
 18. Xie L, Chen N, Duan B, Zhu Z, Liao X. 2008. Impact of proteins and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *J Cereal Sci* 47: 372-379.
 19. Okada T, Sugishita T, Murakami T, Murai H, Saikusa T, Horino T, Onoda A, Kajimoto O, Takahashi R. 2000. Effect of the defatted rice germ enriched with GABA for sleeplessness, depression, autonomic disorder by oral administration. *Japan Soc Food Sci Technol* 47: 596-603.
 20. Choi HD, Park YK, Kim YS. 2004. Effect of pretreatment conditions on γ -aminobutyric acid content of brown rice and germinated brown rice. *Korean J Food Sci Technol* 36: 761-764.
 21. Kamiya T. 2002. Biological functions and health benefits of amino acids. *Food Ingredient J Jpn* 206: 33-44.
 22. Ko JH, Park KH. 1989. Differential scanning calorimetric study of amylose-lipid complex and amylose content in rice starch. *Korean J Food Sci Technol* 21: 556-561.
 23. Inouchi N, Glover DV, Sugimoto Y, Fuwa H. 1991. DSC characteristics of gelatinization of starches of single-, double- and triple- mutants and their normal counterpart in the inbred Oh43 maize (*Zea mays* L.) background. *Stärke* 43: 468-472.
 24. Kang MY, Han JY, Nam SH. 2000. Physicochemical properties of starch granules from endosperm mutants in rice. *Korean J Food Sci Technol* 32: 258-264.

(2010년 7월 6일 접수; 2010년 8월 2일 채택)