

발아에 따른 조, 기장, 수수의 화학적 성분 변화

고지연¹ · 송석보¹ · 이재생¹ · 강종래¹ · 서명철¹ · 오병근¹ · 광도연¹ · 남민희¹ · 정현상² · 우관식^{1*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부

²충북대학교 식품공학과

Changes in Chemical Components of Foxtail Millet, Proso Millet, and Sorghum with Germination

Jee Yeon Ko¹, Seuk Bo Song¹, Jae Saeng Lee¹, Jong Rae Kang¹, Myung Chul Seo¹, Byeong Geun Oh¹, Do Yeon Kwak¹, Min Hee Nam¹, Heon Sang Jeong², and Koan Sik Woo^{1*}

¹Dept. of Functional Crop, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Gyeongnam 627-803, Korea

²Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

Abstract

Changes in the chemical components of three cereals, foxtail millet, proso millet, and sorghum, during germination were determined. The crude protein contents of the three cereals did not significantly change during germination, whereas the contents of total dietary fiber of the three cereals increased during germination. The contents of γ -aminobutyric acid (GABA) of *Whanggeum-cho* (347.4 $\mu\text{g/g}$), *Chongcha-cho* (336.5 $\mu\text{g/g}$), *Bulgeun-gijang* (347.4 $\mu\text{g/g}$), *Noranchal-gijang* (344.9 $\mu\text{g/g}$), *Whanggeumchal-susu* (410.4 $\mu\text{g/g}$), and *Whinchal-susu* (444.0 $\mu\text{g/g}$) increased after 24, 24, 84, 36, 48, and 72 hr of germination, respectively, and then sharply decreased. The contents of total polyphenols, flavonoids, and tannin in foxtail millet, proso millet, and *Whinchal-susu* tended to increase during germination. However, the total phenolic content of *Whanggeumchal-susu* greatly decreased by 48 hr of germination and then considerably increased, whereas the total flavonoid content of *Whanggeumchal-susu* greatly decreased during germination. Total tannin content of *Whanggeumchal-susu* greatly decreased by 36 hr of germination and then slowly increased. DPPH radical scavenging activity of *Whanggeumchal-susu* greatly decreased by 36 hr of germination and then remained constant, whereas those of other cereals did not greatly change during germination. These results indicate that there are some differences in the chemical components of three cereals during germination.

Key words: foxtail millet, proso millet, sorghum, germination, chemical components, DPPH radical scavenging activity

서 론

잡곡의 정의는 넓은 의미에서 식량작물 중 쌀을 제외한 보리, 울무, 콩, 조, 기장, 수수, 옥수수 등을 말하고 좁은 의미에서는 벼, 맥류, 두류를 제외한 곡류를 의미한다. 예전에는 쌀과 비교하여 열등 작물로서 여겨져 왔으나, 비타민, 무기질 및 식이섬유 등의 기능성분 함량이 높고 다양한 생리활성 물질이 다량 함유되어 있어 건강을 유지시키는 보조식량으로서의 역할이 중요시되고 있다(1). 조(foxtail millet, *Setaria italica* Beauv.)는 배변을 쉽게 하여 변비를 예방하고 대장암을 예방하는 효과가 있으며(2), 기장(proso millet, *Panicum miliaceum* L.)은 단백질, 지방질, 비타민 A 등이 풍부하고 떡을 만들면 소화율이 향상된다(2). 그리고 수수(sorghum, *Sorghum bicolor* L. Moench)는 식이섬유, 폴리페놀화합물

등의 기능성성분을 다량 함유하고 있으며(3), 폴리페놀화합물의 대부분은 flavonoid로 알려져 있다(4).

식물 종자가 발아하면 씨눈과 배젖에 있는 비활성상태의 DNA 유전정보가 활성화가 되고 각종 효소의 활성 및 영양소가 증가하여 최대의 영양상태가 갖추어지게 된다(5). 씨눈 부분이 발아되면서 단백질과 아미노산, 지방산, 탄수화물, 비타민, 미네랄, 식이섬유 등이 변화하며, γ -oryzanol이나 arabinoxylane, GABA, vitamin E 등의 생리활성 성분들도 증가하고 발아 중에 효소가 활성화됨으로써 영양성분들의 체내 흡수가 용이하게 되는 것으로 알려져 있다(6). 지금까지 식물종자의 발아 중 일반성분의 함량 변화에 관한 많은 연구가 보고되었고(7-12), 그 외 각종 효소나 효소 저해제의 하나인 트립신 저해제의 변화(13)에 관한 연구들이 수행되어져 왔으며, 특히 발아현미의 항산화(14), 항비만(15) 및 항

*Corresponding author. E-mail: wooks@korea.kr
Phone: 82-55-350-1269, Fax: 82-55-352-3059

암(16) 작용에 대한 연구가 보고되어져 왔으나 대표적인 잡곡인 조, 기장, 수수의 발아에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구는 대표적인 잡곡인 조, 기장, 수수의 발아에 따른 화학적 성분, 조단백질, 식이섬유와 항산화활성의 지표가 되는 폴리페놀, 플라보노이드 및 탄닌의 함량 변화를 조사하였으며, 아울러 발아 중 항산화활성의 변화를 DPPH radical을 사용하여 측정하였다.

재료 및 방법

시료 제조 및 이화학적 특성 분석

본 연구에 사용된 조, 기장, 수수는 국립식량과학원 기능성작물부에서 2009년 생산된 황금조(*Setaria italica* B. cv. Whanggeum-cho), 청차조(*S. italica* B. cv. Chongchacho), 붉은기장(*Panicum miliaceum* L. cv. Bulgeun-gijang), 노란찰기장(*P. miliaceum* L. cv. Noranchal-gijang), 황금찰수수(*Sorghum bicolor* L. Moench cv. Whanggeumchalsusu), 흰찰수수(*S. bicolor* L. Moench cv. Whinchal-susu)를 사용하였다. 시료는 4°C 냉장고에 저장하면서 사용하였으며, 분석 직전에 Vibrating sample mill(CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하여 사용하였다. 시료의 조단백질함량은 Kjeldahl 장치(2300 Kjeltac Analyzer Unit, Foss Tecator, Eden Prairie, MN, USA)를 이용하여 정량하였으며, 식이섬유 함량은 megazyme total dietary fiber kit (Megazyme, Wicklow, Ireland)를 이용하여 측정하였다.

잡곡의 발아 및 메탄올 추출물 제조

발아시간에 따른 발아잡곡 제조는 콩나물재배기(SC-9000A, Shinchang INC, Busan, Korea)를 30°C로 설정된 배양기(DS-13MCL, Dasol Scientific Co., Ltd., Hwaseong, Korea)에 넣어 제조하였으며, 20분 간격으로 1분간 살수하도록 설정하여 제조하였고 12시간 간격으로 시료를 채취하였다. 싹의 길이는 무작위로 10개의 싹을 채취하여 버니어캘리퍼스(IP-66, Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 이용하여 측정하였다. 시간대별 채취한 시료는 동결건조(FDT-8612, OPERON, Kimpo, Korea)하여 사용하였다. 시간대별 제조된 각각의 발아잡곡은 분석 직전에 Vibrating sample mill(CMT Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 분쇄하고 일정량의 시료를 취하여 10배량의 80% 메탄올로 24시간 동안 진탕추출(SK-71 Shaker, JEIO Tech, Kimpo, Korea)한 다음 여과 및 농축한 후 -20°C 냉동고에 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀, 플라보노이드 및 탄닌 함량 측정

추출물에 대한 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol 시약을 사용하여 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다(17). 각 추출물(0.1 g/mL) 50 µL에 2% Na₂CO₃ 용액 1 mL를 가한 후 3분간 방치한 후 다시 50% Folin-Ciocalteu 시약(Sigma-

Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50 µL를 가하고 30분간 반응 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich)를 사용하여 검량선을 작성하였고, 회귀식은 $y=0.0039x-0.0063(R^2=0.9965)$ 로 나타났으며, 페놀 함량은 mg gallic acid(dry basis)/g으로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 Dewanto 등(17)의 방법에 따라 추출물 250 µL에 증류수 1 mL와 5% NaNO₂ 75 µL를 가한 다음, 5분 후 10% AlCl₃ 6H₂O 150 µL를 가하여 6분 방치하고 1 N NaOH 500 µL를 가하고 11분 후, 반응액의 흡광도 값을 510 nm에서 측정하였다. 표준물질인 (+)-catechin(Sigma-Aldrich)을 사용하여 검량선을 작성하였고, 회귀식은 $y=0.0022x-0.0235(R^2=0.9985)$ 로 나타났으며, 시료 g 중의 mg catechin(dry basis)로 나타내었다. 총 tannin 함량은 Duval과 Shetty(18)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 시료 용액 1 mL에 95% ethanol 1 mL과 증류수 1 mL를 가하여 잘 흔들어 주고 5% Na₂CO₃ 용액 1 mL과 1 N Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 0.5 mL를 가한 후 실온에서 60분간 발색시킨 다음 725 nm에서 흡광도를 측정하였으며, tannic acid(Sigma-Aldrich)로 표준물질로 검량선($y=0.0107x-0.3227, R^2=0.9996$)을 작성하여 시료 g 중의 mg tannic acid (dry basis)로 나타내었다.

GABA(γ -aminobutyric acid) 함량 측정

GABA 함량 측정은 Zhang과 Bown(19)의 방법에 따라 측정하였다. 분쇄 시료 1 g을 50 mL 원심분리관에 정확히 칭량하고 증류수를 가하여 homogenizer로 균질화한 다음 50 mL로 정용하였다. 균질액 1 mL에 70 mM lanthamn chloride 및 1 M KOH 160 µL 첨가한 후 15분간 shaking하고 원심분리 하여 상등액을 취하였다. 추출 시료 550 µL에 4 mM NADP⁺ 150 µL와 0.5 M K⁺ pyrophosphate buffer(pH 8.6) 200 µL, 2 unit/mL의 GABASE 50 µL 첨가하여 10초간 mixing 후 340 nm에서 흡광도를 측정하였고 20 mM α -ketoglutarate 50 µL 첨가하고 60분 후 흡광도 측정하여 α -ketoglutarate 첨가 전후의 흡광도 차이를 이용하여 계산하였다.

메탄올 추출물의 항산화활성 측정

추출물에 대한 항산화활성은 DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich) radical의 소거활성을 측정하였다(20). DPPH radical의 소거활성은 0.2 mM DPPH용액(99.9% ethanol에 용해) 0.8 mL에 시료 0.2 mL를 첨가한 후 520 nm에서 정확히 30분 후에 흡광도 감소치를 측정하였다. DPPH radical의 소거활성은 mg TE(Trolox equivalent antioxidant capacity)/g sample로 표현하였다.

통계분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며, mean±SD로 표현하였다. 또한 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis System; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC,

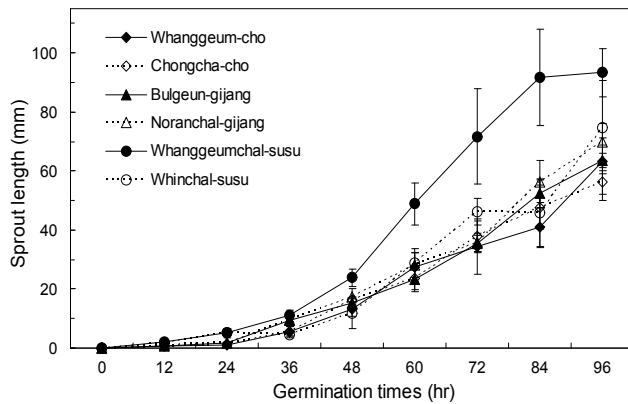


Fig. 1. The change of sprout length on the foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times.

USA)을 이용하여 각각의 변수에 대한 특성을 분석하였으며, 각 시험구간의 평균차이에 대한 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준일 때 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

결과 및 고찰

발아시간에 따른 잡곡류의 싹 길이

발아시간에 따른 잡곡류의 싹 길이를 측정한 결과 Fig. 1과 같이 나타났다. 조의 경우 12시간에 황금조와 청차조가 각각 0.80 및 0.75 mm를 나타내었고 시간이 지남에 따라 빠르게 싹이 커지는 것을 확인하였으며, 96시간에는 각각 63.16 및 56.14 mm의 크기를 보였고 청차조에 비해 황금조의 싹이 빨리 크는 것으로 나타났다. 기장은 붉은기장에 비해 노란찰기장이 빠르게 싹이 크는 것으로 나타났으며, 붉은기장과 노란찰기장이 12시간에는 각각 0.80 및 1.05 mm으로, 96시간에는 각각 63.62 및 69.95 mm의 길이를 나타내었다. 수수의 경우 전체적으로 황금찰수수가 싹이 빨리 컸으며, 황금찰수수와 흰찰수수가 12시간에 각각 1.96 및 1.76 mm, 96시간에 각각 93.32 및 74.84 mm의 길이를 나타내었다. 조, 기장 및 수수의 발아시간에 따른 싹 길이는 수수가

가장 빠르게 크는 것으로 나타났고 기장, 조 순으로 나타났다.

발아잡곡의 단백질 및 식이섬유 함량

발아시간에 따른 잡곡류의 단백질 함량을 측정한 결과 Table 1과 같이 발아시간이 경과함에 따라 단백질 함량은 대체적으로 약간 증가하였으나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 황금조와 청차조는 무발아 시료는 각각 9.3 및 8.8 g/100 g으로 나타났고 60시간 발아시킨 시료에서 각각 10.8 및 10.0 g/100 g으로 증가하는 경향을 보였다. 붉은기장과 노란찰기장의 무발아 시료는 각각 12.2 및 13.4 g/100 g으로 나타났고 발아시료는 72시간 시료에서 각각 16.1 및 14.3 g/100 g으로 증가하는 경향을 보였다. 황금찰수수와 흰찰수수는 무발아 시료가 각각 9.3 및 8.4 g/100 g으로 나타났고 황금찰수수는 84시간 시료에서 13.0 g/100 g, 흰찰수수는 96시간 시료에서 11.1 g/100 g으로 증가하는 경향을 보였다. Lee 등(21)의 보고에 따르면 충북 괴산에서 생산된 차조, 기장 및 수수의 조단백질 함량은 8.96, 11.87 및 10.98%로 보고하였는데 약간의 차이를 보이는 것은 생산년도와 재배지역의 환경 차이로 인한 것으로 보인다. Kim 등(22)은 귀리, 보리, 호밀 및 밀을 23°C에서 2~3일 발아시켜 단백질 함량을 조사한 결과 귀리는 13.13%에서 발아 후 14.35%로 증가하였고 다른 품종들은 거의 변화가 없는 것으로 보고하였으며, Lee 등(6)은 일품, 고아미2호, 큰눈 및 흑광벼를 3일 발아시켜 단백질 함량을 측정한 결과 4개 품종 모두 유의적으로 증가하는 것으로 보고하였다.

발아시간에 따른 잡곡류의 총 식이섬유 함량을 측정한 결과 Table 2와 같이 발아시간이 경과함에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였다. 무발아 황금조와 청차조의 총 식이섬유 함량은 각각 6.3 및 7.3 g/100 g으로 나타났으며, 96시간 발아 후 각각 16.3 및 13.9 g/100 g으로 증가하였다. 붉은기장과 노란찰기장은 각각 6.2 및 5.2 g/100 g에서 9.4 및 6.5 g/100 g으로 증가하였으며, 황금찰수수와 흰찰수수는 각각 7.0 및 9.0 g/100 g에서 15.9 및 12.5 g/100 g으로 증가하는 것으로 나타났다. 조와 수수는 큰 유의적인 차이를 보이며

Table 1. The crude protein contents of the foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times

(Unit: g/100 g)

Germination times (hr)	Foxtail millet		Proso millet		Sorghum	
	Whanggeumcho	Chongchacho	Bulgeungijang	Noranchalgijang	Whanggeumchalsusu	Whinchalsusu
0	9.3±0.57 ^{1)bc2)}	8.8±0.04 ^{NS3)}	12.2±0.13 ^b	13.4±0.22 ^{NS}	9.3±0.09 ^b	8.4±0.27 ^b
12	9.1±0.04 ^c	9.7±0.49	15.7±1.06 ^a	13.0±1.10	10.2±1.72 ^{ab}	10.8±0.66 ^a
24	9.6±0.88 ^{abc}	9.6±0.88	15.5±0.22 ^a	13.2±0.13	9.3±2.61 ^b	10.7±0.40 ^a
36	9.6±0.44 ^{abc}	9.3±1.50	15.3±0.04 ^a	13.0±0.31	12.1±0.35 ^{ab}	9.5±1.02 ^{ab}
48	10.3±0.04 ^{abc}	9.5±0.80	15.7±0.71 ^a	13.0±0.40	11.7±0.22 ^{ab}	9.8±0.57 ^{ab}
60	10.8±0.62 ^a	10.0±0.57	15.1±0.27 ^a	13.3±1.33	11.7±0.57 ^{ab}	9.4±0.40 ^{ab}
72	9.7±0.80 ^{abc}	9.7±1.46	16.1±0.80 ^a	14.3±0.31	11.6±1.19 ^{ab}	10.8±1.37 ^a
84	10.1±0.10 ^{abc}	8.2±0.07	15.8±0.57 ^a	12.9±0.27	13.0±0.53 ^a	8.6±0.88 ^b
96	10.5±0.06 ^{ab}	8.3±0.06	15.8±0.75 ^a	14.3±0.18	11.6±2.30 ^{ab}	11.1±0.80 ^a

¹⁾Each value is mean±SD (n=3).

²⁾Values with different superscripts are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

³⁾NS: not significant.

Table 2. The total dietary fiber contents of the foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times (Unit: g/100 g)

Germination times (hr)	Foxtail millet		Proso millet		Sorghum	
	Whanggeumcho	Chongchacho	Bulgeungijang	Noranchalgijang	Whanggeumchalsusu	Whinchalsusu
0	6.3±0.13 ¹⁾²⁾	7.3±0.15 ^e	6.2±1.44 ^b	5.2±0.12 ^c	7.0±1.77 ^{ef}	9.0±0.07 ^d
12	5.9±0.12 ^g	6.5±0.13 ^f	6.5±1.23 ^b	5.3±0.29 ^c	6.6±0.48 ^{ef}	8.9±0.11 ^{de}
24	5.7±0.11 ^g	7.3±0.15 ^e	6.6±1.31 ^b	5.2±0.22 ^c	7.8±0.17 ^{de}	8.4±0.05 ^e
36	6.7±0.13 ^e	7.4±0.15 ^e	6.5±1.33 ^b	5.4±0.37 ^{bc}	5.4±0.20 ^f	9.1±0.06 ^d
48	7.4±0.15 ^d	9.0±0.18 ^d	6.4±1.34 ^b	5.5±0.11 ^{bc}	6.7±0.08 ^{ef}	9.2±0.39 ^d
60	9.0±0.18 ^c	10.0±0.20 ^b	7.9±0.63 ^{ab}	5.2±0.14 ^c	8.9±0.31 ^d	10.6±0.28 ^c
72	9.2±0.18 ^c	9.6±0.19 ^c	8.4±0.30 ^{ab}	6.2±0.78 ^{ab}	10.9±0.61 ^c	11.1±0.12 ^b
84	12.1±0.24 ^b	13.8±0.28 ^a	8.5±0.01 ^{ab}	6.0±0.50 ^{abc}	12.7±0.41 ^b	12.4±0.33 ^a
96	16.3±0.33 ^a	13.9±0.28 ^a	9.4±0.08 ^a	6.5±0.22 ^a	15.9±0.64 ^a	12.5±0.10 ^a

¹⁾Each value is mean±SD (n=3).

²⁾Values with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

증가한 반면 기장은 유의적인 차이를 보였으나 큰 증가량을 보이지 않았다. Lee 등(6)의 보고에서 일품, 고아미2호, 큰눈 및 흑광벼를 3일 발아시켜 총 식이섬유 함량을 측정된 결과 4개 품종 모두 유의적으로 증가하는 것으로 보고하였다. Lee 등(7)의 연구에 의하면 메밀을 발아시키면 총 식이섬유 함량은 건량기준으로 발아 전 24.6%에서 발아 7일째 36.2%로 증가하는 것으로, 불용성 식이섬유는 발아 전 22.9%에서 발아 후 31.1%로 증가하고 수용성 식이섬유는 발아 전 1.4%에서 발아 후 4.5%로 증가한다고 보고하였다. 또한 Kim 등(23)은 발아시간이 경과함에 따라 유채의 총 식이섬유소 함량이 11.4%에서 12.1%로 증가하는 경향을 보였으며, 발아현미(24), 쥐눈이콩(25)에서도 발아에 따라 식이섬유 함량이 증가한다고 보고하였다. 이처럼 식이섬유 함량이 증가하는 것은 발아 시 대사 작용이 촉진되어 세포벽이 형성됨으로써 세포벽 중층(middle lamella)의 구성성분인 펙틴질(pectin substance)의 증가에 의한 일차적인 세포벽(primary cell wall) 형성에 기인한 것이라고 생각된다(7).

발아잡곡의 GABA 함량

발아시간에 따른 잡곡류의 GABA 함량을 효소법으로 측정한 결과 Table 3과 같이 발아시간이 증가함에 따라 GABA 함량은 대체적으로 일정시간 동안은 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. 황금조와 청차조의 경우 무발아 시료에서는

각각 236.0 및 295.2 µg/g으로 나타났고 발아 24시간에 각각 347.4 및 336.5 µg/g으로 증가하는 경향을 보였으며, 이후 감소하는 경향을 보였다. 붉은기장과 노란찰기장 무발아 시료에서 각각 335.5 및 288.6 µg/g으로 나타났으며, 발아시료의 경우 붉은기장은 84시간에 347.4 µg/g, 노란찰기장은 36시간에 344.9 µg/g으로 증가하는 것으로 나타났다. 황금찰수수와 흰찰수수의 경우 무발아 시료에서 각각 353.7 및 250.5 µg/g으로 나타났고 발아시료의 경우 황금찰수수는 48시간 시료에서 410.4 µg/g, 흰찰수수는 72시간 시료에서 444.0 µg/g으로 증가하는 것으로 나타났다. Jeon 등(26)은 일품벼를 이용한 발아현미 제조에 있어 25°C에서 24시간 침치시킨 시료에서 2,209.4 nmol/g(227.8 µg/g)의 함량을 보였고 30°C에서 18시간 시료는 2,298.2 nmol/g(237.0 µg/g), 35°C에서 18시간은 2,488.1 nmol/g(256.6 µg/g)으로 가장 높은 함량을 보였고 48시간까지는 시간이 증가함에 따라 증가하는 것으로 보고하였다. GABA는 해충감염 등과 같은 외부자극 및 종자의 발아 시 함량이 급격히 증가됨으로써 식물체의 성장과 자기방어 기능에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 있다(27). 또한 식물에서 GABA의 합성은 여러 외부 환경적 요인에 의해 영향을 받는 것으로 보고되고 있어 식물체가 여러 환경적 스트레스에 대처하기 위한 수단으로 GABA 생성체계를 가동시키는 것으로 추정되어진다(26).

Table 3. The GABA (γ-aminobutyric acid) contents of the foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times (Unit: µg/g sample)

Germination times (hr)	Foxtail millet		Proso millet		Sorghum	
	Whanggeumcho	Chongchacho	Bulgeungijang	Noranchalgijang	Whanggeumchalsusu	Whinchalsusu
0	236.0±2.98 ¹⁾²⁾	295.2±2.57 ^d	335.5±1.18 ^b	288.6±2.16 ^d	353.7±1.71 ^b	250.5±1.12 ^g
12	299.7±2.44 ^c	320.4±1.74 ^b	335.9±5.23 ^b	327.9±2.29 ^b	306.3±3.73 ^d	302.7±1.62 ^f
24	347.4±6.55 ^a	336.5±1.19 ^a	321.5±1.81 ^c	333.4±4.52 ^b	335.8±0.83 ^c	308.3±1.95 ^f
36	315.7±6.86 ^b	274.7±10.0 ^f	324.0±1.28 ^c	344.9±4.12 ^a	345.2±3.05 ^{bc}	355.0±6.03 ^d
48	273.1±4.25 ^d	303.7±0.53 ^c	308.3±5.45 ^d	334.2±2.62 ^b	410.4±15.8 ^a	356.1±2.65 ^d
60	274.9±3.99 ^d	283.4±3.13 ^e	302.8±3.44 ^d	315.5±4.98 ^c	234.2±2.50 ^e	371.6±3.61 ^c
72	272.6±5.05 ^d	299.7±1.02 ^{cd}	284.9±2.87 ^e	330.8±2.66 ^b	177.3±1.38 ^f	444.0±9.06 ^a
84	260.6±1.34 ^e	273.5±0.69 ^f	347.4±6.76 ^a	308.9±4.15 ^c	155.0±3.03 ^g	426.0±1.05 ^b
96	203.8±2.77 ^g	258.8±0.97 ^g	250.0±4.18 ^f	267.6±6.31 ^e	160.8±7.88 ^g	337.8±5.85 ^e

¹⁾Each value is mean±SD (n=3).

²⁾Values with different superscripts are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

발아잡곡 메탄올 추출물의 항산화성분 함량

발아시간에 따른 잡곡류 메탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과 Fig. 2(A)와 같이 전반적으로 조와 기장 각각 두 품종과 흰찰수수는 증가하는 경향을 보였으며, 황금찰수수는 초반에 급격히 감소하다가 발아가 진행되면서 증가하는 경향을 보였다. Woo 등(28)의 보고에 의하면 황금찰수수의 항산화성분인 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등은 껍질층에 다량 존재하는 것으로 보고하였는데 발아과정에서 살수에 의해 수용성 성분들이 씻겨 나가기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 이유로 황금찰수수를 이용한 발아잡곡의 제조는 살수를 하는 공정이 없는 방법을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 황금조 및 청차조의 총 폴리페놀

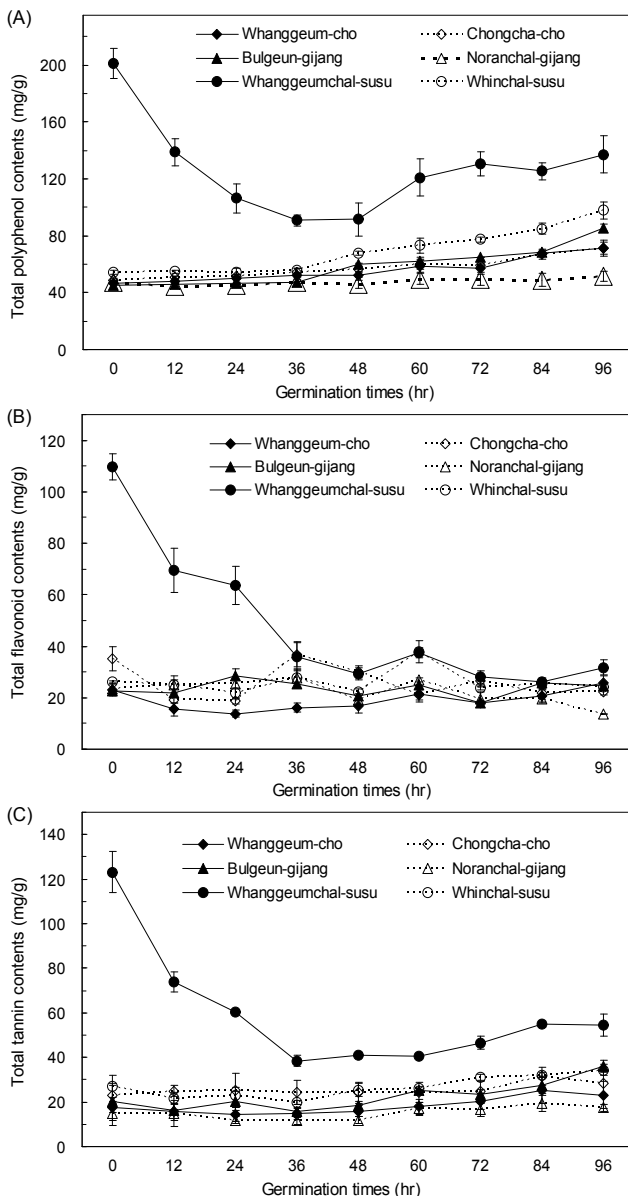


Fig. 2. Total polyphenol (A), flavonoid (B) and tannin (C) contents of methanolic extract from foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times.

함량은 무발아 시료에서 각각 46.83 및 48.80 mg/g의 함량을 보였으며, 96시간 발아시킨 시료에서 각각 71.19 및 71.20 mg/g으로 가장 증가하는 경향을 보였다. 붉은기장과 노란찰기장은 무발아 시료에서 각각 45.47 및 45.50 mg/g의 함량을 보였으며, 96시간 발아시킨 시료에서 각각 85.57 및 51.77 mg/g으로 가장 높은 함량을 보였다. 황금찰수수는 무발아 시료 및 96시간 발아시킨 시료에서 각각 201.00 및 137.17 mg/g을 보였으며, 흰찰수수는 각각 54.23 및 97.90 mg/g으로 나타났다. 발아시간에 따른 잡곡류의 총 플라보노이드 함량을 분석한 결과 Fig. 2(B)와 같이 나타났다. 황금조 및 청차조의 총 플라보노이드 함량은 무발아 시료에서 각각 23.03 및 35.08 mg/g의 함량을 보였으며, 황금조는 96시간 발아시료에서 25.78 mg/g, 청차조는 36시간 발아시료에서 36.74 mg/g으로 가장 증가하는 경향을 보였다. 붉은기장과 노란찰기장은 무발아 시료에서 각각 22.84 및 23.53 mg/g의 함량을 보였으며, 붉은기장은 24시간 발아시료에서 28.63 mg/g, 노란찰기장은 36시간 발아시료에서 27.54 mg/g으로 가장 높은 함량을 보였다. 황금찰수수와 흰찰수수는 무발아 시료가 각각 109.75 및 26.03 mg/g의 함량을 보였고 황금찰수수의 발아시료는 대체적으로 감소하는 경향을 보였고 흰찰수수는 60시간 발아시료에서 37.90 mg/g의 높은 함량을 나타내었다. 발아시간에 따른 잡곡류의 총 탄닌 함량을 분석한 결과 Fig. 2(C)와 같이 황금조 및 청차조 무발아 시료에서 각각 17.39 및 23.08 mg/g의 함량을 보였으며, 84시간 발아시킨 시료에서 각각 25.33 및 31.46 mg/g으로 가장 높은 함량을 보였다. 붉은기장과 노란찰기장은 무발아 시료에서 각각 20.05 및 14.86 mg/g의 함량을 보였으며, 붉은기장은 96시간 발아시료에서 36.17 mg/g, 노란찰기장은 84시간 발아시료가 19.25 mg/g으로 가장 높은 함량을 보였다. 황금찰수수와 흰찰수수는 무발아 시료가 각각 123.16 및 27.05 mg/g의 함량을 보였고 황금찰수수의 발아시료는 대체적으로 감소하는 경향을 보였고 흰찰수수는 96시간 발아시료에서 34.44 mg/g의 높은 함량을 나타내었다. 따라서 이와 같이 곡류를 발아할 때 폴리페놀화합물의 함량변화는 곡류의 종류 따라 다소 차이가 있음을 알 수 있었으며, 다른 보고에서도 이와 유사한 연구결과를 나타낸 바가 있다. 페놀성 화합물은 식물계에 널리 분포되어 있는 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지며 페놀성 화합물의 phenolic hydroxyl기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있으며(29), 곡류에 함유되어 있는 polyphenolic 화합물들은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(30).

발아잡곡 메탄올 추출물의 항산화활성

Ascorbic acid, tocopherol, polyhydroxy 방향족화합물, 방향족 아민 등에 의해서 환원되어 짙은 자색이 탈색됨으로써 항산화성분의 전자공여능을 측정할 때 사용되고 있는 DPPH radical 소거활성법(31)을 이용하여 발아시간에 따른

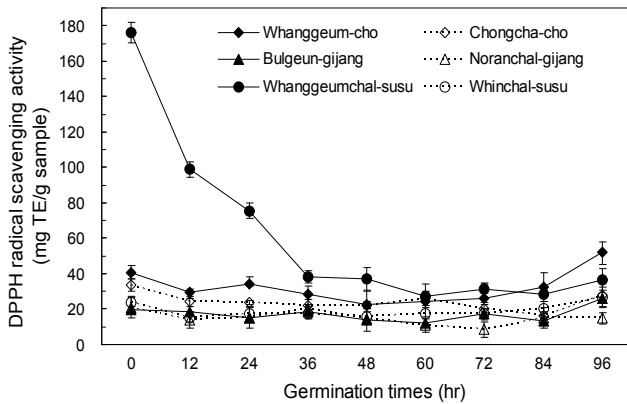


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity of methanolic extract from foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times.

잡곡류 메탄올 추출물의 항산화활성을 표준물질인 Trolox 와 비교하여 mg TE/g sample로 나타낸 결과 Fig. 3과 같이

나타났다. 천연물의 항산화활성은 활성 radical에 전자를 공여하고 식품 중의 지방산화를 억제하는 특성을 가지고 있고 인체 내에서는 활성 radical에 의한 노화를 억제시키는 역할을 하고 있으며, radical 소거작용은 인체의 질병과 노화를 방지하는데 대단히 중요한 역할을 한다(32). 황금조 및 청차조 무발아 시료의 DPPH radical 소거활성은 각각 40.29 및 33.39 mg TE/g의 활성을 보였으며, 발아시료의 경우 96시간 발아시료에서 각각 51.96 및 27.98 mg TE/g으로 가장 높은 활성을 보여 황금조는 발아시간이 경과함에 따라 약간 증가하였으나 청차조는 감소하는 경향을 보였다. 붉은기장과 노란찰기장은 무발아 시료는 각각 19.81 및 21.11 mg TE/g의 활성을 보였으며, 96시간 발아시료에서 각각 26.17 및 14.82 mg TE/g의 활성을 보여 붉은기장은 발아시간이 경과함에 따라 약간 증가하였으나 노란찰기장은 감소하는 경향을 보였다. 황금찰수수와 흰찰수수는 무발아 시료가 각각 176.03

Table 4. Correlation coefficients among sprout length, crude protein, dietary fiber, GABA, total polyphenol, flavonoid, tannin contents, and DPPH radical scavenging activity of methanolic extract from foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination times

Factor	Crude protein	Dietary fiber	GABA	Polyphenol	Flavonoid	Tannin	DPPH
Foxtail millet							
Sprout length	0.0162	0.9538***	-0.6279***	0.9579***	0.0614	0.5277*	0.1370
Crude protein	1.0000	-0.0578	-0.1236	-0.0057	-0.1982	-0.4261	-0.2535
Dietary fiber	-	1.0000	-0.6563**	0.9668***	0.1750	0.6382**	0.2176
GABA	-	-	1.0000	-0.5684*	-0.2842	-0.1884	-0.5002*
Polyphenol	-	-	-	1.0000	0.1130	0.6244**	0.1010
Flavonoid	-	-	-	-	1.0000	0.4419	0.0057
Tannin	-	-	-	-	-	1.0000	-0.2804
DPPH	-	-	-	-	-	-	1.0000
Proso millet							
Sprout length	0.2680	0.3807	-0.5520*	0.6224**	-0.4717*	0.5720*	-0.0586
Crude protein	1.0000	0.7278***	-0.3101	0.6255**	-0.0233	0.5865*	0.0923
Dietary fiber	-	1.0000	-0.4060	0.8651***	0.0801	0.8854***	0.3605
GABA	-	-	1.0000	-0.5773*	0.3838	-0.5293*	-0.3845
Polyphenol	-	-	-	1.0000	-0.0141	0.9003***	0.3215
Flavonoid	-	-	-	-	1.0000	0.0733	0.1499
Tannin	-	-	-	-	-	1.0000	0.3058
DPPH	-	-	-	-	-	-	1.0000
Sorghum							
Sprout length	0.5816*	0.8285***	-0.4952*	0.2943	-0.3557	-0.0213	-0.2907
Crude protein	1.0000	0.1572	-0.4649*	0.2147	-0.2832	-0.0134	-0.2088
Dietary fiber	-	1.0000	-0.3787	0.0304	-0.4275	-0.1923	-0.3939
GABA	-	-	1.0000	-0.3235	0.0844	-0.1416	0.0443
Polyphenol	-	-	-	1.0000	0.7508***	0.9272***	0.8014***
Flavonoid	-	-	-	-	1.0000	0.9097***	0.9749***
Tannin	-	-	-	-	-	1.0000	0.9554***
DPPH	-	-	-	-	-	-	1.0000
Total							
Sprout length	0.1574	0.6780***	-0.4517***	0.3828**	-0.1650	0.1766	-0.1277
Crude protein	1.0000	-0.3303*	-0.0093	-0.1416	-0.1987	-0.2054	-0.3060*
Dietary fiber	-	1.0000	-0.3977**	0.3669**	-0.0313	0.2353	0.0219
GABA	-	-	1.0000	-0.1971	0.1062	-0.0823	-0.0123
Polyphenol	-	-	-	1.0000	0.7518***	0.9438***	0.7506***
Flavonoid	-	-	-	-	1.0000	0.8744***	0.8920***
Tannin	-	-	-	-	-	1.0000	0.8681***
DPPH	-	-	-	-	-	-	1.0000

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

및 23.83 mg TE/g의 활성을 보였으며, 황금찰수수의 발아시료는 대체적으로 감소하는 경향을 보였고 흰찰수수는 96시간 발아시료에서 26.91 mg TE/g의 무발아 시료보다 높은 활성을 나타내었다. DPPH radical 소거활성은 페놀류나 플라보노이드 물질에 기인하여 항산화 활성을 나타내는 것으로 볼 때(33), 종피색이 붉은색인 무발아 황금찰수수가 항산화활성이 높은 것도 이에 함유된 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등의 항산화성분 함량에 기인된 것으로 판단된다. 이상의 결과에서 황금찰수수를 이용한 발아잡곡의 제조는 살수를 하는 공정이 없는 방법을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각되고 조, 기장, 흰찰수수 등의 잡곡은 발아기를 이용하여 2~4 cm 정도를 발아시켜 이용할 수 있을 것으로 보이며, 이에 대한 가공적성 평가 등의 연구가 필요할 것으로 보인다.

발아시간에 따른 성분 및 항산화활성 간의 상관관계

발아시간에 따른 조, 기장, 수수의 싹 길이, 단백질, 식이섬유, GABA, 항산화성분 및 항산화활성과의 상관관계를 SAS program으로 분석한 결과 Table 4와 같이 유의성을 보이는 것으로 나타났다. 조의 경우 싹 길이와 총 식이섬유, 폴리페놀 및 탄닌 함량 간에 r 값이 각각 0.9538($p < 0.001$), 0.9579($p < 0.001$) 및 0.5277($p < 0.05$)로 정(+)양의 상관관계를 보였고 GABA 함량은 -0.6279 ($p < 0.001$)로 음의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 총 식이섬유 함량과 총 폴리페놀 함량은 0.9668($p < 0.001$)로 양의 상관관계를 보였고 GABA 함량은 -0.6563 ($p < 0.01$)로 음의 상관관계를 보였다. GABA 함량과 총 폴리페놀 함량 및 DPPH radical 소거활성 간에 r 값은 각각 -0.5684 ($p < 0.05$) 및 -0.5002 ($p < 0.05$)로 음의 상관관계를 보였다. 기장의 경우 싹 길이와 폴리페놀(0.6224, $p < 0.01$) 및 탄닌(0.5720, $p < 0.05$) 함량은 양의 상관관계를 보였고 GABA(-0.5520 , $p < 0.05$)와 플라보노이드(-0.4717 , $p < 0.05$)는 음의 상관관계를 보였다. 총 식이섬유 함량은 폴리페놀(0.8651, $p < 0.001$) 및 탄닌(0.8854, $p < 0.001$) 함량은 양의 상관관계를 보였다. 수수의 경우 싹 길이와 단백질(0.5816, $p < 0.05$) 및 식이섬유(0.8285, $p < 0.001$) 함량은 양의 상관관계를 보였고 GABA(-0.49526224 , $p < 0.05$)는 음의 상관관계를 보였다. 총 폴리페놀 함량과 플라보노이드, 탄닌, DPPH radical 소거활성 간에 r 값은 각각 0.7508($p < 0.001$), 0.9272($p < 0.001$), 0.8014($p < 0.001$)로 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 플라보노이드와 탄닌, DPPH radical 소거활성 간에 r 값은 각각 0.9097($p < 0.001$), 0.9749($p < 0.001$)로 높은 양의 상관관계를 나타냈고 탄닌과 DPPH radical 소거활성 간에도 0.9554($p < 0.001$)로 높은 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다.

요 약

발아시간에 따른 잡곡류의 싹 길이, 단백질, 식이섬유,

GABA, 항산화성분 및 항산화활성을 검토한 결과 싹 길이는 수수가 가장 빠르게 크는 것으로 나타났고 기장, 조 순으로 나타났다. 단백질 및 총 식이섬유 함량은 발아시간이 경과함에 따라 단백질 함량은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 무발아 황금조, 청차조, 붉은기장, 노란찰기장, 황금찰수수 및 흰찰수수의 총 식이섬유 함량은 각각 6.3, 7.3, 6.2, 5.2, 7.0 및 9.0 g/100 g으로 나타났으며, 96시간 발아시킨 시료는 각각 16.3, 13.9, 9.4, 6.5, 15.9 및 12.5 g/100 g으로 증가하였다. 발아시간이 증가함에 따라 GABA 함량은 일정시간 동안은 증가한 후 감소하는 경향을 보였다. 가장 높은 함량을 보인 발아시간은 조는 24시간(각각 347.4 및 336.5 $\mu\text{g/g}$), 붉은기장은 84시간(347.4 $\mu\text{g/g}$), 노란찰기장은 36시간(344.9 $\mu\text{g/g}$), 황금찰수수는 48시간(410.4 $\mu\text{g/g}$), 흰찰수수는 72시간(444.0 $\mu\text{g/g}$)으로 나타났다. 메탄올 추출물의 총 폴리페놀, 플라보노이드, 탄닌 등 항산화성분 함량은 전반적으로 조와 기장 각각 두 품종과 흰찰수수는 증가하는 경향을 보였으며, 황금찰수수는 초반에 급격히 감소하다가 발아가 진행되면서 증가하는 경향을 보였다. 황금찰수수는 무발아 시료 및 96시간 발아시킨 시료에서 각각 201.00 및 137.17 mg/g을 보였으며, 흰찰수수는 각각 54.23 및 97.90 mg/g으로 나타났다. 황금조 및 붉은기장 무발아 시료의 DPPH radical 소거활성은 각각 40.29 및 19.81 mg TE/g의 활성을 보였으며, 96시간 발아시료에서 각각 51.96 및 26.17 mg TE/g의 활성을 보였다. 황금찰수수 무발아 시료는 176.03 mg TE/g의 활성을 보였으며, 발아시료는 대체적으로 감소하는 경향을 보였다. 황금찰수수를 이용한 발아잡곡의 제조는 살수를 하는 공정이 없는 방법을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각되고 조, 기장 등의 잡곡은 발아기를 이용하여 제조하는 것이 양호할 것으로 판단된다.

문 헌

1. Kim YS, Lee GC. 2006. A survey on the consumption and satisfaction degree of the cooked rice mixed with multi-grain in Seoul, Kyeonggi and Kangwon area. *Korean J Food Cult* 21: 661-669.
2. Ha YD, Lee SP. 2001. Characteristics of proteins in Italian millet, sorghum and common millet. *Korean J Postharvest Sci Technol* 8: 187-192.
3. Chae KY, Hong JS. 2006. Quality characteristics of Sulgiduk with different amounts of waxy sorghum flour. *Korean J Food Cookery Sci* 22: 363-369.
4. Kim KO, Kim HS, Ryu HS. 2006. Effect of *Sorghum bicolor* L. Moench (sorghum, su-su) water extracts on mouse immune cell activation. *J Korean Diet Assoc* 12: 82-88.
5. Bartnick M, Szafranska J. 1987. Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *J Cereal Sci* 5: 23-28.
6. Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. 2007. Changes in the chemical and functional components of Korean rough rice before and after germination. *Food Sci Biotechnol* 16: 1006-1010.
7. Lee MH, Son HS, Choi OK, Oh SK, Kwon TB. 1994. Changes

- in physico-chemical properties and mineral contents during buckwheat germination. *Korean J Food Nutr* 7: 267-273.
8. Cho BM, Yoon SK, Kim WJ. 1985. Changes in amino acid and fatty acids composition during germination of rapeseed. *Korean J Food Sci Technol* 17: 371-376.
 9. Choi KS, Kim ZU. 1985. Changes in lipid components during germination of mungbean. *Korean J Food Sci Technol* 17: 271-275.
 10. Colmenares de Ruiz AS, Bressani R. 1990. Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal Chem* 67: 519-522.
 11. Kim IS, Kwon TB, Oh SK. 1985. Study on the chemical change of general composition fatty acids and mineral contents during germination. *Korean J Food Sci Technol* 17: 371-376.
 12. Hsu D, Leung HK, Finney PL, Morad MM. 1980. Effect of germination on nutritive value and baking properties of dry peas, lentils and faba beans. *J Food Sci* 45: 87-91.
 13. Ikeda K, Arioka K, Fujii S, Kusano T, Oku M. 1984. Effect on buck-wheat protein quality of seed germination and changes in trypsin inhibitor content. *Cereal Chem* 61: 236-240.
 14. Kang BR, Park MJ, Lee HS. 2006. Germination dependency of antioxidative activities in brown rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 389-394.
 15. Choi HD, Kim YS, Choi IW, Seog HM, Park YD. 2006. Anti-obesity and cholesterol-lowering effects of germinated brown rice in rats fed with high fat and cholesterol diets. *Korean J Food Sci Technol* 38: 674-678.
 16. Kim HY, Hwang IG, Joung EM, Kim TM, Kim DJ, Park DS, JS Lee, Jeong HS. 2010. Antiproliferation effects of germinated-Korean rough rice extract on human cancer cells. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 325-330.
 17. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agr Food Chem* 50: 4959-4964.
 18. Duval B, Shetty K. 2001. The stimulation of phenolics and antioxidant activity in pea (*Pisum sativum*) elicited by genetically transformed anise root extract. *J Food Biochem* 25: 361-377.
 19. Zhang G, Bown AW. 1996. The rapid determination of γ -aminobutyric acid. *Phytochemistry* 44: 1007-1009.
 20. Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99: 381-387.
 21. Lee HK, Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee J, Jeong HS. 2010. Physicochemical characteristic and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1399-1404.
 22. Kim HY, Hwang IG, Woo KS, Kim KH, Kim KJ, Lee CK, Lee J, Jeong HS. 2010. Chemical components changes of winter cereal crops with germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1700-1704.
 23. Kim IS, Kwon TB, Oh SK. 1988. Study on chemical change of general composition, fatty acids and minerals of rapeseed during germination. *Korean J Food Sci Technol* 20: 188-193.
 24. Park JD, Choi BK, Kum JS, Lee HY. 2005. Quality properties of cooked germination-brown rice. *J Korean Food Preserv* 12: 101-106.
 25. Lee CH, Oh SH, Yang EJ, Kim YS. 2006. Effects of raw, cooked, and germination small black soybean powders on dietary fiber content and gastrointestinal functions. *Food Sci Biotechnol* 15: 635-638.
 26. Jeon G, Lee MY, Yoon J, Jang S, Jung M, Jeong HS, Lee J. 2010. Effects of heat treatment and selected medicinal plant extracts on GABA content after germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 154-158.
 27. Kinnnersley AM, Turano FJ. 2000. Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. *Crit Rev Plant Sci* 19: 479-509.
 28. Woo KS, Seo MC, Kang JR, Ko JY, Song SB, Lee JS, Oh BG, Park GD, Lee YH, Nam MH, Jeong HS. 2010. Antioxidant compounds and antioxidant activities of the methanolic extracts from milling fractions of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1695-1699.
 29. Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Sci* 2: 152-159.
 30. Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48: 115-119.
 31. Nieva MM, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71: 109-114.
 32. Kim SM, Cho YS, Sung SK. 2001. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 33: 626-632.
 33. Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Technol* 28: 624-630.

(2011년 6월 20일 접수; 2011년 8월 1일 채택)