

옥수수수염 분말의 입자크기별 이화학적 특성과 항산화활성

차선미* · 손범영* · 이진석* · 백성범* · 김선림* · 구자환* · 황종진* · 송범현** · 우선희** · 권영업* · 김정태*[†]

*농촌진흥청 국립식량과학원, **충북대학교 식물자원학과

Effect of Particle Size on Physico-Chemical Properties and Antioxidant Activity of Corn Silk Powder

Sun-Mi Cha*, Beom-Young Son*, Jin-Seok Lee*, Seong-Bum Baek*, Sun-Lim Kim*, Ja-Hwan Ku*, Jong-Jin Hwang*, Beom-Heon Song**, Sun-Hee Woo**, Young-Up Kwon*, and Jung-Tae Kim*[†]

*National Institute of Crop Science, Suwon 441-857, Korea

**Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

ABSTRACT The study was carried out to analyze the relationship between analysis of antioxidant activity and the level of functional components according to particle size of corn silk. Particle size was classified into 5 groups. By particle size distribution and color difference, the total phenol content and DPPH radical scavenging activity were observed. The particle sizes of corn silk were 199.17 μm , 178.27 μm , 85.48 μm , 27.4 μm and 20.97 μm , respectively. The lightness of colored pigments was increased when the particle size was decreased. The contents of free sugar (fructose, glucose, galactose, sucrose, and maltose) of corn silk were analyzed using a HPLC. The total phenol contents by the particle sizes of corn silk were 2.01 mg/g, 2.02 mg/g, 2.06 mg/g, 2.26 mg/g and 2.26 mg/g, respectively. DPPH radical scavenging activities of samples were 21.00%, 21.75%, 22.90%, 24.35% and 23.67%, respectively. Antioxidative activities of Trolox and Fe(II) in corn silk were measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay and Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay. TEAC values of samples were 2.36 $\mu\text{mol TE} / \text{g dw}$, 2.81 $\mu\text{mol TE} / \text{g dw}$, 3.20 $\mu\text{mol TE} / \text{g dw}$, 3.36 $\mu\text{mol TE} / \text{g dw}$, and 3.44 $\mu\text{mol TE} / \text{g dw}$, respectively. FRAP values of samples were 11.67 $\mu\text{mol Fe(II)} / \text{g dw}$, 12.80 $\mu\text{mol Fe(II)} / \text{g dw}$, 13.43 $\mu\text{mol Fe(II)} / \text{g dw}$, 13.85 $\mu\text{mol Fe(II)} / \text{g dw}$ and 15.95 $\mu\text{mol Fe(II)} / \text{g dw}$, respectively. Total phenolic content and antioxidative activities based on FRAP assay and TEAC assay were increased with decreasing particle size. In addition, DPPH radical scavenging activity was also increased. A significant correlation was also noted between DPPH radical scavenging activities and the content of phenolic compounds.

Keywords : corn, corn silk, antioxidant, particle size

옥수수수염은 옥수수(*Zea mays* L.)의 부산물로 옥수수의 열매를 싸고 있는 부분으로 옥발, 옥미발, 옥촉서에라고도 불리 운다(Kwan *et al.*, 1999). 옥수수수염에는 지방유, 정유, 식물 고무 물질, 지방, 쓴맛 배당체, 수지, 사포닌, 알칼로이드, 메이션 외에 이노시톨, 크립토잔틴, 파토텐산, 비타민 C, 비타민 K, 시토시테롤, 스티그마스테롤, 말릭산, 타르타릭산, 글루코스, 자일란, 갈락탄, 카테콜 등이 함유되어 있으며, 특히 상당량의 비타민 K가 포함되어 있다(Kim *et al.*, 2001). 또한 옥수수수염은 강혈당(降血糖), 토혈(吐血), 지혈(止血), 비출혈(鼻出血), 평간(平肝), 설열(舌裂), 각기(脚氣), 축농증(蓄膿症), 이담(利膽)작용 및 이뇨(利尿)작용과 항균활성 등에 효과가 있어 음료, 병과류, 사탕 및 제빵 등의 향료 및 식품첨가물로 활용되고 있다(Kwan *et al.*, 1999; Ku *et al.*, 2009).

옥수수수염 유래의 플라보노이드로는 maysin, apimaysin, methoxymaysin등이 있으며 이중 maysin은 옥수수수염에 가장 많이 함유되어 있는 대표적인 기능성물질로 corn earworm의 생육 억제활성, 종양 세포주에 대한 세포독성효과 및 라디칼 소거활성 등이 보고되어 있다(Lee *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2003).

Maksimovic과 Kovacevic(2003)는 시기별로 옥수수수염을 채취하여 실험한 결과, 성숙한 옥수수수염의 항산화능이 미성숙한 것보다 높았고 TLC를 수행한 결과, 성숙한 옥수

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6762 (E-mail) kimjt@korea.kr

<Received 19 January, 2012; Revised 6 March, 2012; Accepted 9 March, 2012>

수수염에서의 페놀성 물질과 플라보노이드 물질이 미성숙한 것보다 많았다고 보고하였다. 기존의 옥수수수수염의 생리활성 성분연구에 있어서는 *maysin*을 중심으로 한 플라보노이드와 페놀 화합물이 주요한 연구 대상이다.

천연 식품 소재에 함유된 항산화 활성 물질을 포함한 기능성 물질을 규명함으로써 보다 부가가치가 높은 식품소재 및 식품으로 제공하고자 하는 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다(Hashimoto *et al.*, 2005; Hwang *et al.*, 2004; Kuo *et al.*, 1999, 1998; Kim *et al.*, 2004; Wu, 2005; Kuo *et al.*, 1998).

한편 일반식품의 분말화에 대한 연구는 Kim 등(1996)의 모형식품분말의 흡습특성 등 지난 20여년 동안 국·내외에서 활발하게 진행되었으며(Park *et al.*, 1996; Ko *et al.*, 1999), Lee *et al.*(1996)은 분쇄기 종류에 따른 보리 가루의 이화학적 특성에 관한 연구와 Kim 등(1993)은 분쇄기 종류를 달리한 쌀가루 및 제품의 특성에 미치는 영향을 보고하였다. Tsai(2011)은 태국에 자생하는 명아주과 식물인 *Djulis*를 입자크기별로 나누어 실험한 결과 입자크기가 미세할수록 명아주의 항산화활성이 높았고, 효소활성 또한 입자크기가 큰 것보다 작은 것 일수록 높은 것으로 보고하였다. 분쇄 가공 기술에 대한 연구는 분쇄기의 종류를 달리한 후 식품의 이화학적 특성을 조사 보고한 정도이다(Park *et al.*, 1988; Lee *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1993). 실제로 분쇄를 하는 공정에서는 보통 동력의 98% 이상이 분쇄 장치의 운전과 분쇄 조업에서 생기는 마찰열과 소음으로 소모되고 불과 2% 미만이 분쇄에 의한 분쇄물의 표면적 증가에 기여하므로 이때 발생하는 마찰열에 의하여 품온이 상승하게 되고 열에 불안정한 성분의 파괴가 일어날 수 있으며 열에 민감한 성분의 연화(softening) 또는 용해 현상이 일어날 수 있다(Song and Park, 1997). 따라서 분쇄기를 선정하는 경우에는 원료의 크기와 특성, 분쇄 후의 입자크기, 입도분포, 분쇄온도 등과 같은 품질 요소와 소음, 분진, 제조원가 등과 같은 부가적인 요소도 함께 고려하여야 한다.

국내의 분쇄 가공 산업은 오랜 개발 기간에도 불구하고 다른 산업에 비해 연구 개발의 진전도가 뒤떨어진 분야이기도 하다. 현재 국내 식품 가공 공장에서 사용되고 있는 분쇄기는 hammer mill, roll mill, pin mill 등이 주로 사용되고 있으나 가공시설은 매우 낙후되어 있는 실정이다.

우리나라에서 주로 이용되는 농산가공물은 연성이며 수분을 포함한 결정성 곡물(옥수수, 콩 등), 섬유질을 많이 포함한 섬유질 곡물(보리 등), 건조된 야채나 인삼, 감초, 당귀 등으로 구분된다. 섬유질을 많이 포함하고 점탄성 성질을 갖은 식품 원료 및 약용작물을 분쇄 할 경우 세라믹, 광석보다 소성 변형

이 커서 연속적인 파괴가 일어나지 않고 또한 마찰에 의한 열이 더 많이 발생되어 섬유질 함량이 높은 농산물 분쇄물의 특성에 따른 분쇄 메커니즘을 확립 한다는 것이 매우 어렵다.

따라서 본 연구에서는 옥수수수수염을 저온초미분쇄기를 이용하여 얻은 5단계의 다른 입자크기의 옥수수수수염 분말을 얻어 각각의 입자크기별 이화학적 특성을 검토하고 항산화 활성을 평가하여 최적의 입자크기를 찾고 우수한 가공법을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

시험재료

본 실험에서의 공시재료는 국립식량과학원 전작과에서 수확한 광평옥의 옥수수수수염을 사용하였으며, 2010년 4월 16일 파종하여 출사 후 7-10일경의 수수염을 채취하였고 동결건조하여 -20°C 에서 보관하면서 시료로 사용 하였다. 건조된 옥수수수수염 시료의 분쇄는 일반분쇄와 저온초미분쇄 방법을 이용하였다. 일반분쇄는 실험실용 분쇄기(Laboratory mill 3303, Perten, Finland)를 이용하여 옥수수수수염 분말을 얻었으며, 일반 분쇄된 시료를 저온초미분쇄기(HKP-02, Korea Energy Technology, Seoul Korea)를 이용하였다. 분쇄기의 온도는 -20°C 로 설정하여 시료의 온도상승을 억제 하였고 120 mesh의 필터를 장착하여 각각을 20,000 rpm, 40,000 rpm, 60,000 rpm, 80,000 rpm의 속도로 고속 회전 분쇄하여 얻어진 옥수수수수염 분말을 시료로 사용하였다.

입자의 크기와 색도분석

• 입도분석

분쇄된 옥수수수수염 분말 시료의 입도분석은 Particle Size Analyzer(Beckman Coulter LS200, Boulevard Brea, CA, USA)를 이용하였고 옥수수수수염 분말 2 g을 취하여 증류수에 넣고 1분간 분산시킨 후 3회 반복하여 입자의 직경, 평균 입자직경 등을 측정하였다.

• 색도

색도계(Model CM-3500D, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter value로 명도값인 L(lightness), 적색도값 a(redness) 및 황색도값 b(yellowness)의 색도를 조사하였다.

• 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope : SEM)

분쇄조건에 따른 옥수수수수염의 미세구조는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 gold-palladium으로 진공상태에서 120초간 코

팅시킨 후 5 kV에서 300배로 미세구조를 관찰하였다.

입자크기별 이화학적 특성분석

• 조지방 함량

조지방의 함량은 Soxtherm Automatic System(Gerhardt Soxtherm 2000, Hoffmannstre, Germany)을 이용하여 정량하였다. 곱게 마쇄된 시료 3 g을 extraction thimble에 담고 n-hexane 140 ml와 비등석을 함께 넣고 extraction thimble이 용매에 잠김 상태로 180°C에서 30분간 가열하여 시료의 조지방을 용출시킨 후 80분 동안 5회에 걸쳐 추출용매를 수거하였다. 그 후 용출된 조지방을 담고 있는 수기를 105°C에서 1시간 건조시킨 후 방냉하여 수기에 남아있는 추출물의 무게를 측정하여 조지방의 함량을 구하였다.

• 조회분 함량

회분은 평량한 도가니를 전기회화로(DS-84E, Dasol Scientific Co., Ltd, Korea) 항량이 된 도가니에서 600°C에서 2시간 회화 시킨 후 데시게이터에 옮겨 1시간 방냉한 후 도가니의 무게를 측정하였다. 항량이 된 도가니에 시료 1 g을 취하여 무게를 측정한 후 핫플레이트에서 1차 회화 후 회화로에서 4시간 회화시킨 후 데시게이터에서 2시간 방냉 후에 회화 전 무게와 회화 후의 무게를 비교하여 측정하였다.

• 조섬유 함량

조섬유는 시료 1 g에 celite 1 g을 도가니에 넣어 Crude Fiber Extract Analyzer(Model Foss Tecator, SE/2010, Fibertec, USA)를 이용하여 추출하였다. 에탄올을 시료만큼 채워 30분 방치한 후 증류수로 3회 세척한 후 1.25% H₂SO₄를 미리 가열하여 각각의 칼럼에 채우고 거품방지제를 3-4방울 첨가한 후 Heater를 최대로 켜서 전체 칼럼이 균일하게 끓기 시작하면 Heater 볼륨을 7-8사이로 낮춘 후 정확히 30분간 가열한 후 증류수로 3회 세척하였다. 다음 1.25% NaOH를 미리 가열하여 각각의 칼럼에 채우고 거품방지제를 3-4방울 첨가한 후 Heater를 최대로 켜서 전체 칼럼이 균일하게 끓기 시작하면 Heater 볼륨을 7-8사이로 낮춘 후 정확히 30분간 가열한 후 증류수로 3회 세척하였다. 그 후 135°C 건조기에서 2시간 건조 후 데시게이터에서 30분간 방냉하여 무게를 측정하고 520°C회화로(DS-84E, Dasol Scientific Co., Ltd, Korea)에서 3시간 회화 후 데시게이터에서 1시간 방냉한 후 그 무게를 측정하였다.

• 조단백질 함량

옥수수 수염 분말 시료를 40 mesh standard testing sieve

를 이용하여 시료를 채진 후 0.07 g씩 tin-foil-cups로 감싼다. 준비된 시료를 원소분석기(Elementar analysensysteme GmbH, elemental)를 이용하여 분석하여 질소함량을 측정 한 후 질소계수를 구하여 조단백질 함량을 분석하였다.

• 유리당 분석

지방을 제거한 시료 1 g에 3차 증류수를 10 ml를 가하여 30°C의 초음파 세척기에서 2시간동안 추출한 후 원심분리기를 이용하여 상등액을 취하여 여과한 후, HPLC를 이용하여 분석하였다.

입자크기별 항산화활성 측정

• 시료의 메탄올 추출물제조

분쇄된 시료를 일정량 취하여 80% 메탄올로 25°C에서 24시간 진탕 추출한 다음 여과하여 사용하였으며, -70°C에서 보관하면서 시료로 사용하였다. 분석 전에 시료를 추출 용매로 재 용해하여 분석시료로 사용하였다.

• 총 페놀 함량

추출 시료용액 0.5 ml에 3차 증류수 5 ml을 첨가한 후 Folin & Ciocalteu's phenol reagent(Sigma-Aldrich, St, Louis, MO, USA) 5 ml을 넣고 3분간 30°C의 shaking bath에서 혼합하였다. 혼합한 용액을 10% Na₂CO₃ 포화용액 2 ml을 넣어 다시 혼합한 다음 30°C에서 1시간 방치 시킨 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였다.

• DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능 측정

DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 30 mg을 ethanol 200 ml에 녹인 후 증류수 200 ml을 가하여 DPPH solution을 만들었다. DPPH solution 2.5 ml와 시료용액 0.25 ml을 혼합하여 1분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정 후 시료첨가구와 비첨가구의 흡광도 차를 백분율로 표시하여 전자공여능으로 나타내며 계산식은 아래와 같다.

$$\text{DPPH Scavenging (\%)} = \frac{C - S}{C} \times 100$$

C : 80% Methanol + DPPH solution의 흡광도

S : 시료 + DPPH solution의 흡광도

• FRAP(Ferric reducing antioxidant power)에 의한 항산화활성 측정

FRAP(Ferric reducing antioxidant power)는 시료 추출내의 항산화 성분에 의해 Fe²⁺이온이 제거되어 더 이상 ferrozine-Fe²⁺

복합체를 형성하지 않는 것을 그 기본 반응 원리로 하여 측정하였다(Ku *et al.*, 2009).

Sodium acetate와 acetic acid를 이용하여 acetate buffer (pH 3.6, 300 mM)를 만들었다. 그리고 40 mM HCl과 TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine)를 이용하여 10 mM TPTZ solution을 만들었다. 실험을 위한 반응용액(cocktail solution)은 300 mM acetate buffer(pH 3.6), 10 mM TPTZ 및 20 mM FeCl₃·6H₂O를 10 : 1 : 1의 비율로 섞어 만든 후, 실험 전까지 37°C를 유지하여 사용하였다. 시료 추출물 100 μl에 증류수 3100 μl와 FRAP reagent 1800 μl를 혼합한 후 37°C 암실에서 30분 동안 방치 한 후 593 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 FeSO₄·7H₂O(iron(II) sulfate heptahydrate)를 사용하였다.

• TEAC(Trolox equivalent antioxidant capacity)에 의한 항산화활성 측정

ABTS(2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) 7 mM과 potassium persulphate 2.45 mM을 2:1비율로 혼합한 후 16-24시간 이상 암소에 방치하여 청록색의 ABTS⁺ radical을 형성시킨 후 이 용액을 734 nm에서 흡광도 값이 1.5가 되도록 몰 흡광계수($\epsilon=1.6 \times 10^4 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)를 이용하여 80% methanol로 희석하였다. 희석된 ABTS⁺ 용액 1.9 ml에 추출액 50 μl를 가하여 흡광도 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. 활성의 표시는 Trolox(Sigma-Aldrich)를 표준물질로 사용하여 추출시료에 대한 Trolox 당량으로 나타내었다.

• Illuminator을 이용한 항산화 활성 측정

Kim 등(2006)의 방법에 따라 ARA-W-KIT(anti-radical ability of water-soluble substance, ABCD GmbH, Germany) ample

에 옥수수수염 추출액 10 μl와 buffer(ARA-W KIT reagent 2, ABCD GmbH, Germany) 1.5 ml를 혼합한 후 즉시 37°C의 항산화 측정 장치에 주입하여 반응시켰다. Ascorbic acid를 표준물질로 사용하여 10, 20, 40, 50 μl에 대한 calibration curve를 작성하였으며 항산화 측정장치(minilum L-100, ABCD GmbH, Germany)를 사용하여 측정하였다(Kim, 2006). PC에 연결된 Oxida-Q program으로 시료의 항산화능을 분석하였으며, 혼합액 주입 후 항산화능 분석에 소요되는 시간은 5분 이었다. 시료의 항산화능은 ascorbic acid의 농도(μmol)로 환산하여 표시하였다.

통계 분석

모든 데이터는 3회 반복 측정하였으며 얻어진 결과를 통계프로그램(Statistical Analysis system; version 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 사용하여 분석하였다. Oneway ANOVA Tukey's honestly significantly different(HSD) test를 실시하였고, 모든 항목에 대한 상관관계를 알아보기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)로 유의성을 검정 하였다.

결과 및 고찰

입자크기에 따른 옥수수수염분말 입자의 일반적 특성

건조된 광평옥의 옥수수수염을 일반적으로 분쇄하여 이것을 M1이라 명명하고, M1을 이용하여 저온초미분쇄하여 나머지 시료를 얻었다. 저온초미분쇄의 분쇄속도를 20,000 rpm, 40,000 rpm, 60,000 rpm, 80,000 rpm으로 조절하여 얻은 시료를 각각 M2, M3, M4, M5라 하였다. 이렇게 얻은 입자크기별 옥수수수염 분말 시료를 입도분포, 평균입자직

Table 1. Diameter of the corn silk particles according to different pulverizing methods.

Particle size ¹⁾	Particle diameter				
	Mean	Median	S.D. ²⁾	d10 ³⁾	d90 ⁴⁾
 (μm)				
M1	199.17	135.00	206.57	19.36 ± 0.20	469.23 ± 11.90
M2	178.27	133.93	161.60	18.94 ± 0.31	402.40 ± 4.07
M3	85.48	52.20	121.20	7.95 ± 0.05	170.23 ± 4.50
M4	27.04	23.57	19.79	4.72 ± 0.03	54.29 ± 0.33
M5	20.97	18.40	14.68	4.04 ± 0.03	41.93 ± 0.03

¹⁾ Classify according to grinding methods.

²⁾ S.D. : Standard deviation.

³⁾ d10 : The particle size of the minimum 10%, measurement.

⁴⁾ d90 : The particle size of the minimum 90%, measurement

경 및 중간 값을 측정하였고 그 결과는 Table 1과 같다. 입자크기별 옥수수수염 분말의 평균값은 각각 199.17 μm , 178.27 μm , 85.48 μm , 27.04 μm 및 20.97 μm 로 나타났고 중간 값은 각각 135.00 μm , 133.93 μm , 52.20 μm , 23.57 μm 및 18.40 μm 로 나타났다. 일반적인 방법을 이용한 분쇄시료인 M1은 저온초미분쇄한 M2보다 20 μm 만큼 큰 수치를 보였으며 입자의 크기가 가장 작은 M5보다는 약 10배가량 큰 수치를 보이는 것으로 나타났다.

입도분포 10%와 90%에서 M1은 각각 19.36 μm 및 469.23 μm , M2는 각각 18.94 μm 및 402.40 μm , M3은 각각 7.95 μm 및 170.23 μm , M4는 4.72 μm 및 54.29 μm , M5는 4.04 μm 및 41.93 μm 로 나타났다. Han 등(2009)은 옥수수 전분의 입자 직경은 14.27 μm 에서 초미분쇄할 경우 입자직경은 7.19 μm 로 작아지는 것으로 보고하였고, 또한 쌀 전분의 경우는 7.59 μm 에서 6.06 μm 로 작아지는 것으로 보고하였다(Han *et al.*, 2007). 옥수수수염 분말의 입자크기는 옥수수나 쌀의 전분 입자크기보다는 그 입자크기가 컸으며 초미분쇄 할 경우 입자크기가 월등히 작아짐을 확인하였다.

입자크기별 옥수수수염 분말인 M1, M2, M3, M4, M5의 색도 차이(명도, 적색도, 황색도)를 측정한 결과는 Table 2와 같다. 각 시료의 명도는 각각 43.51, 44.22, 50.97, 54.82, 55.12로 나타나 입자의 크기가 작아질수록 그 시료의 색이 밝아졌으며, 입자의 크기가 가장 큰 M1과 입자의 크기가

가장 작은 M5와는 약 12정도의 차이가 있었다. 시료의 적색도는 각각 6.01, 5.86, 6.20, 6.49 및 6.80으로 M1에서 M2는 수치가 감소하였으나 M2에서 M3, M4, M5에서는 그 값이 증가하였다. 시료의 황색도는 각각 13.18, 18.09, 15.45, 16.74, 17.33으로 입자의 크기가 작아질수록 값이 커지는 것으로 보아 입자의 크기가 작아질수록 더 황색을 띄는 것으로 나타났다. 옥수수수염 입자의 크기가 작아질수록 시료의 명도와 황색도가 증가하였다. 이는 입자의 크기가 작아질수록 그 표면적이 증가하여 나타난 결과로 추정된다.

입자크기별 광평옥 옥수수수염 분말의 미세구조를 주사전자현미경으로 300배 확대하여 관찰한 결과 그림 1과 같이 나타났다. 옥수수수염 분말의 입자의 모양이 다각형의 모양을 가지고, 입자크기가 작아질수록 그 입자의 크기가 작은 것을 확인할 수 있었으나 M4, M5에서 입자가 뭉쳐 덩어리져 보인다.

입자크기에 따른 옥수수수염분말의 이화학적 특성

입자크기별 옥수수수염 분말의 이화학적인 특성(조지방, 조섬유, 조회분, 조단백)을 측정한 결과 Table 3과 같이 나타났다. 입자크기에 따른 조지방 함량은 각각 1.71%, 1.60%, 1.80%, 1.70% 및 1.79%와 같아 M3에서 1.80%로 가장 조지방 추출효율이 높은 것으로 측정되었으며 조섬유 함량은 각각 29.57%, 10.45%, 10.43%, 10.06%, 9.65%로 M1에서

Table 2. Hunter color values of corn silk powder pulverized at different rate.

Color degree	Particle size				
	M1	M2	M3	M4	M5
Lightness	43.51c ¹⁾	44.22c	50.97b	54.82a	55.12a
Redness	6.00c	5.86c	6.20bc	6.4ab	6.80a
Yellowness	13.18d	13.09d	15.45c	16.74b	17.33a

¹⁾ Mean with the same letter in a raw are not significantly different at the 0.05 probability.

Table 3. Content of crude fat, crude fiber, crude ash and crude protein in pulverized corn silk.

Particle size ¹⁾	Crude fat	Crude fiber	Crude ash	Crude protein
 (%)			
M1	1.71a ²⁾	29.57a	4.64a	11.69a
M2	1.60b	10.45b	4.65a	11.40ab
M3	1.80a	10.43b	4.65a	10.51b
M4	1.70a	10.06b	4.62a	9.30c
M5	1.79a	9.65b	4.76a	8.74c

¹⁾ Classify according to grinding methods.

²⁾ Mean with the same letter in a column are not significantly different at the 0.05 probability.

M2로 입자크기가 작아질수록 유의적이게 줄어들었다가 M3, M4, M5에서는 그 수치의 변화가 적음을 확인하였다. 또한 조회분 함량은 각각 4.64%, 4.65%, 4.65%, 4.62%, 4.76%로 입자크기와는 유의성이 없음을 확인하였고, 조단백질 함량은 각각 11.69%, 11.40%, 10.51%, 9.30%, 8.74%을 보였다. 또한 입자크기별 옥수수수염 분말의 유리당 함량을 분석한 결과는 Table 4와 같이 fructose 함량은 각각 1.96%, 1.94%, 1.96%, 1.93% 및 1.94%로 서로 유의성이 없었다. Glucose 함량 또한 각각 3.95%, 3.91%, 4.01%, 4.0% 및 3.88%로 유의성이 없었다. Sucrose 함량은 각각 0.05%, 0.08%, 0.09%, 0.07% 및 0.08%로 소량 검출 되었다. Galactose 함량과 maltose 함량은 소량 함유 되어 있어 검출은 되나 수치상으로 나타나지는 않았다. 옥수수수염 분말은 입자크기가 작아지더라도 유리당 함유량에서 차이가 없음을 확인하였다.

입자크기에 따른 옥수수수염분말의 항산화활성

입자크기별 옥수수수염 분말의 총 페놀함량과 DPPH 라디칼 소거능을 측정된 결과 Table 5와 같이 나타났다. 총 페놀 함량은 각각 2009.5 µg/g dw, 2022.0 µg/g dw, 2064.1

µg/g dw, 2264.1 µg/g dw 및 2260.2 µg/g dw로 나타났고 DPPH 라디칼 소거능은 각각 21.00%, 21.75%, 22.90%, 24.35% 및 23.67%로 나타났다. 입자의 크기가 작아질수록 총 페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능의 수치가 증가하나 입자의 크기가 가장 작은 M5에서는 오히려 그 수치가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 총 페놀 함량에서 M1과 M2, M3에서는 수치로는 차이가 있었으나 통계적 차이가 없었으며, M1, M2, M3와 M4, M5 사이에는 통계적으로 차이가 있었다. DPPH 라디칼 소거능에서도 수치적 차이는 보이나 통계적으로는 M2, M3, M5의 입자크기에서는 차이가 나타나지 않았지만 M1과 M5와는 통계적으로 유의적인 차이가 나타났다. 이는 시료의 입자의 크기가 작아지면서 추출 효율이 높아진 것으로 생각되며 입자의 크기가 너무 작은 경우는 오히려 감소되는 경향을 보인다. Rice-Evans 등(1997)에 의하면 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, 곡류에 함유되어 있는 폴리페놀 화합물들은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(Middleton *et al.*, 1994).

Table 4. The free sugar contents of corn silk according to different particle size.

Particle size ¹⁾	Fructose	Glucose	Galactose	Sucrose	Maltose
 (%)				
M1	1.96a ²⁾	3.95a	0.03a	0.05a	ND ³⁾
M2	1.94a	3.91a	0.01a	0.08a	ND
M3	1.96a	4.01a	0.01a	0.09a	0.01a
M4	1.93a	4.01a	ND	0.07a	ND
M5	1.94a	3.88a	ND	0.08a	ND

¹⁾ Classify according to grinding methods.

²⁾ Mean with the same letter in a column are not significantly different at the 0.05 probability.

³⁾ ND: Not detection.

Table 5. The contents of total phenolic compounds and antioxidant activities of corn silks.

Particle size ¹⁾	Total phenol contents	DPPH radical scavenging
 (µg/g DW) (%)
M1	2009.50 ± 39.88b ²⁾	21.00 ± 1.12b
M2	2022.00 ± 27.30b	21.75 ± 2.24ab
M3	2064.08 ± 21.31b	22.90 ± 1.32ab
M4	2264.08 ± 65.16a	24.35 ± 1.39a
M5	2260.17 ± 61.00a	23.67 ± 1.54ab

¹⁾ Classify according to grinding methods.

²⁾ Mean with the same letter in a column are not significantly different at the 0.05 probability.

옥수수수염 유래의 플라보노이드로는 maysin, apimasin, methoxymasin이 있으며 이중 maysin은 옥수수수염에 가장 많이 함유되어 있는 대표적인 기능성 물질로 corn earworm의 생육억제활성, 종양 세포주에 대한 세포독성 효과 및 라디칼 소거활성 등이 보고되어 있다(Lee *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2003). 본 연구에서 옥수수 수염의 입자 크기가 작을수록 추출 효율이 향상되어 추출된 총 페놀 함량이 증가 하여서 DPPH 라디칼 소거활성이 유의적으로 증가한 것으로 생각된다.

입자크기별 옥수수 수염분말의 항산화활성을 측정한 결

과는 Table 6과 같다. 먼저 Ascorbic acid equivalents는 각각 1,663 μmol , 1,948 μmol , 2,472 μmol , 2,174 μmol 및 2,259 μmol 로 입자크기에 따라 통계적 유의성이 없었다. TEAC 실험에서는 각각 2.36 μmol , 2.81 μmol , 3.20 μmol , 3.36 μmol 및 3.44 $\mu\text{mol TE/g dw}$ 로 입자크기가 작아질수록 그 수치가 증가하여 추출 효율 향상에 따른 항산화 활성이 우수함을 보여 주었다. DPPH 실험은 pH에 민감하게 반응하는 실험인데 비해, Lemanska 등(2001)은 TEAC 실험은 넓은 범위의 pH에 적용될 수 있는 항산화 측정 방법으로 항산화능을 정확하게 측정할 수 있는 실험법이라고 보고 하였다.

Table 6. Ascorbic acid equivalents, TEAC and FRAP from corn silk according to different particle size.

Particle size ¹⁾	Ascorbic acid equivalents ²⁾ (μmol)	TEAC value ³⁾ (μmol TE / g DW)	FRAP value ⁴⁾ (μmol Fe(II) / g DW)
M1	1,663a ⁵⁾	2.36c	11.67b
M2	1,948a	2.81b	12.80ab
M3	2,472a	3.20a	13.43ab
M4	2,174a	3.36a	13.85ab
M5	2,259a	3.44a	15.95a

1) Classify according to grinding methods.

2) Analysis using a illuminator (minilum L-100, ABCD GmbH, Germany).

3) TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) value is expressed as Trolox concentration, an antioxidant capacity equivalent.

4) FRAP (Ferric reducing antioxidant power) value is expressed as Fe²⁺ μM concentration, obtained from a FeSO₄ solution having an antioxidant capacity equivalent.

5) Mean with the same letter in a column are not significantly different at the 0.05 probability.

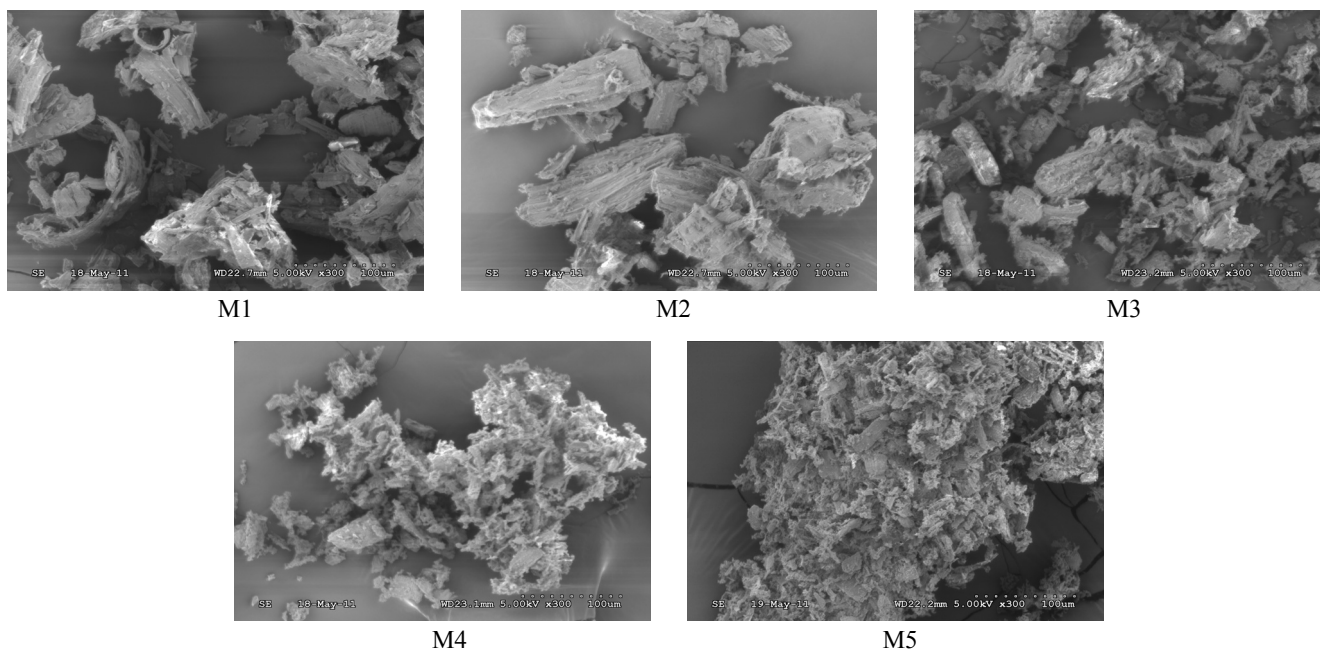


Photo 1. Electron microscope of corn silk powder pulverized at different rates.

Table 7. Correlation coefficient between the contents of functional substances and antioxidant effects by DPPH radical scavenging, ascorbic acid equivalents, FRAP, TEAC assay from corn silk according to different particle size.

	Particle Size	Lightness	Redness	Yellowness	Crude fat	Crude fiber	Crude protein	Crude ash	Total phenol contents	DPPH radical scavenging	Ascorbic acid equivalents	FRAP
Lightness	-0.988*** ¹⁾											
Redness	-0.855***	0.812**										
Yellowness	-0.985***	0.986***	0.893***									
Crude fat	-0.537*	0.556*	0.557*	0.597*								
Crude fiber	0.515*	-0.451	-0.41	-0.446	-0.247							
Crude protein	0.938***	-0.935**	-0.862***	-0.951***	-0.504	0.495						
Crude ash	-0.240	0.205	0.475	0.308	0.161	-0.332	-0.343					
Total phenol contents	-0.881***	0.867***	0.798**	0.876***	0.298	-0.302	-0.869***	0.311				
DPPH radical scavenging	-0.682**	0.609	0.765**	0.658**	0.228	-0.42	-0.608*	0.203	0.565*			
Ascorbic acid equivalents	-0.636**	0.643**	0.442	0.607*	0.530*	-0.62*	-0.483	-0.104	0.319	0.482		
FRAP	-0.664**	0.668**	0.594*	0.671**	0.366	-0.52*	-0.677**	0.254	0.452	0.273	0.474	
TEAC	-0.932***	0.928***	0.672**	0.887***	0.427	-0.684**	-0.861***	0.211	0.790**	0.522*	0.718**	0.681**

¹⁾ *, **, *** : Significant at $p = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

FRAP 실험은 시료가 3가철을 2가철로 환원시킬 때 2가철이 나타내는 흡광도를 측정하여 항산화능을 평가하는 방법으로 라디칼의 소거활성을 측정하는 DPPH 실험방법과는 다른 메커니즘의 항산화 측정법이다(Yoo *et al.*, 2007). 이러한 실험방법을 이용하여 FRAP 실험에서도 옥수수 분말의 입자크기가 작아질수록 그 수치가 유의적이게 증가하였으며 이는 입자크기가 작아질수록 추출효율이 향상되어 항산화력이 증가하였음을 보여준다.

입자크기별 옥수수수염 분말의 성분과 항산화활성 간의 상관관계

옥수수수염 분말의 입자별 기능성분과 항산화 활성간의 상관관계를 분석한 결과 Table 7과 같았다. 입자크기가 작아질수록 각각 명도(-0.988***), 적색도(-0.855***), 황색도(-0.985***), 총 페놀 함량(-0.881***), TEAC(-0.932***)으로 입자크기와 매우 높은 고도의 유의한 부의 상관관계가 있었고 조단백질 함량(0.938***)과는 매우 높은 고도의 유의한 정의 상관관계가 있었다. 또한 DPPH 라디칼 소거능, ascorbic acid equivalents, FRAP와 같은 항산화 활성과의 관계에서는 각각 -0.682**, -0.636**, -0.664**로 나타나 입자크기가 작을수록 항산화 활성이 높아지는 고도로 유의한 부의 상관관계를 보였다. 조단백질 함량은 조지방, 조회분 함량과는 유의성을 보이지 않았다. 그러나 조단백질 함량은 입자크

기(0.938***)와 정의 상관관계를 보였고, redness(-0.862***), yellowness(-0.951***)와 총 페놀 함량(-0.869***), TEAC (-0.861***)에서 매우 높은 부의 상관관계가 나타내었으며, FRAP(-0.677**)와도 고도로 유의한 부의 상관관계가 있었다. 또한 총 페놀 함량은 각각 입자크기(-0.881***), 조단백질(-0.869***)로 매우 높은 고도의 유의한 부의 상관관계가 있었고 lightness(0.867***), yellowness(0.876***)에서는 매우 높은 고도의 유의한 정의 상관관계를 보였다. 또한 TEAC 와도 0.790**로 고도로 유의한 상관관계를 보였다.

적 요

본 연구에서는 옥수수수염을 일반분쇄기와 저온초미분쇄기를 이용하여 얻은 5단계의 다른 입자 크기의 옥수수수염 분말을 각각의 입자 크기별 이화학적 특성을 검토하고 항산화활성을 평가하여 최적의 입자크기를 찾고 우수한 가공법을 확립하고자 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 건조된 옥수수수염을 일반적 분쇄 방법과 저온초미분쇄기를 이용하여 분쇄한 5단계의 입자크기는 각각 199.17 μm , 178.27 μm , 85.48 μm , 27.04 μm 및 20.97 μm 로 가장 큰 입자 크기와 가장 작은 입자 크기와의 약

- 10배 가량 입자크기의 차이가 있었다.
2. 입자크기별 옥수수수염 분말의 색차는 입자의 크기가 작아질수록 명도와 황색도의 수치가 커졌다.
 3. 또한 입자크기별 옥수수 수염 분말을 주사전자현미경 (SEM)을 이용하여 300배 확대하여 관찰한 결과 입자의 크기가 작아질수록 확대한 입자의 크기가 작은 것을 확인할 수 있었으며 입자의 모양은 다각형의 모양을 보였다.
 4. 입자크기별 옥수수수염 분말의 조지방, 조섬유, 조회분, 조단백질 함량과 유리당 함량을 분석한 결과 조섬유 함량과 조단백질 함량은 입자크기가 작아질수록 그 수치가 줄어들었고, 조지방 함량과 조단백질 함량, 유리당 함량은 입자크기 간에 유의적인 차이를 보이지 않았다.
 5. 입자크기별 옥수수수염 분말의 총 페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능 모두 입자크기가 작아질수록 그 수치가 증가하였고 통계적으로도 유의적인 차이를 보였다.
 6. 옥수수수염 분말의 입자크기에 따른 ascorbic acid equivalents는 입자크기간의 수치적으로는 차이가 있는 것으로 보였으나 통계적으로는 서로간의 유의적 차이가 없는 것으로 나타났으나 TEAC 실험과 FRAP 실험에서는 입자크기가 작아질수록 그 수치가 증가하였고 통계적으로도 유의적인 차이를 보였다.
 7. 옥수수수염 분말의 입자크기, 색도, 이화학적 특성 및 항산화 활성간의 상관관계를 분석한 결과 서로 유의적 관계를 보였으며 특히 입자크기가 작아질수록 명도, 적색도, 황색도, 총 페놀 함량, ascorbic acid equivalents, TEAC에서 고도로 유의한 상관관계를 보였다.

인용문헌

- Halliwell, B and J. M. C. Gutteridge. 1998. In free radicals in biology and medicine. Oxford University Press. Oxford, U.K.
- Han M. R., A. J. Kim, M. J. Chang, S. J. Lee, H. S. Kim and M. H. Kim. 2009. Investigation of physical property change in modified corn starch by ultra fine pulverization. Food Engine. Prog. 13, 335-340.
- Han M. R., M. J. Chang and M. H. Kim. 2007. Investigation of physical property change in modified rice starch by ultra fine pulverization. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 50, 160-166.
- Hashimoto, N. M. A., M. I. Genovese and F. M. Lajolo. 2005. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. J. Agric. Food Chem. 53 : 2928-2935.
- Hwang J. Y., Ham J. Y. and S. H. Nam 2004. The antioxidant activity of Maesil (*Prunus mume*). Korean J. Food Sci. Technol. 36(3) : 461-464
- Jang H. W. Lee H. J. and K. G. Lee. 2005. Analysis and antioxidant activity of volatile extracts from plants commonly used in Korean foods. Korean J. Food Sci. Technol. 37(5) : 729-729.
- Kang S. H., 1995. Powder technology. Sci. Tech. Media, Seoul, Korea.
- Kim D. W., K. S. Chang, U. H. Lee and S. S. Kim. 1996. Moisture sorption characteristics of model food powders. Korean J. Food Sci. Technol. 28 : 1146-1150.
- Kim E. Y., Baik I. H., Kim J. H., Kim S. R. and M. R. Rhyu 2004 Screening of the antioxidant activity of some medicinal plants. Korean J. Food Sci. Technol. 36(2) : 333-338.
- Kim H. B., S. H. Koh and Y. S. Seok. 2006. Anti-oxidative effect of 'Cheongilppong' with mulberry leaves according to different collection areas and some kinds of mulberry branches. Korean J. Seric. Sci. 48(2) : 41-45.
- Kim, J. S., S. H. Lee, H. Y. Lee, K. H. Kim and Y. I. Kim. 1993. Effects of different milling methods on physico-chemical properties and products. Korean J. Food Sci. Technol. 25 : 546-551.
- Kim S. L., M. E. Snook and J. O. Lee. 2003. Radical scavenging activity and cytotoxicity of maysin (C-glycosylflavone) isolated from silks of *Zea mays* L. Korean J. Crop Sci. 48 : 392-396
- Kim, T. Y., T. W. Jeon, S. H. Yeo, S. B. Kim, J. S. Kim and J. S. Kwak. 2010. Antimicrobial, antioxidant and SOD-like activity effect of *Jubak* extracts. Korea J. Food Nutr. 23, 229-305.
- Ko J. W., W. Y. Lee, J. H. Lee, Y. S. Ha and Y. H. Choi. 1999. Absorption characteristics of dried shiitake mushroom powder using different drying methods. Korean J Food Sci. Technol. 31 : 128-137.
- Ku, K. M., S. K. Kim and Y. H. Kang. 2009. Antioxidant activity and functional components of corn silk (*Zea mays* L.). Korean J. Plant Res. 22, 323-329.
- Kuo, J. M., D. B. Yeh and A. Hwang. 1998. A rapid photometric assay for determining antioxidative activity. IFT Annu. Meet. Abstract 72A-1.
- Kuo, J. M., D. B. Yeh and B. S. Pan. 1999. Rapid photometric assay evaluating antioxidative activity in edible plant material. J. Agric. Food Chem. 47 : 3206-3209.
- Kwan J. J., J. g. Lee and O. C. Kim. 1999. Volatile compounds of corn silk (*Zea may* L.). Korean J. Food Nutr. 12 : 375-379.
- Lee, E. A., P. F. Byrne, M. D. McMullen, M. E. Snook, B. R. Wiseman, N. W. Widstrom and E. H. Coe. 1998. Genetic mechanisms underlying apimaysin and maysin synthesis and corn earworm antibiosis in maize (*Zea may* L.). Genetics. 149 : 1997-2006.

- Lee, Y. C. and D. Yang. 2002. Determination of lysozyme activities in a micro-plate format. *Anal. Biochem.* 310, 223-224.
- Lee, Y. T., H. M. Seog, M. K. Cho and S. S. Kim. 1996. Physicochemical properties of hull-less barley flours prepared with different grinding mills. *Korea J. Food Nutr.* 28 : 1078-1083.
- Lemanska, K., H. Szymusiak., B. Tycowska., R. Zielinski., A. E. M. F. Soffer and I. M. C. M. Rietjens. 2001. The influence of pH on the antioxidant properties and the mechanisms of antioxidant action of hydroxy-flavones. *Free Radical Biological Medicine.* 31 : 869-881.
- Middleton E., C. Kandaswami. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol.* 48, 115-119.
- Park D. J., K. H. Ku and S. H. Kim. 1996. Characteristics and application of defected soybean meal fractions obtained by microparticulation / air-classification. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28 : 497-505.
- Park Y. K., H. M. Seong, Y. J. Nam and D. H. Shin. 1988. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20 : 504-510.
- Rice-Evans C. A., N. J. Miller and G. Paganga. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Sci.* 2, 152-159.
- Senpuku, H., H. Kato, M. Todoroki, N. Hanada and T. Nisizawa. 1996. Interaction of lysozyme with a surface protein antigen of *Streptococcus mutans*. *FEMS Microbiol. Lett.* 139, 195-201.
- Song J. C. and H. J. Park 1997. *New food processing.* Yulim Publishing, Seoul, Korea. pp. 105-120.
- Touch, V., S. Hayakawa, S. Yamada and S. Kaneko. 2004. Effects of a lactoperoxidase-thiocyanate-hydrogen peroxide system on salmonella enteritidis in animal or vegetable foods. *Int. J. Food Microbiol.* 93, 175-183.
- Tsai, P. J. and C. H. Sheu. 2006. The significance of phenol-protein interactions in modifying the antioxidant capacity of pea. *J. Agric. Food Chem.* 54, 8491-8494.
- Tsai, P. J., S. C. Wn and Y. K. Cheng. 2008. Role of polyphenols in antioxidant capacity of napiergrass from different growing seasons. *Food Chem.* 106, 27-32.
- Tsai, P. J., Y. S. Chen, C. H. Sheu and C. Y. Chen. 2011. Effect of nanogrinding on the pigment and bioactivity of Djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz). *J. Agric. Food Chem.* 59, 1814-1820.
- Weiss, J., P. Takhistov and D. J. McClements. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *J. Food Sci.* 71, 107-116.
- Wu, C. L. 2005. Assessment of curcumin nanoparticles on bioactivities using cultured cells model. Master's thesis, National Taiwan Ocean University.
- Yoo, K. M., D. O. Kim and C. Y. Lee. 2007. Evaluation of different methods of antioxidant measurement. *Food. Sci. Biotechnol.* 16 : 177-182.