

노화가속화 조건에서 저장 기간에 따른 귀리의 기능성 성분 및 항산화 활성 변화

손유림¹ · 이지혜¹ · 박형호² · 이병원¹ · 김현주¹ · 한상익¹ · 우관식¹ · 이병규¹ · 이상철³ · 이유영^{1,†}

Changes in Functional Compounds and Antioxidant Activities in Storage Duration with Accelerated Age-Conditioning of Oats

Yu Rim Son¹, Ji Hae Lee¹, Hyoung-Ho Park², Byong Won Lee¹, Hyun-Joo Kim¹, Sang-Ik Han¹, Koan Sik Woo¹, Byoung-kyu Lee¹, Sang-Chul Lee³, and Yu Young Lee^{1,†}

ABSTRACT In this study, we investigated the changes in physicochemical properties, antioxidant activities, and contents of functional compounds, such as avenanthramides (AVNs), vitamin E, and β -glucan, in oats by accelerated age-conditioning (temperature: 45°C, relative humidity: 20%). No significant differences were observed in crude protein, crude fat, and AVNs contents of three oat cultivars, up to 63 days of storage; however, their antioxidant activities, as well as β -glucan, vitamin E, and fatty acid contents were significantly different ($p < 0.05$). β -glucan and fatty acid contents and the antioxidant activities of Deayang (DY) cultivar did not change during storage. β -glucan and unsaturated fatty acid contents of Choyang (CY) and Jopung (JP) increased during the storage period, while antioxidant activities did not (DPPH-CY; 48.1 to 26.9 mg TEAC/100 g, JP; 49.4 to 26.7 mg TEAC/100 g. ABTS-CY; 88.4 to 56.3 mg TEAC/100 g, JP; 80.0 to 55.8 mg TEAC/100 g). The total vitamin E content in DY (1.20 to 0.85 mg/100 g) and CY (1.73 to 1.33 mg/100 g) decreased, but it was maintained in JP. This study indicated that the changes in physicochemical properties and functional compounds of oat grains during storage depends on the cultivars. The result showed that DY, which has the highest AVNs content, has more stable functional compounds and antioxidant activities during storage. These results can serve as essential data for post-harvest management and development of functional food materials for extending the use of oats.

Keywords : avenanthramide, accelerated age-conditioning, antioxidant activity, oats, storage

곡물은 저장 중 호흡작용에 의해 각종 효소 활성 및 이화학적 특성 변화 등으로 수확 후 품질변이가 발생할 수 있다(Kim *et al.*, 2014; Shin *et al.*, 2017). 곡물의 주요 구성 성분 중 지질은 곡물의 저장 및 가공 과정에서 가장 먼저 변화가 일어난다(Zhoua *et al.*, 1999). 지질은 저장 중 산소와 접촉하여 산화되거나, 가수분해나 곰팡이에 의해 생성된 리파아제로 인해 유리지방산으로 분해되는데, 이와 같은 지질 산화물은 헥사날(hexanal)과 같은 카르보닐 화합물을 형성하여 풍미를 변화시키거나 쓴 맛을 내고, 산도를 낮춰 품질을 저하시킨다(Kwak *et al.*, 2015; Zhoua *et al.*, 1999). 또한 저장고내의 온도나 습도가 높으면, 호흡에 의한 양적, 질적 손실이 발생하고 화학적 변화가 일어나

며 저곡해충과 미생물 발생이 조장되기 때문에 온·습도의 변화가 높은 저장 조건은 곡물의 품질유지에 악영향을 미친다(Choi *et al.*, 2006; Son *et al.*, 1999). 따라서 수확한 생산물의 저장 및 관리 기술은 곡물의 질적 손실을 방지하는 중요한 역할을 한다.

귀리(*Avena sativa L.*)는 벼과 작물로, 탈곡 특성에 따라 걸쭉질이 쉽게 제거되는 쌀귀리와 탈곡을 하여도 걸쭉질이 종실에 붙어있는 걸귀리로 나뉜다. 다른 곡물에 비해 지질과 단백질의 함량이 높다고 알려져 있으며, 지질 내에서도 불포화지방산의 비율이 79~83%로 높게 차지하고 있다(Jeong *et al.*, 2014; Vilmane *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2016). 또한 귀리는 다양한 기능성 성분을 함유하고 있으며 그 중 2~6%를 차지하고

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부(Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 16429, Republic of Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 기술지원과(Headquarters, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju, 55365, Republic of Korea)

³경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부(School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Yu Young Lee; (Phone) +82-31-695-0621; (E-mail) leeyy260@korea.kr

<Received 22 February, 2018; Revised 2 April, 2018; Accepted 15 May, 2018>

있는 베타글루칸은 혈중 콜레스테롤을 낮추고 당류 소화흡수를 저해시켜 당뇨병을 예방하는 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 보고되어 있다(Lee *et al.*, 2016). 비타민 E는 4가지 토코페롤 이성체(α -, β -, γ -, δ -tocopherol)와 4가지 토코트리엔올 이성체(α -, β -, γ -, δ -tocotrienol)로 구성되어 있다. 그 중 알파-토코트리엔올은 대표적 항산화 물질인 알파-토코페롤에 비해 항산화 능력이 40~60배 뛰어나며, 혈중 콜레스테롤 저하, 항염증, 인체 중앙세포 억제 기능을 가지고 있다(Aggarwal *et al.*, 2010; Serbinova *et al.*, 1991; Theriault *et al.*, 1999). 귀리는 이러한 알파-토코트리엔올이 많이 함유되어 있으며, 필수아미노산과 미네랄이 풍부하여 기능성 곡물로서 가치가 높다고 알려져 있다(Vilmane *et al.*, 2015; Brindzova *et al.*, 2008). 또한 곡물 중 귀리에 특이적으로 존재한다고 알려진 아벤안쓰라마이드(Avenanthramides, AVNs)는 폴리페놀류 화합물로, 다른 페놀 화합물보다 최대 30 배의 높은 항산화 활성을 보이는 것으로 보고되어 있다(Emmons & Peterson., 1999). 뿐만 아니라 동맥 혈관에 콜레스테롤 등 혈액 세포가 붙을 때 관여하는 점착성 물질들의 생성을 억제해 혈관이 좁아지는 것을 예방하고, 항염증 및 가려움증 완화에 효과적인 것으로 알려져 최근 새롭게 주목받고 있다(Karlberg, 2010).

일반적으로 가을에 파종한 귀리는 봄에 수확하여 가공되기까지 2-3달이 소요되는 경우가 많아, 수확 후 귀리의 성분이 변하지 않는 안정적인 저장 조건을 찾는 것이 매우 중요하다. 저장 환경을 조절하여 짧은 시간 내에 노화 변화를 유도하여 자연적으로 노화된 것과 유사한 특성을 가진 곡물을 얻는 과정을 가속 노화라고 하는데(Lee, 2012), 저장 환경 중 온도와 상대 습도는 저장 중 종자 수명에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다. 본 연구에서는 기능성 식품 원료로서 활용을 위해 국내 육성 세 가지 귀리 품종(대양, 조양, 조풍)을 대상으로 온도와 습도를 제어한 노화가속화 조건에서 저장하였을 때, 기능성 성분과 항산화 활성의 변화를 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 재료 및 저장 조건

본 연구에서는 쌀귀리 대양, 조양 품종과 걸귀리 조풍을 시료로 사용하였으며, 이 시료는 2016년도 수원에서 추파 재배(2015년 10월 파종, 2016년 6월 수확) 되었다. 귀리는 온도 4.5℃, 습도(Relative humidity, RH) 20% 로 제어된 노화가속화 조건으로 인큐베이터(DS-14 CLHP, Dasol Scientific, Korea)에서 9주(63일) 동안 저장하였다. 시료는 3주마다 수집하여 동결건조(Lyoph pride LP-10, ILSINBIODASE, Korea) 후 Automill(TK-AM5-B, Tokken Inc, Japan)을 이용해 1,100 rpm으로

200초 동안 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 -20℃에 보관하면서 분석에 사용하였다.

조단백질 및 조지방 함량

조단백질 함량은 Micro-Kjeldahl법을 참고하여 측정하였다(NICS, 2009). 분쇄 시료 0.5 g을 단백질 분해관에 넣고 황산 10 mL과 촉매제를 넣어 분해기(Tecator™ Digestor auto, Foss, Denmark)를 이용해 420℃에서 1 시간 동안 분해하였다. 상온에서 충분히 냉각시킨 후 단백질 분석기(Vapodest® 50s, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Germany)를 이용하여 조단백질 함량을 측정하였다.

조지방 함량은 Soxtherm automatic system (Soxtherm® sox416, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Germany)을 이용하여 정량하였다(AOAC, 1990). 분쇄 시료 2 g을 extraction thimble에 담아 탈지면으로 막고 비등석과 n-hexane 140 mL을 첨가하여 187℃에서 30 분간 가열하고, 1 시간 동안 추출하였다. 지방 추출 후 수기를 105℃에서 1 시간 동안 건조 후 방냉 시킨 뒤 무게를 측정하여 함량을 구하였다.

지방산 조성분석

분쇄시료 0.3 g에 methanol : toluene : 2,2-dimethoxypropane : sulfuric acid (39:20:5:2, v/v)로 제조된 지방산 시약 3.3 mL을 가하고 1.7 mL의 heptane을 가하여 65℃에서 20분간 가열하였다. 가열 후 상온에서 10분간 냉각시켜 fatty acid methyl esters (FAMES)가 함유된 상등액을 magnesium sulfate에 통과시켜 수분을 제거한 뒤 분석하였다. 분석에 사용된 gas chromatography (GC, HP 6890 system, FID, Agilent, USA) 조건은 초기 온도 150℃, 최종 온도 280℃로 분당 4℃ 증가하도록 설정하였고 injector 온도는 250℃, detector 온도 300℃로 유지하였다. 컬럼은 HP-Innowax capillary (0.25 μ m i.d. \times 30 m, Agilent, USA)를 사용하였다.

베타글루칸 함량 분석

베타글루칸 함량은 mixed linkage beta glucan kit (Megazyme, Ireland)를 사용하여 분석하였다. 분쇄 시료 0.1 g에 50% ethanol 0.2 mL과 20 mM sodium phosphate buffer (pH 6.5) 4 mL을 넣은 후 100℃ 항온수조에서 3분간 반응 시킨 후 50℃ 항온수조에서 5분간 냉각시켰다. 0.2 mL Lichenase를 넣고 50℃ 항온수조에서 1 시간 반응시킨 후 냉각시킨 후, 200 mM sodium acetate buffer (pH4.0) 5 mL을 가하였다. 10분간 10,000 rpm으로 원심분리 시킨 뒤 얻은 상등액 0.1 mL에 β -glucosidase 0.1 mL을 넣고 혼합한 뒤, 3 mL glucode oxidase/peroxidase reagent를 넣고 다시 50℃ 항온수조에서 20분간 반응시킨 후 냉각

시켜 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. Standard는 D-glucose (1.0 mg/mL, in 0.2% benzoic acid, w/v)를 사용하였다.

아베난쓰라마이드 추출 및 분석

아베난쓰라마이드는 Chu *et al.* (2013) 방법을 변형하여 추출하였다. 분쇄 시료 1 g에 0.01 M phosphate buffer (pH 2.8)를 이용해 만든 80% ethanol을 10 mL 넣고 37°C에서 빠르게 교반시켜 17시간 동안 3회 추출하였다. 추출물은 Whatman NO.2 여과지(Whatman International Limited, Kent, UK)를 이용해 여과 한 후 병렬증발농축기(Syncore Analyst, Buchi, Switzerland)로 용매를 완전히 증발시키고 80% ethanol 2 mL로 재용해하여 분석하였다. Ultra performance liquid chromatography (Acquity UPLC core system, PDA eλ Detector, Waters, USA)를 이용하여 유속 0.6 mL/min으로 분석하였으며, 340 nm에서 결과를 확인하였다. 이동상 A는 0.01 M phosphate buffer (pH 2.8), B는 acetonitrile을 사용하여 B 용매 15%에서 80%까지 기울기를 주었고, 컬럼은 Acquity UPLC® HSS C18 (2.1x100 mm, 1.8 μm, Waters)을 사용하였다.

토코페롤, 토코트리에놀 추출 및 분석

토코페롤과 토코트리에놀의 추출은 Lee *et al.*, (2012)를 참고하였다. 분쇄 시료 2 g에 6% propyl gallate가 포함된 ethanol 용액 10 mL을 넣고 5분 동안 sonication 시킨 후 60% potassium hydroxide 10 mL을 넣고 70°C 항온수조에서 50분 동안 반응시켰다. 얼음에서 냉각시킨 뒤 2% sodium chloride 30 mL을 넣고 잘 섞어준 다음 0.01% butylated hydroxytoluene이 포함된 혼합용액(Hexane:Ethyl acetate=85:15, v/v) 20 mL 넣고 흔들여 준 뒤 상등액을 magnesium sulfate에 여과시켜 주는 과정을 3회 반복하여 추출하였다. 추출물은 50 mL 용량플라스크에 정용한 뒤 5 mL을 질소가스로 농축하여 HPLC 이동상 1 mL로 재용해하여 분석하였다. HPLC (515pump, 2475 Fluorescence Detector, 717 Autosampler, Waters)는 등용매 조건으로 유속 1.5 mL/min으로 분석하였으며, 형광 검출기의 excitation wavelength는 290 nm, emission wavelength는 330 nm로 설정하였다. 이동상은 n-hexane : Isopropanol (99:1, v/v), 컬럼은 Lichrospher® 100 Diol (4.6 X 250 mm, 5 μm, Hibar, Merck, Germany)을 사용하였다.

항산화 활성 분석

항산화 활성 측정을 위한 methanol 추출물은 분쇄 시료 5 g에 80 mL의 methanol을 가한 뒤, 25°C에서 16시간 교반하여 추출하였다. 추출물은 Whatman NO.2 여과지(Whatman International Limited, Kent, UK)에 여과 한 뒤, 병렬증발농축기(Syncore

Analyst, Buchi, Switzerland)로 증발시켜 추출 수율을 측정하고 다시 methanol로 재용해하여 사용하였다. 추출물은 질소 충전 후 -20°C에 보관하였다.

1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 제거능은 희석한 메탄올 추출물 50 μL에 0.2 mM DPPH 용액 1 mL를 가한 뒤, 상온에서 30분간 반응시켜 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) 라디칼 제거능은 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulfate를 암소에 보관하여 ABTS 라디칼을 형성시킨 뒤 734 nm에서 흡광도 값이 1.0 이 되도록 증류수로 희석한 용액을 사용하였다. 메탄올 추출물 30 μL에 희석된 ABTS 용액 1 mL를 가한 뒤, 상온에서 60분간 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 0~300 ppm의 농도로 Trolox를 이용하여 작성하였고, 실험 결과는 Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)로 환산하여 mg/100 g 으로 표현하였다.

통계 분석

실험 결과는 평균±표준오차로 표시하였다. 통계분석은 SPSS 프로그램(Version 18.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였고, 처리 평균간 비교를 위해 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan의 다중 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

조단백질 및 조지방 함량 분석

귀리는 라이신 함량이 높고 프롤라민 함량이 낮아 다른 곡물에 비해 단백질의 품질이 좋은 것으로 알려져 있으며, 높은 불포화지방산 비율로 인해 좋은 에너지 공급원이 된다(Kaur *et al.*, 2016). 노화가속화 조건에서 국내 육성 귀리 세 품종의 함량의 변화를 분석한 결과, 단백질 함량은 대양 15.36~15.87%, 조종 13.13~13.34% 조양 10.51~11.07% 순으로 나타났고, 조지방은 조양 10.79~12.30%, 조종 7.71~9.32%, 대양 7.24~8.28%의 함량을 가지고 있는 것으로 나타났다(Table 1). 대양은 단백질 함량이 높고 지방 함량이 낮은 반면, 조양은 지방 함량이 높고 단백질 함량이 낮은 것으로 나타나 귀리 품종 간에 차이를 보였다. 그러나 본 연구에서 설정한 노화가속화 조건에서 저장 기간 동안 단백질과 지방 함량의 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 벼 종실의 장기 저장에 관한 Lee *et al.*, (1993)의 연구에 따르면 곡물의 단백질 함량과 지방산가는 저장 4개월 후부터 급격하게 변화한다고 보고하고 있기 때문에, 9주 동안의 저장기간은 귀리의 단백질과 지방함량에 큰 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

Table 1. Crude protein and fat contents according to oat cultivars and storage duration.

Content (%)		Crude protein			Crude fat		
Cultivar ¹⁾		DY	CY	JP	DY	CY	JP
Storage (days)	0	15.37±0.10 ^b	10.51±0.12 ^c	13.13±0.11 ^b	7.99±0.04 ^a	10.79±0.15 ^c	8.28±0.03 ^b
	21	15.87±0.26 ^a	10.82±0.02 ^b	13.27±0.06 ^a	7.97±0.12 ^a	12.30±0.18 ^a	9.32±0.08 ^a
	42	15.87±0.06 ^a	10.80±0.06 ^b	13.30±0.01 ^a	7.24±0.05 ^b	12.12±0.35 ^a	9.32±0.06 ^a
	63	15.36±0.18 ^b	11.07±0.05 ^a	13.34±0.03 ^a	8.28±0.27 ^a	11.28±0.11 ^b	7.71±0.11 ^c

¹⁾Cultivars: DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung.

²⁾Different letters indicate a statistically significant(p < 0.05) difference between storage periods in the same cultivar.

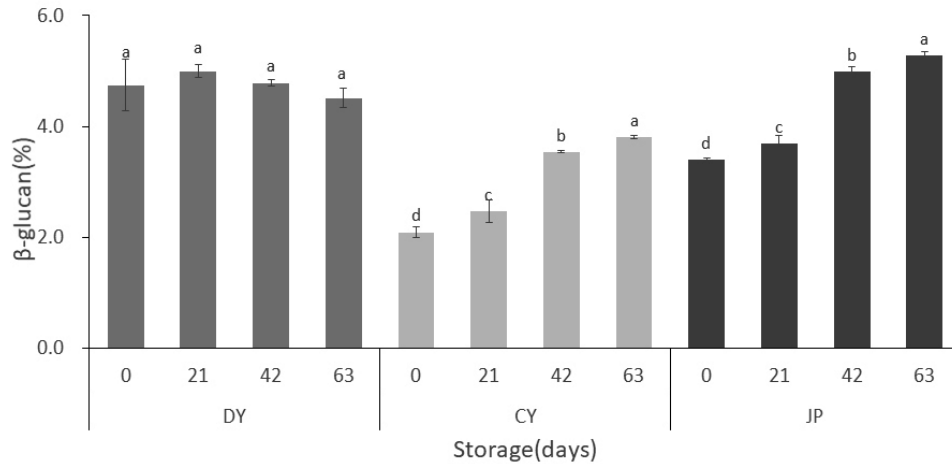


Fig. 1. Comparison of β-glucan content according to oat cultivars and storage duration. ¹⁾DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung.

²⁾Different letters indicate a statistically significant(p < 0.05) difference between storage periods in the same cultivar.

베타글루칸 함량

귀리의 베타글루칸 함량을 분석 한 결과, 대양은 큰 변화 없이 저장기간 동안 함량을 유지하였지만, 조양(2.09%에서 3.81%)과 조풍(3.39%에서 5.27%)은 저장기간이 길어질수록 약간 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1). Lorraine L. Niba(2003)의 연구 결과에 의하면 베타글루칸은 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문에, 저장 시 발생하는 곡물의 물리·화학적 변화는 베타글루칸의 가용성 및 용해도를 증가시킬 수 있어 베타글루칸의 함량이 증가한다는 연구결과를 보고한바 있다. 또한 보리는 고온 조건에서 베타글루칸이 분해되기 때문에 볶음처리와 같은 건조 열처리는 용해되는 베타글루칸의 양을 늘려 전체 함량을 증가시킬 수 있다고 한다(Zhang *et al.*, 1998; Wallwork *et al.*, 1998). 따라서 베타글루칸은 귀리 품종의 고유 특성과 온도 등 환경요인에 의해 영향을 받는 성분으로 저장 조건에 따라 변화할 수 있을 것으로 생각된다.

아베난쓰라마이드 및 비타민 E 함량 분석

아베난쓰라마이드류는 약 20여 가지가 알려져 있지만 그 중

A, B, C가 가장 대표적인 성분이다(Meydani, M., 2009; Bratt *et al.*, 2003). 국내에서 육성된 쌀귀리 5 품종(선양, 대양, 조양, 수양 및 중모 2005)과 걸귀리 4 품종(삼한, 동한, 하이스피드 및 조풍)의 아베난쓰라마이드 함량을 분석 한 결과 걸귀리보다 쌀귀리에서 아베난쓰라마이드를 다량 함유하고 있는 것으로 나타났다(Fig. S1). 본 연구에서는 탈곡 특성이 다르고, 아베난쓰라마이드 함량이 차이가 났던 쌀귀리 2 품종(대양, 조양)과 걸귀리 1 품종(조풍)을 대상으로 노화 가속화 조건에서 저장기간에 따른 아베난쓰라마이드 함량을 분석하였을 때, 대양을 제외한 총 아베난쓰라마이드 함량은 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 따라서 귀리의 아베난쓰라마이드는 노화가속화 조건에서 큰 변화 없이 유지되어 저장 기간에도 항산화 활성을 유지하는데 기여 하는 것으로 예상된다. 귀리 품종의 아베난쓰라마이드 함량은 대양(170.6 μg/g)이 조양(8.5 μg/g)과 조풍(8.6 μg/g)에 비해 총 아베난쓰라마이드가 매우 많은 것으로 나타났다. 특히 아베난쓰라마이드 C는 아베난쓰라마이드 중에서도 가장 높은 항산화활성을 보이는 것으로 알려져 있는데(Emmons & Peterson, 1999; Meydani, M., 2009), 대양은

아베난쓰라마이드 C의 함량이 A와 B에 비해 높았으며, 조양과 조풍은 Fig. S1과 비슷한 수준으로 나타났다. 아베난쓰라마이드는 생육 중 이삭의 등숙기에 따라 합성과 출현에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Peterson & Dimberg, 2008). 위 연구에 따르면 아베난쓰라마이드는 출수 직후 A와 B가 먼저 활성이 되고, C는 출수 후 21~22일이 지난 뒤 활성이 나타나 수확 전까지 농도가 증가하는 것으로 보고되었다. 노화가속화 조건에서 대양 품종은 아베난쓰라마이드 C의 함량이 가장 많았으며, C는 이삭의 등숙 정도에 영향을 많이 받는 것으로 보아, 저장기간 동안에 총 아베난쓰라마이드 함량에 유의성을 나타낸 것은(Table. 2) 본 연구에 사용된 귀리의 등숙률이 일정하지 않아 같은 시료에서 약간의 변이가 나타나는 것으로 추측된다.

비타민 E는 토코페롤과 토코트리에놀에 의해 활성화되는데, 세포막에서 지질의 과산화 작용을 억제하여 항산화 활성을 나타낸다고 알려져 있다(Qureshi *et al.*, 2000). 귀리 세 품종의 토코페롤과 토코트리에놀을 분석한 결과, 알파-토코페롤, 베타-토코페롤, 알파-토코트리에놀, 베타-토코트리에놀 등이 주로 함유된 것으로 나타났다. 이 중 알파-토코페롤과 알파-토코트리에놀은 지질이 정제될 때 변하지 않는 가장 안정적인 항산화 성분이라고 알려져 있는데(Sterna *et al.*, 2016), 모든 품종(대양: 88.8 ~ 89.7%, 조양: 84.0 ~ 88.0%, 조풍: 87.9 ~ 88.8%)에서 알파-토코페롤과 알파-토코트리에놀의 비율이 높았다. 저장기간 중 총 비타민 E 함량은 대양이 1.20 mg/100 g에서 0.85 mg/100 g, 조양이 1.73 mg/100 g에서 1.33 mg/100 g으로 감소하였으며, 걸귀리인 조풍은 비타민 E 함량이 쌀귀리 품종보다 낮지만 저장 후의 변화가 적은 것으로 나타났다(Table 3). 항산화제로서 토코페롤과 토코트리에놀은 지질 과

산화 반응을 일으키는 lipid peroxy radical에 수소를 전달하여 제거하는 역할을 하는데, 이 과정에서 산화되어 함량이 감소하는 것으로 알려져 있다(J. Falk *et al.*, 2010; M.E. Player *et al.*, 2006). 따라서 저장 과정에서 대양과 조양에서 나타나는 비타민 E 함량의 감소는 항산화제로 작용하여 항산화 활성유지를 위해 산화된 것으로 생각된다.

지방산 조성비

식이지방의 종류에 따라 혈중 지질에 미치는 영향이 다른데, 불포화 지방산(unsaturated fatty acids, USFA)은 혈중 총 콜레스테롤 수준을 저하시키고, HDL 콜레스테롤 함량을 증가시켜 심혈관계 질환 발생의 위험을 낮추는 역할을 한다고 알려져 있다(Jung & Paik, 1993). 식물체에 주로 존재하는 지방산의 형태는 palmitic acid(C16:0), stearic acid (C18:0) 등 포화지방산 2 종류와, oleic acid (C18:1), linoleic acid (C18:2), linolenic acid (C18:3) 등 불포화지방산 3 종류가 주류를 이루고 있는 것으로 알려져 있어(Cho *et al.*, 2011), 5가지 지방산의 저장기간 동안 조성비의 변화를 분석하였다. 귀리 원곡 시료에서 불포화지방산의 비율은 대양(79.8%), 조양(75.9%), 조풍(73.3%) 순으로 높았으며, 그 중에서도 oleic acid(대양: 41.8%, 조양: 38.3%, 조풍: 32.4%)와 linoleic acid(대양: 36.8%, 조양: 36.2%, 조풍: 39.4%)가 대부분을 차지하고 있었다(Table 4). 조양과 조풍에서는 저장기간이 길어질수록 불포화 지방산의 비율이 증가(조양: 75.9%에서 80.7%, 조풍: 73.3%에서 79.4%)하였고, 포화지방산의 비율은 감소하였다. 불포화지방산 중에서도 oleic acid의 비율이 유의적으로 증가하였으며, linoleic acid와 linolenic acid의 비율은 감소하

Table 2. Change in avenanthramide content according to storage duration in three oat cultivars.

Cultivar ¹⁾	Storage(days)	Avenanthramides(μ g/g)			
		C	A	B	Total
DY	0	90.0 \pm 3.7 ^b	42.0 \pm 1.5 ^a	38.6 \pm 1.3 ^a	170.6 \pm 6.5 ^b
	21	99.3 \pm 10.1 ^b	45.2 \pm 5.4 ^a	39.8 \pm 5.4 ^a	184.2 \pm 19.3 ^b
	42	116.1 \pm 6.8 ^a	54.0 \pm 2.6 ^a	49.9 \pm 2.8 ^a	220.1 \pm 11.9 ^a
	63	99.3 \pm 4.2 ^b	42.1 \pm 2.0 ^a	38.0 \pm 1.9 ^a	179.4 \pm 7.7 ^b
CY	0	2.4 \pm 0.2 ^a	1.6 \pm 0.1 ^a	4.4 \pm 0.3 ^a	8.5 \pm 0.4 ^a
	21	2.7 \pm 0.9 ^a	1.6 \pm 0.6 ^a	3.7 \pm 1.3 ^{ab}	8.0 \pm 2.8 ^a
	42	1.8 \pm 0.1 ^a	1.8 \pm 0.3 ^a	2.5 \pm 0.3 ^b	6.0 \pm 0.7 ^a
	63	3.1 \pm 0.0 ^a	1.8 \pm 0.0 ^a	4.4 \pm 0.1 ^a	9.2 \pm 0.2 ^a
JP	0	3.5 \pm 0.1 ^a	1.6 \pm 0.1 ^a	3.5 \pm 0.3 ^a	8.6 \pm 0.1 ^a
	21	3.3 \pm 0.3 ^{ab}	1.7 \pm 0.1 ^a	3.2 \pm 0.3 ^a	8.2 \pm 0.6 ^a
	42	2.9 \pm 0.1 ^b	3.0 \pm 2.3 ^a	2.2 \pm 0.3 ^b	8.0 \pm 2.6 ^a
	63	2.3 \pm 0.2 ^c	3.8 \pm 0.6 ^a	2.0 \pm 0.2 ^a	8.1 \pm 1.0 ^a

¹⁾Cultivars: DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung.

²⁾Different letters indicate a statistically significant(p < 0.05) difference between storage periods in the same cultivar.

였다. 반면, 대양은 저장기간 동안 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 Jung 등(2012)의 연구에서 등숙 중 콩은 고온 처리에 의해 oleic acid가 증가하고 linoleic acid와 linolenic acid가 감소되는 경향을 보이는 것과 일치하였지만, palmitic acid와 stearic acid의 조성이 온도 변화에 증가되는 경향을 보인다는 결과와는 다르게 고온에서 두 성분의 조성 비율이 감소되는 경향을 보였다. 또한 Kim 등(2014)의 벼 정조 저장에 관한 연구 결과에 따르면, 품종 간의 차이로 저장 중 지방산 조성 변화를 확인하기 어렵지만, 저장 기간이 길어질 수록 품종에 따라 다른 경향이 나타난다고 보고하였다.

항산화활성 측정

활성산소인 자유 라디칼(free radical)은 인체 내에서 각종 질병을 유발하고 세포의 노화 유도하기 때문에 귀리에서 항산화제로 작용하는 물질의 활성에 대해 확인하고자 저장기간 동안 DPPH, ABTS 활성 변화를 확인하였다. DPPH 라디칼 제거능은 항산화 물질의 전자공여능을 측정할 때 사용하는 방법으로, 전자공여능은 지질과산화 반응에 관여하는 자유 라디칼에 전자를 공여하여 산화를 억제시키는 척도가 된다(Lee *et al.*, 2017). 저장기간 동안 항산화 활성의 변화를 살펴보면, DPPH 라디칼 제거능의 경우 대양(32.1 mg TEAC/100 g에서 36.0

Table 3. Tocopherol and tocotrienol (mg/100g) contents according to oat cultivars and storage duration.

Cultivar ²⁾	Storage (days)	α -T ¹⁾	β -T	α -T3 ¹⁾	β -T3	Total	α -T+ α -T3 ⁴⁾
DY	0	0.33±0.02 ^a	0.04±0.00 ^a	0.74±0.02 ^a	0.08±0.01 ^a	1.20±0.03 ^a	89.2
	21	0.34±0.03 ^a	0.04±0.00 ^a	0.69±0.08 ^{ab}	0.08±0.01 ^a	1.16±0.13 ^a	88.8
	42	0.33±0.03 ^a	0.04±0.01 ^{ab}	0.64±0.08 ^b	0.07±0.01 ^b	1.07±0.12 ^a	90.7
	63	0.28±0.01 ^b	0.03±0.01 ^b	0.48±0.02 ^c	0.05±0.00 ^b	0.85±0.03 ^b	89.4
CY	0	0.33±0.04 ^a	0.06±0.02 ^a	1.15±0.14 ^a	0.19±0.04 ^a	1.73±0.23 ^a	85.5
	21	0.26±0.02 ^b	0.06±0.01 ^a	0.79±0.11 ^c	0.14±0.02 ^{ab}	1.25±0.16 ^c	84.0
	42	0.32±0.02 ^a	0.06±0.00 ^a	1.03±0.08 ^{ab}	0.16±0.01 ^{ab}	1.57±0.10 ^{ab}	86.0
	63	0.30±0.02 ^a	0.05±0.01 ^a	0.87±0.15 ^{bc}	0.11±0.05 ^b	1.33±0.20 ^{bc}	88.0
JP	0	0.33±0.02 ^c	0.05±0.00 ^a	0.54±0.05 ^b	0.07±0.01 ^a	0.99±0.09 ^b	87.9
	21	0.32±0.01 ^c	0.04±0.00 ^b	0.48±0.02 ^c	0.07±0.01 ^a	0.91±0.03 ^c	87.9
	42	0.38±0.00 ^a	0.05±0.00 ^a	0.59±0.01 ^a	0.08±0.00 ^a	1.10±0.01 ^a	88.2
	63	0.36±0.01 ^b	0.05±0.00 ^a	0.51±0.01 ^{bc}	0.07±0.00 ^a	0.98±0.01 ^{bc}	88.8

¹⁾Corresponding tocopherols (T) and tocotrienols (T3):

²⁾Cultivars: DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung.

³⁾Different letters indicate a statistically significant(p < 0.05) difference between storage periods in the same cultivar.

⁴⁾Percentage of sum of α -T and α -T3.

Table 4. Comparison ratio of fatty acids in three oat cultivars.

Cultivar ²⁾	Storage (days)	Area %						
		Pal. ¹⁾	Ste.	Ole.	Linoleic.	Linolenic.	SFA	USFA
DY	0	17.2±0.1 ^a	3.1±0.2 ^a	41.8±0.3 ^a	36.8±0.4 ^a	1.2±0.0 ^a	20.2±0.3 ^a	79.8±0.7 ^a
	21	17.2±0.8 ^a	2.6±0.1 ^a	41.9±1.5 ^a	37.2±0.6 ^a	1.1±0.1 ^a	19.8±0.9 ^a	80.2±2.1 ^a
	42	18.0±0.4 ^a	2.7±0.0 ^a	40.9±0.4 ^a	37.2±0.1 ^a	1.2±0.0 ^a	20.7±0.4 ^a	79.3±0.6 ^a
	63	17.2±0.1 ^a	2.7±0.0 ^a	42.4±0.1 ^a	36.6±0.1 ^a	1.1±0.0 ^a	19.9±0.1 ^a	80.1±0.2 ^a
CY	0	21.1±0.6 ^a	3.0±0.3 ^a	38.3±0.6 ^c	36.2±0.3 ^a	1.4±0.0 ^a	24.1±0.9 ^a	75.9±0.9 ^c
	21	18.9±0.7 ^b	2.2±0.4 ^b	43.0±0.6 ^b	34.8±0.4 ^a	1.1±0.0 ^b	21.1±1.1 ^b	78.9±1.1 ^b
	42	17.3±0.4 ^c	1.7±0.0 ^b	45.4±1.0 ^a	34.5±0.5 ^b	1.1±0.1 ^b	19.0±0.5 ^b	81.0±1.6 ^a
	63	17.4±0.1 ^c	1.9±0.1 ^b	45.7±0.1 ^a	33.9±0.1 ^b	1.1±0.0 ^b	19.3±0.2 ^b	80.7±0.2 ^a
JP	0	23.2±0.6 ^a	3.5±0.6 ^a	32.4±0.7 ^c	39.4±1.2 ^a	1.4±0.1 ^a	26.7±1.1 ^a	73.3±1.1 ^c
	21	19.9±0.6 ^b	2.4±0.3 ^b	38.5±0.6 ^b	38.0±0.7 ^a	1.2±0.1 ^b	22.3±0.9 ^b	77.7±0.9 ^b
	42	18.3±0.0 ^c	2.0±0.1 ^b	41.7±0.1 ^a	36.9±0.2 ^b	1.1±0.0 ^b	20.3±0.2 ^c	79.7±0.3 ^a
	63	18.6±0.1 ^c	1.9±0.0 ^b	42.1±0.2 ^a	36.2±0.2 ^b	1.1±0.0 ^b	20.6±0.2 ^c	79.4±0.4 ^a

¹⁾Pal., Palmitic acid; Ste., Stearic acid; Ole., Oleic acid; Linoleic., Linoleic acid; Linolenic., Linolenic acid; SFA; saturated fatty acids, USFA; unsaturated fatty acids.

²⁾Cultivars: DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung.

³⁾Different letters indicate a statistically significant(p < 0.05) difference between storage periods in the same cultivar.

mg TEAC/100 g)은 비교적 안정적인 변화를 보인 반면에, 조양과 조풍은 42일 이후에 크게 감소하는 형태를 나타냈다

(CY; 48.1 mg TEAC/100 g 에서 26.9 mg TEAC/100 g, JP; 49.4 mg TEAC/100 g 에서 26.7 mg TEAC/100 g)(Fig. 2).

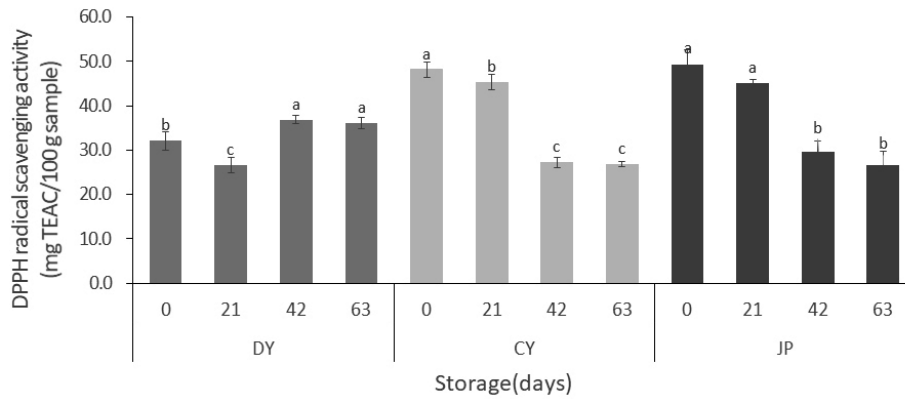


Fig. 2. DPPH free radical-scavenging activity of methanolic extracts from three oat cultivars on DPPH radical. ¹⁾DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung. ²⁾Different letters indicate a statistically significant ($p < 0.05$) difference between storage periods in the same cultivar.

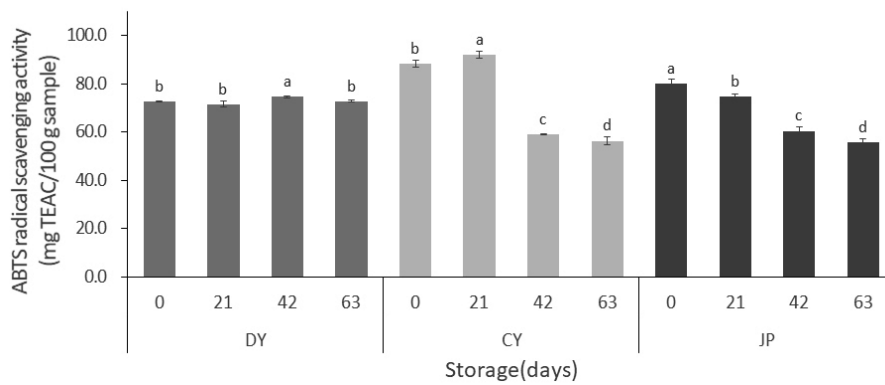


Fig. 3. ABTS free radical-scavenging activity of methanolic extracts from three oat cultivars on ABTS radical. ¹⁾DY, Daeyang; CY, Choyang; JP, Jopung. ²⁾Different letters indicate a statistically significant ($p < 0.05$) difference between storage periods in the same cultivar.

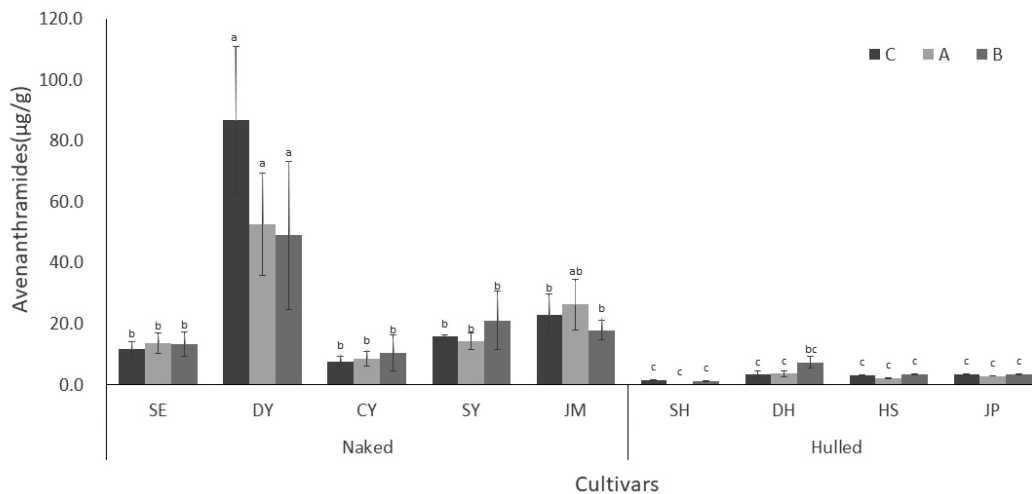


Fig. S1. Avenanthramide contents in Korean oat cultivars. ¹⁾SE, Seonyang; DY, Daeyang; CY, Choyang; SY, Suyang; JM, Jungmo 2005; SH, Samhan; DH, Donghan; HS, Highspeed; JP, Jopung. ²⁾Different letters indicate a statistically significant ($p < 0.05$) difference among cultivars in the same component.

ABTS 라디칼 제거능 역시 DPPH 라디칼 제거능과 같은 경향을 보였다(DY; 72.6 mg TEAC/100 g 에서 72.7 mg TEAC/100 g, CY; 88.4 mg TEAC/100 g 에서 56.3 mg TEAC/100 g, JP; 80.0 mg TEAC/100 g 에서 55.8 mg TEAC/100 g)(Fig. 3). Ham 등(2015)의 연구에서 국내 육성 귀리 품종 중에서 대양이 가장 높은 항산화 활성을 나타내고 항산화 활성에 기여하는 항산화 성분은 비타민 E가 아닌 폴리페놀류 화합물인 것으로 보고하였다. 본 연구 결과, 세 품종 중에서 페놀류 항산화 물질인 아베난쓰라마이드가 높은 대양이 다른 품종에 비해 노화가속화 조건에서 비교적 항산화활성이 잘 유지되는 것으로 생각되며 이는 기존의 연구결과와 일치하였다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 연구비 지원(과제번호 PJ0125512018, 세부과제번호 PJ012551022018)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

적 요

국내 육성 귀리인 대양, 조양, 조풍을 노화가속화 조건(45℃, RH < 20%)에서 63일간 저장하였을 때, 귀리의 기능성 성분과 항산화 활성 변화는 아래와 같다.

1. 단백질, 지방 함량은 세 품종 모두 저장 기간 동안 큰 변화 없이 유지되었다.
2. 항산화성분 중 아베난쓰라마이드는 저장 기간 동안 함량이 유지되었지만, 비타민 E는 63일의 저장 기간 동안 대양과 조양 품종에서 함량이 감소하는 경향을 보였다.
3. 조양과 조풍은 저장 후 베타글루칸 함량과 불포화지방산 함량이 점점 증가하였지만, 대양은 원곡의 함량을 유지하였다.
4. 항산화 활성 측정 결과, 대양은 저장기간 동안 큰 폭의 변화 없이 함량을 유지한 반면, 조양과 조풍은 42일 이후 감소하는 양상을 보였다.

인용문헌(REFERENCES)

Aggarwal, B., C. Sundaram, S. Prasad, and R. Kannappan. 2010. Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century : Its potential against cancer and other chronic diseases. *Biochem. Pharmacol.* 80(11) : 1613-1631.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC Intl. 15thed. Method 920.85. Association of Official Analytical communities, Washington, DC, USA.

Bratt, K., K. Sunnerheim, S. Bryngelsson, A. Fagerlund, L. Engman, R. E. Andersson, and L. H. Dimberg. 2003. Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure antioxidant activity relationships. *J. Agric. Food Chem.* 51(3) : 594-600.

Brindzova, L., M. Certik, P. Rapta, M. Zalibera, A. Mikulajova, and M. Takasova. 2008. Antioxidant Activity, β -Glucan and Lipid contents of Oat Varieties. *Czech J. Food Sci.* 26(3) : 163-173.

Cho, Y. S., Y. N. Kim, S. Y. Kim, J. B. Kim, H. W. Kim, S. N. Kim, S. Y. Kim, H. J. Park, and J. H. Kim. 2011. Changes in Fatty Acid Composition of Grain after Milling. *Korean J. Environ. Agric.* 30(4) : 409-413.

Choi, Y. H., E. G. Jeong, J. L. Choung, D. S. Kim, S. L. Kim, J. T. Kim, C. G. Lee, and J. R. Son. 2006. Effect of Moisture Contents of Rough Rice and Storage Temperatures on Rice Grain Quality. *Korean J. Crop Sci.* 51(s) : 12-20.

Chu, Y. F., M. L. Wise, A. A. Gulvady, T. Chang, D. F. Kendra, B. J. Klinken, Y. Shi, and M. O'Shea. 2013. In vitro antioxidant capacity and anti-inflammatory activity of seven common oats. *Food Chem.* 139 : 426-431.

Elene Karlberg. 2010. A study of avenanthramides in oats for future applications. Uppsala University School of Engineering. 48p.

Emmons, C. L. and D. M. Peterson. 1999. Antioxidant activity and phenolic contents of oat groats and hulls. *Cereal Chem.* 76 : 902-906.

Falk, Jon and Munne'-Bosch, Sergi. 2010. Tocochromanol functions in plants: antioxidation and beyond. *J. Exp. Bot.* 61(6) : 1549-1566.

Ham, H. M., K. S. Woo, B. W. Lee, J. Y. Park, E. Y. Sim, B. J. Kim, C. W. Lee, S. J. Kim, W. H. Kim, J. S. Lee, and Y. Y. Lee. 2015. Antioxidant Compounds and Activities of Methanolic Extracts from Oat Cultivars. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 44(11) : 1660-1665.

Jeong, Y. S., J. W. Kim, E. S. Lee, N. Y. Gil, S. S Kim, and S. T. Hong. 2014. Optimization of alkali extraction for preparing oat protein concentrates from oat groat by response surface methodology. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43(11) : 1462-1466.

Jung, E. K. and H. Y. Paik. 1993. Fatty acid contents in food of major fat sources in Korean Diet. *Korean J. Food & Nutr.* 26(3) : 254-267.

Jung, G. H., J. E. Lee, Y. H. Kim, D. W. Kim, T. Y. Hwang, K. S. Lee, B. M. Lee, H. S. Kim, Y. U. Kwon, and S. L. Kim. 2012. Effect of Planting Date, Temperature on Plant Growth, Isoflavone Content, and Fatty Acid Composition of Soybean. *Korean J. Crop Sci.* 57(4) : 373-383.

Kaura, J., A. Whitsonb, J. Ashtonb, L. Katopoa, and S. Kasapisa. 2016. Effect of ultra high temperature processing and storage conditions on phenolic acid, avenanthramide, free fatty acid and volatile profiles from Australian oat grains. *Bioact. Carbohydr. Dietary*

- Fibre. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcdf.2016.09.002>
- Kim, J. J., M. K. Baek, K. S. Kim, M. R. Yoon, G. Y Kim, and J. H. Lee. 2014. Changes of Physicochemical Properties and Fatty acid Compositions of Rough Rice Stored at Different Storage Temperatures and Periods. *Korean J. Crop Sci.* 59(4) : 413-426.
- Kwak, J. E., J. S. Lee, M. R. Yoon, I. H. Kim, J. G. Lee, M. J. Kim, C. K. Lee, B. K. Kim, and W. H. Kim. 2015. Changes of Seed Germination Rate and Lipid Components in Different Brown Rices during Ageing. *Korean J. Food & Nutr.* 28(5) : 933-940.
- Lee, I. G., K. H. Kim, and H. J. Choi. 1993. Changes in Physicochemical Properties of Rice Grain during Long-Term Storage. *Korean J. Crop Sci.* 38(6) : 524-530.
- Lee, K. H., H. J. Kim, S. K. Lee, H. Y. Park, E. Y. Sim, D. H. Cho, S. K. Oh, J. H. Lee, E. K. Ahn. and K. S. Woo. 2017. Functional Components and Radical Scavenging Activity of Brown Rice according to Addition Rate and Cooker. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 46(3) : 350-357.
- Lee, Y. B. 2012, Effect of Heat Treatments on the Properties of Two Long-grain Rice Cultivars During Storage. University of Arkansas. Theses and Dissertations. 647p.
- Lee, Y. Y., H. M. Park, C. K. Lee, S. L. Kim, T. Y. Hwang, M. S. Choi, Y. U. Kwon, W. H. Kim, S. J. Kim, S. C. Lee, and Y. H. Kim, 2012. Comparing extraction methods for the determination of tocopherols and tocotrienols in seeds and germinating seeds of soybean transformed with OsHGGT. *J. Food Compos. Anal.* 27(1) : 70-80.
- Lee, Y. Y., H. M. Ham, H. H. Park, Y. G. Kim, M. J. Lee, O. K. Han, Y. H. Kim, H. M. Park, B. W. Lee, J. Y. Park, E. Y. Sim, C. W. Lee, and W. H. Kim. 2016. The Physicochemical Properties and Dietary Fiber Contents in Naked and Hulled Korean Oat Cultivars. *Korean J. Breed. Sci.* 48(1) : 37-47.
- Lorraine L. Niba. 2003. Effect of storage period and temperature on resistant starch and b-glucan content in cornbread. *Food Chem.* 83(4) : 493-498.
- Meydani, M. 2009. Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutr. Rev.* 67(12) : 731-736.
- M. E. Player, H. J. Kim, H. O. Lee and D. B. Min. 2006. Stability of α -, γ -, or δ -Tocopherol during Soybean Oil Oxidation. *J. Food Sci.* 71(8) : 456-460.
- NICS. 2009. Manual of quality analysis for crop. National Institute of Crop Science. Republic of Korea.
- Peterson D. M. and L. H. Dimberg. 2008. Avenanthramide concentrations and hydroxycinnamoyl- CoA:hydroxyanthranilate N-hydroxycinnamoyl-transferase activities in developing oats. *J. Cereal Sci.* 47 : 101-108.
- Qureshi, A. A., H. Mo, L. Packer, and D. M. Peterson. 2000. Isolation and identification of novel tocotrienols from rice bran with hypocholesterolemic, antioxidant, and antitumor properties. *J. Agric. Food Chem.* 48(8) : 3130-3140.
- Serbinova, E., V. Kagan, D. Han, and L. Packer. 1991. Free radical recycling and intramembrane mobility in the antioxidant properties and alpha-tocopherol and alpha-tocotrienol. *Free Radic. Biol. Med.* 10(5) : 263-275.
- Shin, W. C., K. Y. Kim, Y. J. Mo, J. K. Nam, J. J. Kim, H. S. Park, M. K. Baek, Y. C. Cho, and B. K. Kim. 2017. Characteristics of Korean Rice Grains Treated with Different Storage Periods and Temperatures. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 29(2) : 141-149.
- Son, K. H., Y. S. Kim, J. S. Hong, J. Y. Jeong, and J. M. Cho. 1999. Studies on the Change of Components with Long-Term Storage of Paddy. *Korean J. Food & Nutr.* 12(4) : 409-414.
- Son, Y. K., J. R. Son, K. J. Kim, and S. L. Kim. 1999. Postharvest Biotechnology of Vegetable Corn in Korea. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 11(4) : 402-414.
- Sterna, V., S. Zute, and L. Brunava. 2016. Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 8 : 252-256.
- Therriault, A., J. T. Chao, Q. Wang, A. Gapor, and K. Adeli. 1999. Tocotrienol: A review of its therapeutic potential. *Clin. Biochem.* 32(5) : 309-319.
- Vilmane, L., S. Zute, E. Straumite, and R. Galoburda. 2015. Protein, Amino Acid and Gluten Content in Oat (*Avena Sativa* L.) Grown in Latvia. *Proc. Latv. Acad. Sci Sect. B Nat. Exact Appl. Sci.* 69(4) : 170-177.
- Wallwork, M. A. B., C. F. Jenner, S. J. Logue, and M. Sedgley, 1998. Effect of high temperature during grain filling on the structure of developing and malted barley grains. *Ann. Bot.* 82(5) : 587-599.
- Zhang, D., D. C. Doehlert, and W. R. Moore, 1998. Rheological properties of (1-3), (1-4)-beta-D-glucans from raw, roasted, steamed oat groats. *Cereal Chem.* 75(4) : 433-438.
- Zhoua, M., K. Robardsa, M. Glennie-Holmesb, and H. Helliwella, 1999. Oat Lipids. *J. Am. Oil Chem.' Soc.* 76(2) : 159-169.