

검정찰옥수수 종실 분쇄 정도에 따른 항산화 및 Cytotoxicity 활성 효과

김정태*[†] · 손범영* · 이진석* · 백성범* · 우관식** · 정건호* · 김미정* · 정광호* · 권영업*

*농촌진흥청 국립식량과학원, **농촌진흥청 국립식량과학원 기능성작물부

Effect of Particle Size on Antioxidant Activity and Cytotoxicity in Purple Corn Seed Powder

Jung Tae Kim*[†], Beum Young Son*, Jin Seok Lee*, Seong Bum Baek*, Kan Sik Woo**,
Gun Ho Jung*, Mi Jung Kim*, Kwang Ho Jeong*, and Young-Up Kwon*

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

**Department Of Functional Crop, NICS, RDA, Milyang 627-803, Korea

ABSTRACT This study was carried out to evaluate antioxidant and anticancer activity of crudes extracts from colored corn (*Zea mays*. L.) among particle size with different pulverizing methods (pin mill and ultra fine pulverizer). In cytotoxicity test using extracts from the flours grounded by pin mill and ultra fine pulverizer respectively, it showed that A-549 was the highest anticancer activity among *in vitro* using 4 cancer cell line types (Hep-G2, A-549, HCT-116 and MCF-7). Assessing the antioxidant activities of crude extracted from different pulverizing methods was measured by trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP). Higher scavenging activity against free radical was observed in the crude extracted from small particle size flours of colored corn than in those of the big particle size.

Keywords : corn, particle size, antioxidant, cytotoxicity

옥수수(*Zea may* L.) 과피의 색은 흰색, 노란색, 자색, 검정색 등으로 매우 다양하다. 특히 검정색 과피를 가진 옥수수는 안토시아닌(anthocyanin) 색소가 집적된 것으로 Coe(1988) 등에 의하면 *C2*, *A1*, *A2*, *Bz1*, *Bz2* 등의 구조유전자 발현과 *P*, *R*, *Cl*, *B*, *Pl* 등의 조절유전자가 관여한다고 하였다. 특히 *P*, *R*, *Cl* 유전자가 옥수수 과피와 호분층의 안토시아닌 합성을 관여하여 안토시아닌 합성을 조절하는 것으로 알려져 있다(Neuffer *et al.*, 1997 ; Wienand 1994 ; Kim 2010). 플라보노이드 계열 중의 하나이며 색소로서 중요한 안토시

아닌은 항산화 활성, 항노화, 항종양과 함염증 효과, 심장병 억제 등에 효과가 있는 것으로 알려져 있으며(Koide *et al.*, 1997), 이에 따라 이용성 증진을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 검정옥수수 색소에 관한 연구에서 Kim *et al.*(1999, 2000)은 검정찰옥수수 종실에서 cyanidin-3-glucoside을 포함하는 5종의 안토시아닌 색소를 분리하여 보고하였다.

식품의 미립 분말에 관한 연구는 모형식품분말의 흡습특성(Kim *et al.*, 1996) 을 비롯하여 미립에 따른 연구(Park *et al.*, 1996 ; Ko *et al.*, 1999) 등을 통해 미립 분말에 대한 활용성 연구가 진행되어 왔다. 분쇄기를 이용한 분쇄방법에 따른 연구도 진행되어 Lee *et al.*(1996)은 분쇄기 종류에 따른 보리 가루의 이화학적 특성에 관한 연구와 Kim *et al.*(1993)은 다양한 분쇄기 종류에 따라 쌀가루 및 제품의 특성에 미치는 영향을 연구하여 보고하였다. Cha *et al.*(2012)은 옥수수 수염 분말을 입자크기별로 구분 후 이화학적 특성과 항산화 활성에 대해 연구하였다. 국내에서의 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 ; Cha *et al.*, 2012). 해외에서는 자생하는 식물인 Djulis를 분쇄 입자 크기에 따라 나누어 항산화 활성을 실험한 결과 입자크기가 미세할수록 Djulis의 항산화 활성과 효소활성이 높았다고 보고하였다(Tasi & Sheu, 2006). 이처럼 입자가 미세할수록 항산화 활성 등이 증가하지만 미세분말은 분쇄과정에서 분쇄장치의 높은 열로 성분의 변화 및 변성을 일으킬 수 있다. Shu *et*

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

<Received 20 July , 2012; Revised 16 October, 2012; Accepted 24 October, 2012>

al.(2004)에 의하면 저온미쇄가 상온분쇄에 비하여 향기의 강도가 높고 풍미의 손실이 적으며, 입도가 미세해짐에 따라 명도 등 선명도가 향상된다고 하였다.

우리나라는 찹옥수수를 주로 찯옥수수 상태로 찌서 먹는 형태로 이용하는데, 그 수확시기가 지나면 당이 전분으로 전환되어 이용성이 매우 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 수확 시기가 지난 검정찰옥수수의 입자크기에 따른 항산화 활성과 cytotoxicity 활성을 검정하여 검정찰옥수수 이용성 증진을 위한 기초자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시험 재료

시험 재료는 국립식량과학원에서 육중한 검은색 과피를 가진 흑진주찰을 수확 후 건조하여 이용하였다. 수확한 흑진주찰 옥수수 종실의 수분이 14%가 되도록 건조시킨 후 일반분쇄와 미세분쇄를 실시하였다. 일반분쇄(Pin mill)는 Laboratory mill 3303(Perten, Filand)을 이용하였으며, 저온미세분쇄는 Ultra pin mill(HKP-02, Korea Energy Technology)를 이용하여 -20℃의 저온을 유지하면서 분쇄하였다.

입도분석

일반분쇄와 저온미세분쇄 후 얻어진 분말을 Particle Size Analyzer(Beckman Coulter LS200, Boulevard Brea, CA)를 이용하여 입도분석을 하였다. 분쇄된 종실 분말 2 g을 증류수에 넣고 1분간 분산시킨 후 입자의 직경, 평균입자직경

등을 측정하였다.

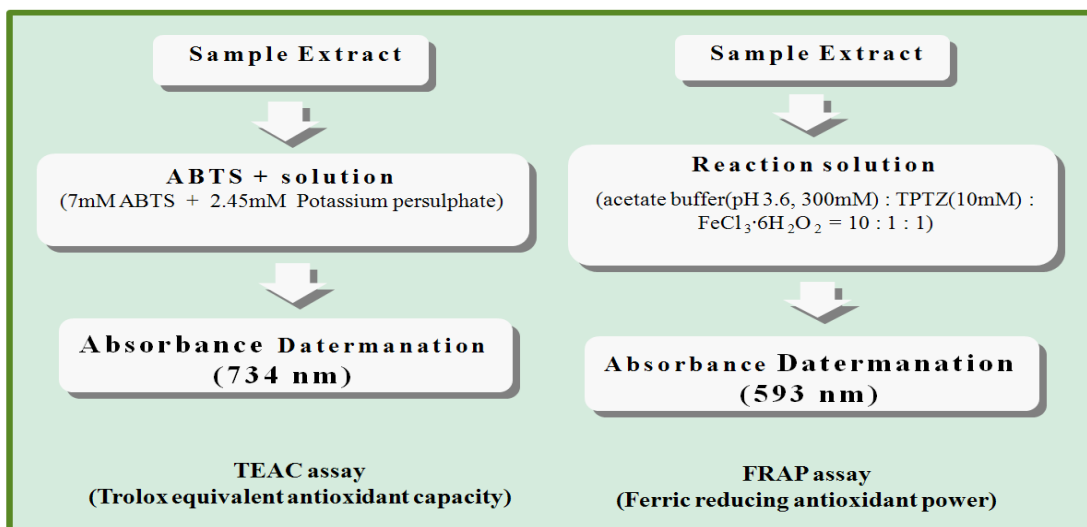
추출물 제조

항산화 활성과 cytotoxicity 활성의 검정을 위해서 일반분쇄와 저온미세분쇄 한 검정찰옥수수 분말을 70% 에탄올을 이용하여 유용성분을 추출하였다. 시료 10 g에 70% 에탄올 500 ml를 첨가한 후 24시간 진탕배양기에서 추출하였다. 추출 후 Whatman No.42로 여과한 후 회전진공농축기로 추출 용매를 완전히 제거한 후 동결건조하여 사용하였다.

항산화 활성 측정

검정찰옥수수의 분쇄 정도에 따른 항산화 효과를 검정하기 위하여 Hu & Xu(2011)의 방법을 응용하여 TEAC(trolox equivalent antioxidant capacity)와 FRAP(ferric reducing antioxidant power)를 측정하였다(Fig. 1).

TEAC(trolox equivalent antioxidant capacity)에 의한 항산화 활성 측정은ABTS(2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) 7 mM과 potassium persulphate 2.45 mM을 2:1비율로 혼합한 후 16-24시간 이상 암소에 방치하여 청록색의 ABTS⁺ radical을 형성시켰다. 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 μl 를 가하여 흡광도 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. 활성의 표시는 Trolox(Sigma-Aldrich)를 표준물질로 사용하였으며 추출시료에 대한 Trolox 당량으로 나타내었다.



Antioxidant activities

Fig. 1. The measurement of antioxidant activity by TEAC and FRAP assay applied by Hu & Xu methods (2011).

FRAP(ferric reducing antioxidant power)에 의한 항산화 활성 측정은 시료 추출물 내의 항산화 성분에 의해 Fe²⁺이 온이 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 제조하고, 40 mM HCl과 PTZ(2, 4, 6- tripyridyl-s-triazine)를 이용하여 10 mM TPTZ solution 을 제조하였다. 실험을 위한 반응용액(cocktail solution)은 300 mM acetate buffer(pH 3.6), 10 mM TPTZ 및 20mM FeCl₃·6H₂O를 10 : 1: 1의 비율로 섞어 만든 후, 실험 전까지 37°C를 유지하여 사용하였다. 시료 추출물 100 μl에 증류수 3.1 ml와 FRAP reagent 1.8 ml를 혼합하였다. 37°C 암실에서 30분 동안 방치 한 후 593 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 FeSO₄·7H₂O(iron(II) sulfate heptahydrate)를 사용하였다.

Cytotoxicity 활성 측정

본 실험에서 사용한 세포주는 HCT-116(colorectal carcinoma), A-549(lung large cell carcinoma : KCLB 30177), MCF-7 (stomach adenocarcinoma: KCLB 80103) 및 Hep-G2(liver hepatoblastoma KCLB 88065) 이었으며, 한국세포주은행(KCLB)에서 분양 받아 사용하였다. 각각의 세포는 10% fetal bovine serum(FBS)와 100 U/ml penicillin G, 50 μg/ml streptomycin을 첨가한 RPMI-1640(Gibco Co., USA)을 사용하여 5% CO₂, 37°C 배양기에서 배양하였으며, 세포 밀도가 높아지면 5분간 Trypsin-EDTA를 처리하여 계대배양을 실시하였다. 검정찰옥수수 종실 분쇄 입자에 따른 암세포주 증식에 미치는 영향은 Ishiyama *et al.*(1996)의 방법을 응용하여 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide(MTT) assay를 실시하였다. 즉, 1×10⁵ cell/well 농도로 96 well plate에 100 μL씩 분주 한 후 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 24시간 배양 후, 전 배양에 사용된 배지를 제거하고 배지에 일정 농도로 희석된 추출물을 100 μL를 첨가하여 다시 24시간 배양하였다. 배양 완료 후 2 mg/ml 농도의

MTT시약을 well당 10 μl씩 분주한 다음 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 4시간 배양한 후 MTT시약이 포함된 배지를 제거하고 dimethyl sulfoxide(DMSO) 100 μl를 가한 다음 상온에서 발색시키고, ELISA microplate reader(ELx808, Bio-tek® Inc., USA)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각각의 암세포증식 억제율은 다음의 식에 따라 생존율로 표시하였다.

$$\text{Cell viability}(\% \text{ of control}) = \left(\frac{\text{시료처리구의 흡광도}}{\text{control 흡광도}} \right) \times 100$$

통계 분석

모든 실험은 3반복 측정하였으며 통계프로그램인 SAS 프로그램(Statistical analysis system; Ver. 9.2, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 One-way ANOVA 및 Duncan multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

일반분쇄(pin mill)와 저온미세분쇄(ultra pin mill)로 얻어진 입자크기에 따른 분말 시료의 특성을 입도분포기를 이용하여 입도분포, 평균입자직경 및 중간값 등을 측정하고 결과는 Table 1과 같다. 분쇄 정도에 따른 평균값은 일반분쇄가 473.7 μm, 저온미세분쇄 17.2 μm이었으며 중간값은 336.9 μm 와 13.4 μm를 나타내었다. 일반분쇄에 비하여 저온미세분쇄의 경우 평균 입자크기에서 약 20배 정도 작은 입자크기 작은 수치를 보였다. 검정찰옥수수 분말 입자 전체 분포 중 10%(d10)이내의 경계점은 일반분쇄가 22.3 μm, 저온미세분쇄가 3.2 μm 이었으며 90%(d90)이상의 크기의 경계점은 일반분쇄 934.3 μm, 저온미세분쇄 30.1 μm이었다. Han *et al.*(2009)는 옥수수 전분을 초저온미쇄할 경우 평균직경이 감소하고 비표면적은 증가하였다고 보고하였는데, 본 실험에서 검정찰옥수수를 일반분쇄할 경우에 비하여 저온미세분쇄 할 경우 평균 입자크기, d10, d90에서 입자가 크게 작아지는 결

Table 1. Variation of particle size according to different pulverizing methods in the purple corn powder.

Pulverizing methods	Mean	Median	S.D.	d10	d90
			----- μm -----		
PM	473.7	454.8	336.9	22.3	934.3
UPM	17.2	15.6	13.4	3.2	30.1

PM : Pin mill, UPM : Ultra pin mill, S.D. : Standard deviation
 d10 : Particle size of the minimum 10% measurement
 d90 : Particle size of the minimum 90% measurement

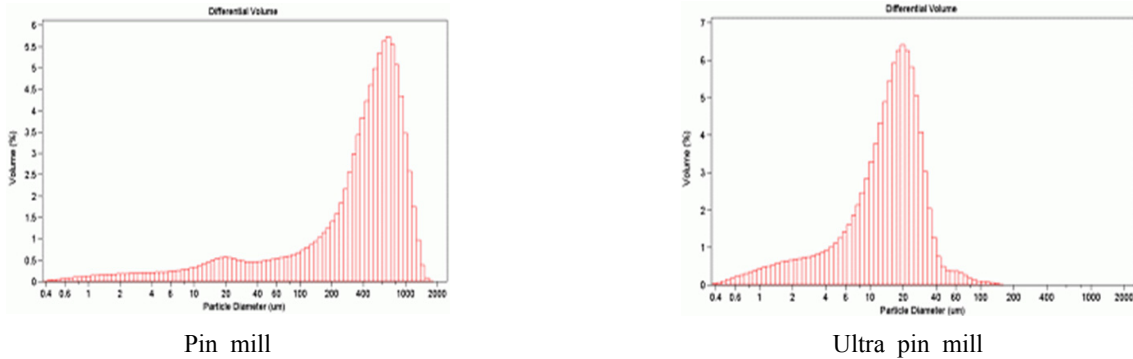


Fig. 2. The distribution of particle size after different pulverizing methods.

과가 나타났다. Fig. 2에서 일반분쇄와 저온미세분쇄일 경우에 일반분쇄의 경우에는 입자분포가 넓게 분포하는 경향을 보이지만 저온미세분쇄의 경우 입자분포의 폭이 작으므로 나타났다.

입자크기에 따른 검정찰옥수수 분말의 항산화 활성을 TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity)와 FRAP(ferric reducing antioxidant power)을 이용하여 측정된 결과는 Table 2와 같다. TEAC 활성 측정 결과 일반분쇄는 3.87 $\mu\text{mol TE/g}$ 로서 저온미세분쇄 5.15 $\mu\text{mol TE/g}$ 보다 낮은 활성을 보였다. FRAP 활성 측정에서는 저온미세분쇄가 10.08 $\mu\text{mol Fe(II)/g}$ 로 일반분쇄 8.86 $\mu\text{mol Fe(II)/g}$ 보다 높은 활성을 보였다. 검정찰옥수수에 대한 TEAC 활성과 FRAP 활성 측정에서 일반분쇄와 저온미세분쇄 분말의 항산화 활성은 저온미세분쇄에서 높았으며 통계적으로도 유의한 결과를 나타내었다. Cha *et al.*(2012)는 입자크기가 작아질수록 항산화 활성이 증가하며 이는 입자크기가 작아질수록 추출효율이 향상되어 항산화력이 증가한다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 입자 크기가 작아질수록 항산화 활성이 높아져 앞선 연구결과와 일치하는 경향을 보였다. 또한 검정찰옥수수의 종실의 추출물이 항산화 활성을 나타내며 특히 cyanidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside 등이 존재한다고 보고하였다(Yang & Zhai, 2009). 따라서 미세분쇄할 경우 같은 양에서 입자 크기가 작아서 추출용매와 접촉할 표면적이 커지므로 검정찰옥수수 종실의 추출물의 추출효율이 높아져서 항산화 활성이 높아지는 것으로 생각되어진다.

검정찰옥수수 종실 추출물을 이용한 cytotoxicity 활성 측정을 위하여 HCT-116(colorectal carcinoma : KCLB 10247), A-549(lung large cell carcinoma : KCLB 30177), MCF-7 (stomach adenocarcinoma : KCLB 80103) 및 Hep-G2(liver hepatoblastoma ; KCLB 88065)의 세포주를 이용하였다. 간암 세포주(Hep-G2) 성장억제에 미치는 영향은 1 mg/ml 농

Table 2. The trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC), ferric reducing antioxidant power (FRAP) according to different pulverizing methods.

Pulverizing methods	TEAC ¹⁾	FRAP ²⁾
	--- $\mu\text{mol TE/g}$ ----	---- $\mu\text{mol Fe(II)/g}$ ----
Pin mill	3.87 ^b	8.86 ^b
Ultra pin mill	5.15 ^a	10.08 ^a

¹⁾TEAC: Trolox equivalent antioxidant capacity, ²⁾FRAP: Ferric reducing antioxidant power

도에서 검정찰옥수수 종실을 일반분쇄(31.48%)한 것 보다 저온미세분쇄(27.41%)를 한 경우에 암세포 성장억제 효과가 큰 것으로 나타났다. A-549 폐암세포주를 이용한 성장억제 영향은 0.5 mg/ml에서 일반 분쇄보다 저온미세분쇄가 높은 억제 효과를 보였고 1 mg/ml에서는 일반분쇄가 조금 높은 성장억제 효과를 보였다.

대장암 세포주인 HCT-116에서는 1 mg/ml에서 분쇄정도에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며, 유방암 세포주(MCF-7)에서는 일반분쇄가 미세분쇄보다 높은 성장억제를 보였다. 그러나 검정찰옥수수 일반 분쇄와 미세분쇄 모두 0.5~1 mg/ml에서 각 암세포주에 높은 억제 효과를 보였다. Hou *et al.*(2004)는 human promyelocytic leukemia cell line(HL-60)에서 안토시아닌이 항암작용을 한다고 하였는데 본 실험에서도 검정찰옥수수 종실 내의 안토시아닌이 세포주 성장 억제 역할을 한 것으로 생각되어진다.

Table 3은 분쇄 방법에 따른 분말입자에 대한 에탄올을 이용한 추출비율과 반수치사 농도(IC₅₀)을 나타낸 것이다. 입자가 작을수록 추출효율이 높았는데 같은 무게라도 추출용매의 접촉면이 많아져 추출효율이 높은 것으로 생각되어졌다. 반수 치사율(IC₅₀)은 폐암세포주인 A-549에서는 가장

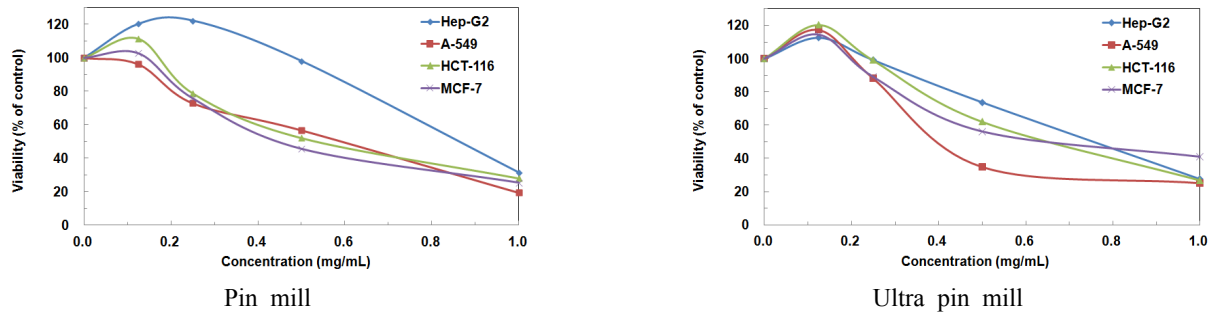


Fig. 3. The inhibition of cancer cell type according to different pulverizing methods.

Table 3. The extract rate and IC₅₀ of cancer cell lines according to different pulverizing methods.

Pulverizing methods	Extract rate ¹⁾ - (%) -	IC ₅₀ of cancer cell lines (µg crude extracted/mL)			
		Hep-G2	A-549	HCT-116	MCF-7
PM	5.2	0.861	0.591	0.542	0.566
UPM	7.8	0.756	0.429	0.672	0.704

Extract rate¹⁾: Percentage of extract weight from the flours grounded by pin mill and ultra fine pulverizer

낮은 농도에서도 세포주를 억제하는 효과를 보였다. Lopez-Martinez *et al.*(2009)은 검정찰옥수수가 풍부하게 페놀계 화합물과 안토시아닌을 함유하고 있어서 항산화 활성이 높은 효과를 가진다고 하였다. 따라서 검정찰옥수수에서 수확 시기가 지나서 풋옥수수로 이용이 불가능 것과 상품성이 떨어지는 것을 미세분말화 할 경우 기능이 증가하여 다양한 용도로 이용할 수 있는 가능성을 가지는 것으로 생각된다.

적 요

본 연구에서는 검정찰옥수수 종실을 일반분쇄와 저온미세분쇄를 하여 입자크기에 따른 항산화 활성과 cytotoxicity를 평가하여 이용성 증진을 하고자 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 분쇄 정도에 따른 평균값은 일반분쇄가 473.7 µm, 저온미세분쇄 17.2 µm이었으며 중간값은 336.9 µm와 13.4 µm를 나타내었다.
2. TEAC 활성 측정 결과 일반분쇄는 3.87 µmol TE/g로서 저온미세분쇄 5.15 µmol TE/g보다 낮은 활성을 보였다. FRAP 활성 측정에서는 저온미세분쇄가 10.08 µmol Fe(II)/g로 일반분쇄 8.86 µmol Fe(II)/g보다 높은 활성을 보였다
3. 간암 세포주(Hep-G2) 성장억제에 미치는 영향은 1 mg/ml

농도에서 검정찰옥수수 종실을 일반분쇄(31.48%)한 것보다 저온미세분쇄(27.41%)를 한 경우가 암세포 성장 억제 효과를 큰 것으로 나타났다.

4. 대장암 세포주인 HCT-116에서는 1 mg/ml에서 분쇄 정도에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며, 유방암 세포주(MCF-7)에서는 일반분쇄가 미세분쇄보다 높은 성장억제를 보였다.

인용문헌

Cha, S. M., B. M. Son, J. S. Lee, S. B. Baek, S. L. Kim, J. H. Ku, J. J. Hwang, B. H. Song, S. H. Woo, Y. U. Kwon, and J. T. Kim. Effect of particle size on physico-chemical properties and antioxidant activity of corn silk powder. *Korean J. Crop Sci.* 57(1) : 41-50.

Coe Jr. E. H., Neuffer M. G., Hoisington D. A. 1988. The genetics of corn. In: Spague GF and Dudley JW (eds). *Corn and corn improvement* (3rd ed). pp. 83-258.

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.

Hou D. X., M. Fuji., N. Terahara, and M. Yoshimoto. 2004. Molecular mechanisms behind the chemopreventive effects of anthocyanidins. *J. Biomedicine and Biotechnology.* 5. 321-325.

Ishiyama, M, H. Tominaga, M. Shiga, K. Sasamoto, Y. Ohkura,

- and K. Ueno. 1996. A combined assay of cell viability and in vitro cytotoxicity with a highly water-soluble tetrazolium salt, neutral red and crystal violet. *Biol Pharm Bull* 19 : 1518-1520.
- 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 H. Y. 2010. Identification of the maize gene component responsible for the anthocyanin biosynthesis of kernel pericarp. *Korean J. Breed Sci.* 42(1) : 50-55.
- Kim H. Y., I. G. Hwang, T. M. Kim, D. J. Kim, D. S. Park, J. H. Kim, J. S. Lee, and H. S. Jeong. 2010. Antiproliferation effects of ethanol and water extracts from germinated rough rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 39(8) : 1107~1112.
- Kim S. L., E. H. Kim, Y. K. Son, J. C. Song, J. J. Hwang, and H. S. Hur. 1999. Identification of anthocyanin pigment in black waxy corn kernels. *Korean J. Breed.* 34(4) : 408-415.
- Kim S. L., J. J. Hwang, J. Song, J. C. Song, and K. H. Jung. 2000. Extraction, purification, and quantification of anthocyanins in colored rice, black soybean, and black waxy corn. *Korean J. Breed.* 32(2) : 146-152.
- 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.
- 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.
- Koide T, Y. Hashimoto, H. Kamei, T. Kojima, M. Hasegawa, K. Terabe. 1997. Antitumor effect of anthocyanin fractions extracted from red soybeans and red beans in vitro and in vivo. *Cancer Biother. Radio.* 12 : 277-280.
- 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.
- 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.
- Lopez-Martinez L. X., R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C. H. Lee, K. L. Parkin, and H. S. Garcia. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *Food Science and Technology.* 42 : 1187-1192
- 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.
- Hu Q. P. and J. G. Xu. 2011. profiles of carotenoids, anthocyanins, phenolics and antioxidant activity of selected color waxy corn grains during maturation. *J. Agri. Food Chem.* 2011 : 2026-2033
- Shu, T. S., G. Lee., Y. K. Seo, K. P. Lee, and D. J. Kim. 2004. Micro particle technology in food science. *Food Science and Industry.* 37(4) : 17-21
- 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.
- Wienand U. 1994. Anthocyanin biosynthesis in maize: a model system to study gene regulation. *Proceedings of the 2nd Korea-Germany Joint Symposium in Plant Biotechnology.* pp. 57-65.
- Yang Z. and W. Zhai. 2010. Identification and antioxidant activity of anthocyanins extracted from the seed and cob of purple corn (*Zea mays* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 11 : 169-176.