

재래종 무와 갯무 추출물의 암세포주 증식 저해 활성 및 Glucosinolate와 Sulforaphane의 함량

최선주¹ · 최아름¹ · 조은혜¹ · 김소영¹ · 이건순² · 이수성³ · 채희정^{1†}

¹호서대학교 식품생물공학과 및 식품기능안전연구센터, ²한국농업대학 교양공통학부, ³㈜바이오브리딩연구소

The Glucosinolate and Sulforaphane Contents of Land Race Radish and Wild Race Radish Extracts and Their Inhibitory Effects on Cancer Cell Lines

Sun-Ju Choi¹, A-Reum Choi¹, Eunhye Cho¹, Soyung Kim¹, Gun-Soon Lee²,
Soo-Seong Lee³ and Hee-Jeong Chae^{1†}

¹Dept. of Food and Biotechnology, and Center for Food Function and Safety, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

²Dept. of Living Sciences, Korea National Agriculture College, Hwasung 445-760, Korea

³BioBreeding Institute, Ansung 456-831, Korea

Abstract

The inhibitory effects of land race radish (LRR) and wild race radish (WRR) extracts on cancer cell lines were investigated. A and their glucosinolate and sulforaphane contents were analyzed. The anticancer activities of the LRR and WRR extracts on the breast cancer cell line MCF-7 were determined by a CCK (cell counting kit) assay, in which WRR showed higher inhibition rates than LRR. The sulforaphane content of WRR was higher than that of LRR. In the lung cancer cell line, A-549, WRR showed higher inhibition rates and a higher total glucosinolate content than LRR. The glucosinolate contents of the radishes were analyzed by the Pd-quicktest method, showing that WRR contained more glucosinolate than LRR in both the trunk and root. In conclusion, these results indicate that wild race radish could be used for the quality improvement of radishes.

Key words : Anticancer activity, glucosinolate, radish, sulforaphane, wild race radish.

서 론

서구 사회에서 노년 인구의 증가와 환경의 악화로 인하여 세계 암 발생율은 매년 증가하고 있으며, 발병률이 높아짐에 따라 식이 요인의 중요성이 대두되면서 일상에서 섭취하는 식품 중에서 항암제로 이용할 수 있는 물질의 연구가 증가하고 있는 실정이다. 특히 녹황색 채소류 중예, 양배추, 브로콜리 및 컬리플라워 등과 같은 십자화과 식물들은 암을 예방하는 대표적인 식품으로 여러 역학 조사 및 실험 연구로 증명되고 있으며(Slominski & Campbell 1998), 암 발생의 위험은 이들의 섭취 횟수가 많을수록 감소한다고 알려졌다(Whitty & Bjeldanes 1987).

십자화과 채소인 무(radish)는 국내에서 생산되는 과채류 중 배추와 더불어 총 생산량의 60% 이상을 차지하고 있는 매우 중요하고 친숙한 작물이다. 무는 민간요법과 고전문헌

을 보면 내복근이라 하여 소화 촉진과 어패류 또는 면류의 중독해소에 효과가 있고, 그 종자를 내복자라 하여 기암, 혈담, 천식 및 늑간 신경통 등에 쓰인다고 한다(Jung DH 1998).

무는 십자화과 채소의 대표 작물로서 무에 대한 연구로는 대부분이 품종별, 계절별로 재배된 무의 이화학적 특성과 깎두기나 동치미 등의 김치 발효 적성에 관한 연구(Lee SE 2006, Ryu *et al* 2000), 무에서 추출한 myrosinase의 분자량과 효소적 특성에 관한 연구(Kim and Lee 1989, Sim *et al* 1993)가 대부분이며, 항암 효과에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

십자화과 식물이 항암 효과를 갖는 것은 glucosinolate와 sulforaphane과 같이 황을 함유한 화합물과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. Glucosinolate는 채소의 조직이 파괴될 때 조직 속의 효소인 myrosinase에 의해 isothiocyanate, nitrile 및 thiocyanate를 형성한다고 보고되어 있다(Van Etten *et al* 1969). Glucosinolate의 일종인 glucobrassicin(indolymethyl glucosinolate)의 자가분해산물인 indole-3-cabinol(I3C), indole-3-acetonitrile(IAN), 3,3-diinoly methane은 설취류에서 화학적으로 발생하는 종양을 저해하고, 이 indole 중 I3C은 cytochrome P-

† Corresponding author : Hee Jeong Chae, Tel : +82-41-540-5642, Fax : +82-41-532-5640, E-mail : hjchae@hoseo.edu

450 의존 monooxygenase의 가장 유력한 유발제이며, 실험 동물에서 화학적으로 유발되는 발암 과정의 가장 강력한 저해제로 보고되어 있다(Wattenberg LW 1977).

Sulforaphane은 phase II 효소들(glutathione transferase와 quinone reductase 등)을 선택적으로 유도함으로써 발암(carcinogenesis)에 대해서 방어 작용(chemoprotection)을 나타낸다고 보고(Bradfield *et al* 1985, Prestera *et al* 1993)된 후 sulforaphane에 대한 관심이 증대되고 있다. 최근 연구 결과들에 의하면 sulforaphane은 다양한 인체 암세포에서 세포주기 진행 과정의 G2/M기를 선택적으로 교란함으로써 암세포의 증식을 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다(Chiao *et al* 2002, Jackson and Singletary 2004, Misiewicz *et al* 2003, Parnaud *et al* 2004, Pham *et al* 2004, Singh *et al* 2004).

재래종 무(*Raphanus sativus*)와 갯무(*Raphanus sativus* var. *hortensis* for. *raphanistroides*)는 비슷한 십자화과 채소로서 뿌리가 크지 않고 잎이 좀 더 질기며 바닷가에서 야생 상태로 서식한다고 하여 갯무라고 불린다. 갯무는 재래종 무에 비해 특이적인 기능성을 갖는 새로운 유전 자원으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 재래종 무와 갯무 추출물이 인체 암 세포주에 대한 세포 독성을 조사하였으며, 암과 관련이 있다고 알려진 glucosinolate와 sulforaphane의 함량을 조사하여 재래종 무와 갯무의 기능성 소재로의 개발 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 재료

실험에 사용된 재래종 무(*Raphanus sativus*)와 갯무(*Raphanus sativus* var. *hortensis* for. *raphanistroides*)는 각각 90종과 25종으로 (주)바이오브리딩연구소로부터 제공받아 사용하였다. 암세포주 증식 저해 활성 분석은 RPMI-1640 배지(with 25 mM HEPES & L-Glutamine, 0.1 μ m sterile filtered)를 사용하였으며, 세포배양용 RPMI-1640 배지와 더불어 penicillin-streptomycin solution, fetal bovine serum(FBS)는 HyClone (Utah, USA)사의 제품을 구매하여 사용하였다. 또한, 세포주의 부착 생존력을 감소시키는 trypsin-EDTA(0.5%)는 Gibco (Grand Island, NY, USA)사의 제품을 사용하였다. 인체 유방암 세포주(MCF-7)과 폐암 세포주(A-549)는 한국세포주은행(Korean Cell Line Bank, KCLB)으로부터 분양받았다.

항암 성분으로 알려진 5-fluorouracil(5-FU)와 indole-3-carbinol(I3C)은 Sigma사(MO, USA) 제품으로 양성 대조군으로 사용하였으며, CCK-8(cell counting kit-8)은 Dojindo(Japan)사의 제품을 구입하여 사용하였다.

2. 시료 조제

열에 약한 것으로 알려져 있는 sulforaphane 및 이와 관련

한 유방암 세포주(MCF-7)를 이용한 실험 재료로서는 무의 생즙을 추출한 시료를 이용하였다.

시료는 무를 뿌리와 줄기로 나누어 여러 번 수세한 후 얇게 썰었다. 무 시료 중량의 2배의 에탄올을 가하여 6시간 동안 진탕배양기(JEIO-TECH, Korea)에서 진탕한 후, 3,200 rpm에서 10분 동안 원심 분리하였다.

폐암 세포주(A-549)를 이용한 증식 저해 활성 및 총 glucosinolate 분석은 열풍 건조시킨 무를 시료로 이용하였다. 시료는 중량의 25배 되는 부피의 50% 에탄올을 가하여 2시간 동안 진탕배양하였고, 40°C의 수욕조(JEIO TECH, Korea)에서 3시간 동안 열수 추출하였다. 추출액을 3,200 rpm에서 10분 동안 원심 분리하여 상등액을 진공농축기(EYELA, Japan)로 감압 농축하여 농축된 시료의 고형분 농도를 굴절계(Tokyo Co., Japan)를 사용하여 측정하였다.

3. 세포 배양 및 처리

본 실험에 사용한 MCF-7 세포와 A-549 세포를 배양하기 위해 분양받은 세포주를 0.2 μ m membrane filter(Stericup and Steritop filter, Millipore, CA, USA)로 멸균한 RPMI-1640 배지(with FBS and penicillin streptomycin)에 접종한 후 37°C의 5% CO₂ 배양기(Forma Sci., USA)에서 배양하였다. Culture dish에 부착된 세포는 trypsin-EDTA로 처리하여 계대 배양하였다.

또한, 세포 생존은 trypan blue 염색법으로 확인하였다. 배양세포를 trypsin-EDTA로 처리하여 부유된 세포 20 μ L를 trypan blue 20 μ L로 염색하여 hematocytometer 및 도립형 배양 현미경(CK40-32PH, Ompusly, Japan)으로 관찰하였다.

4. In Vitro 항암 활성 분석

세포의 초기 농도를 2×10^5 cell/mL로 조절하여 96 well plate에 200 μ L씩 분주하여 10~15시간 후 도립 현미경으로 관찰하여 각 well 면적의 80% 이상이 세포로 도포된 것을 확인하였다.

흡입 장치(World Medical Inc., Korea)를 이용하여 상등 배지를 제거하고 RPMI-1640배지 180 μ L와 무 추출물 20 μ L를 주입하여 24시간 동안 배양하였다. 상등 배지를 제거하고 RPMI-1640(without FBS) 190 μ L와 CCK-8 용액 10 μ L씩 첨가하여 450 nm에서 microplate reader(VERSAmax, Molecular Device, USA)를 사용하여 시간(0~4 hr)에 따른 흡광도를 측정하였다.

본 연구에서는 공시험과의 흡광도 차이로 세포 증식 저해능(inhibition rate %)을 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{Inhibition rate}(\%) = \frac{OD_{\text{blank}} - OD_{\text{sample}}}{OD_{\text{blank}}} \times 100$$

5. Pd-quicktest 발색법에 의한 총 Glucosinolate 함량 분석

무의 건조 시료를 갈아서 300 mg을 정량하여 시험관에 넣고 60% methanol 600 μ L를 혼합하여 80°C의 수욕조에서 5분간 가열처리한 후 여기에 온수(80°C)를 4 mL씩 첨가하고 다시 80°C의 수욕조에서 15분간 보관하였다. 이 용액을 3,200 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 40 μ L 취하고 Pd-용액(23.5% in 25 mL 25% HCl, mass up 1,000 mL distill water) 800 μ L씩 첨가한 후 30분간 반응시켜 microplate reader를 사용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로서 glucosinolate와 구조가 비슷한 sinigrin(Sigma, Mo, USA)를 사용하였다.

6. Sulforaphane 함량 분석

생시료 50 g에 100 mL의 dichloromethane을 넣고 초음파 분쇄기(HD 2200, Germany)로 분쇄(50 power, 1 min)한 후, 4시간 동안 추출하였다. 추출액을 질소 존재하에 농축한 후 여액을 0.2 μ m로 여과한 시료를 Alltech AT-5ms (30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m)을 장착한 GC/MS(Perkin Elmer Clarus 500) 시스템으로 분석하였다.

시료의 이온화는 70 eV의 에너지를 사용한 전자 이온화(electron impact ionization, EI)법으로 행하였으며, 주입구의 온도는 250°C로 설정하였다. 온도 프로그램은 40°C에서 2분간 유지한 다음 10°C/min의 속도로 270°C까지 상승시킨 후 5분간 유지하도록 하였다. Carrier 가스는 helium으로 유속은 1 mL/min이며, split ratio는 7:1로 하였다.

결과 및 고찰

1. 유방암 세포주에 대한 항암 활성 및 Sulforaphane 함량

무 추출물의 유방암 세포주(MCF-7)에 대한 세포 증식 효과에 대해 알아보기 위하여 재래종 무의 줄기와 뿌리 추출물을 각각 phosphate buffered saline(PBS)으로 희석하여 1.6, 0.8, 0.4, 0.2 및 0.1%의 농도가 되도록 준비하고, 양성 대조군으로는 유방암, 자궁경부암(Auborn *et al* 2003)과 폐암세포주의 항암 물질로 알려진 I3C(Yim *et al* 2004)와 5FU를 처리하여 24시간 후의 흡광도를 측정하였다. Fig. 1(A)에서 보는 바와 같이 양성 대조군으로 5FU를 사용한 경우보다 I3C를 사용한 경우 유방암 세포주에 대한 증식 억제율이 높은 것으로 나타났으며, 이에 따라 양성 대조군으로는 I3C를 사용하였다.

무 종류에 따른 유방암 세포주(MCF-7)의 증식에 미치는 영향을 조사하기 위해 재래종 무와 갯무를 농도별로 나누어 각각의 시료가 함유된 배양액에서 24시간 배양한 뒤 세포수를 측정하였으며, 1.6%의 농도까지 줄기의 추출물 농도가 높

아질 때, 농도 의존적인 암세포 증식 억제 효과가 확인되었고(Fig. 1(B)), 현저한 세포 밀도의 감소 현상과 형태적인 변화를 관찰할 수 있었다.

무의 에탄올 추출물에 대한 뿌리와 줄기의 세포 증식 억제 효과를 살펴본 결과, Fig. 1(B)에서 보는 바와 같이 1.6%의 줄기 추출물로 처리한 경우에서 I3C(0.005%)의 암세포 증식 억제 활성과 비슷한 수치를 보였다. 또한, 이것은 무 뿌리보다 무 줄기의 sulforaphane 함량이 높은 것으로 보고(Im *et al* 2006)된 바와 같이 sulforaphane의 함량 차이와 관련이 있을 것으로 판단되며, 줄기에서는 뿌리에 비해 현저히 높은 활성을 나타냈다.

또한, Fig. 2에서 보는 바와 같이 재래종 무의 줄기와 뿌리는 각각 57.4%와 28.49%의 세포 저해율을 보였으며, 갯무의 줄기와 뿌리는 각각 63.27%와 48.98% 수준의 세포 증식 저해율을 나타냈다. 다소 차이는 있지만 재래종 무보다 갯무의 세포 증식 억제가 대체로 높았으며, 줄기에서는 재래종 무와 갯무 모두 유의적으로($p>0.05$) 차이가 나지 않았으며, 뿌리에서는 갯무가 유의적으로($p<0.05$) 높게 나타났다. Fig. 3은 재래종 무와 갯무의 줄기 추출물에 대한 sulforaphane 함량을 비교 분석한 결과이다. Fig. 2에서 갯무의 세포 증식 억제가 재래종 무보다 높은 것은 sulforaphane 함량 분석 결과에서 갯무가 재래종 무보다 sulforaphane의 함량이 높은 것(Fig. 3)과 부합하며, sulforaphane 함량과 유방암 세포의 증식 저해율 간에 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

무 추출물은 기존 항암 성분으로 알려진 I3C에 비하여 항암 활성은 높지 않지만 I3C는 순수 분리 정제된 물질임에 비

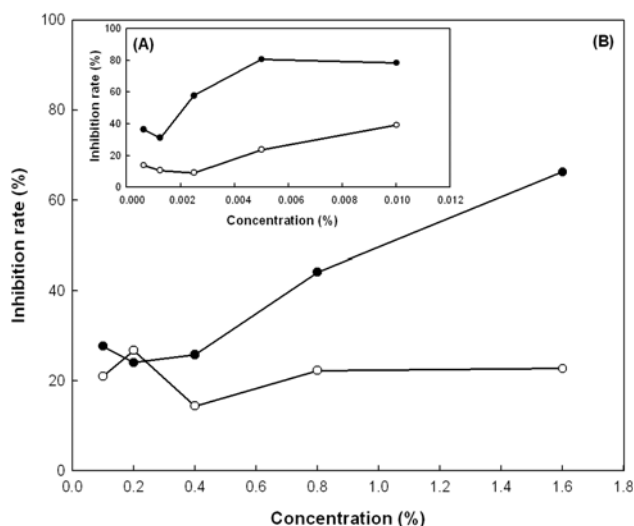


Fig. 1. Inhibitory effects of positive controls (A) and land race radish trunk extract and root extract (B) on the growth of breast cancer cell line (MCF-7). (A) ●: I3C, ○: 5FU, (B) ●: trunk, ○: root.

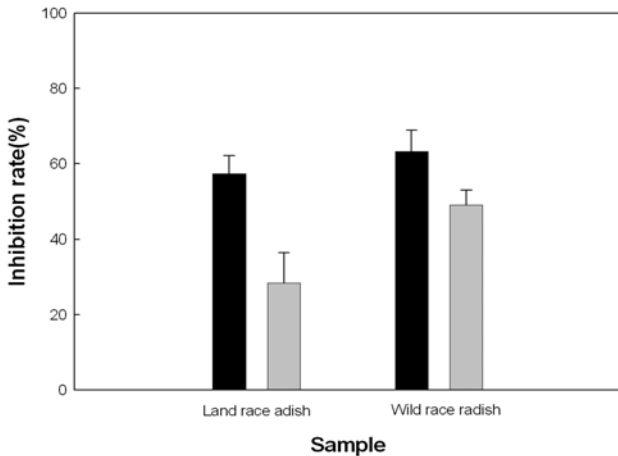


Fig. 2. Inhibitory effects of land race radish and wild race radish extracts on the growth of breast cancer cell line (MCF-7). ■: trunk, □: root.

하여 무 추출물이 crude한 추출물임을 감안할 때 항암 물질이 무에 존재함을 시사하는 결과이었다(Yim *et al* 2004). 십자화과 채소로 알려져 있는 무의 sulforaphane 함량은 평균 20.27 µg/g이 함유되었으며, 재래종 무보다 갯무에서 줄기의 sulforaphane 함량이 약 2배 정도 함량이 높은 것을 알 수 있었다(Fig. 3). Kim 등(1977)의 보고된 바와 같이 순무 15.4~23.1 ppm, 무청 14.6 ppm, 무 5.5~8.8 ppm과 비교하였을 때 십자화과 채소의 sulforaphane 함량은 다소 차이가 났으며, 이것은 시료의 구입 장소나 재배 지역에 따른 차이로 추측된다(Kim *et al* 1997).

결과적으로 갯무는 재래종 무보다, 또한 줄기가 뿌리보다 sulforaphane 함량과 유방암 세포주에 대한 세포 증식 억제율이 높은 것으로 나타났다.

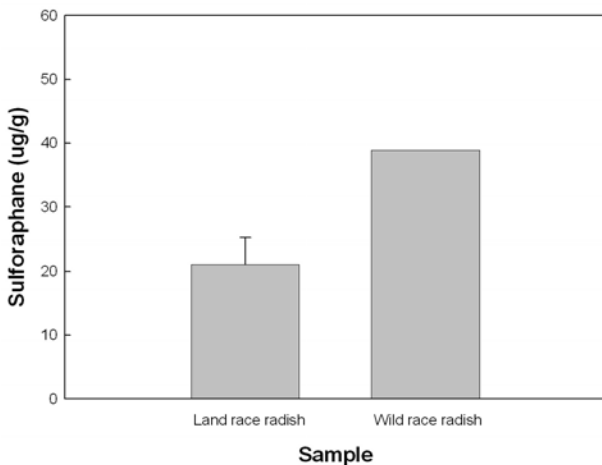


Fig. 3. Contents of sulforaphane in trunk of land race radish and wild race radish.

2. 폐암 세포주에 대한 항암 활성

폐암 세포주(A-549)를 배양한 후 유방암, 자궁경부암(Auborn *et al* 2003)과 폐암세포주의 항암 물질로 알려진 I3C로 처리하여 24시간 후의 흡광도를 측정하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 재래종 무 줄기의 에탄올 추출물의 세포 증식 저해율은 추출물의 농도가 높을수록 세포 증식 저해가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

인체 폐암 세포주(A-549)를 재래종 무와 갯무로 나누어 각각의 시료를 농도별로 시료가 함유된 배양액에서 24시간 배양한 뒤 세포수를 측정하였으며, 0.8%의 농도 범위까지 CCK assay를 이용하여 세포 증식 저해를 측정된 결과, 추출물의 농도가 높아질 때 농도 의존적인 항암 효과가 확인되었고, 세포 밀도의 감소 현상과 형태적인 변화를 관찰할 수 있었다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 시료의 농도를 0.8%로 하였을 때 재래종 무의 줄기와 뿌리는 각각 26.96%와 35.84%의 세포 저해율을 보였으며, 갯무의 줄기와 뿌리는 각각 35.84%와 62.94% 수준의 세포 증식 저해율을 나타냈다. 다소 차이는 있지만 재래종 무보다는 갯무의 세포 증식 억제율이 높았으며, 줄기보다는 뿌리의 세포 증식 저해율이 높은 것을 알 수 있었다.

재래종 무와 갯무의 항암 활성 분석 결과를 SPSS 12.0을 이용하여 독립표본 T-검정법으로 통계 처리한 결과, 갯무가 재래종 무보다 유의성 있게($p < 0.05$) 높은 항암 활성을 갖는 것으로 나타났다. 또한, 줄기의 활성이 뿌리의 활성보다 높은 것도 통계적으로 유의한 결과이었다($p < 0.05$).

3. Pd-quicktest 발색법에 의한 총 Glucosinolate 함량 분석

재래종 무와 갯무를 줄기와 뿌리로 나누어 Pd-quicktest 발

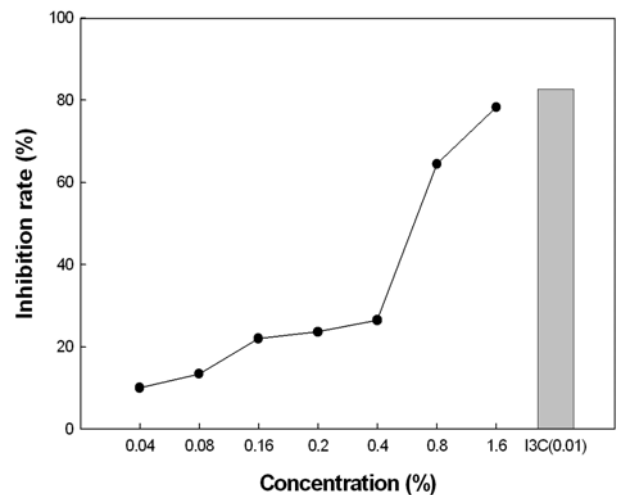


Fig. 4. Inhibitory effects of land race radish trunk extract on the growth of lung cancer cell line (A-549).

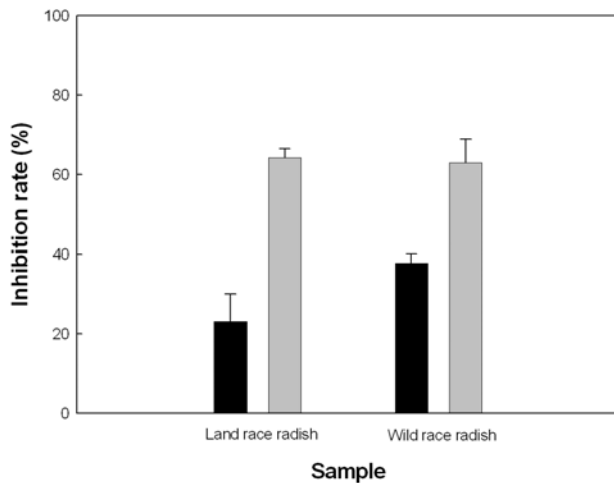


Fig. 5. Inhibitory effects of land race radish and wild race radish extracts on the growth of lung cancer cell line (A-549). ■: trunk, □: root.

색법에 의해 총 glucosinolate 함량을 분석하였고, 그 결과는 Fig. 6과 같다. 재래종 무의 줄기와 뿌리의 함량은 각각 2.378 mg/g과 2.615 mg/g으로 비슷하지만 갯무에서는 줄기와 뿌리의 함량이 각각 2.444 mg/g과 4.310 mg/g으로 줄기의 총 glucosinolate 함량이 2배 정도 높은 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

결과적으로, 폐암 세포주를 이용한 세포 증식 저해율과 총 glucosinolate 함량 분석 결과에서도 갯무가 재래종 무보다 우수한 것으로 나타났으며, 줄기보다는 뿌리가 더 우수한 것으로 나타났다. 또한, 폐암세포주(A549)와 비교하였을 시 서로 상관관계가 없음을 알 수 있었다. 이상의 결과를 통하여 갯무의 유전자원을 이용하여 재래종 무의 품질 특성을 개량

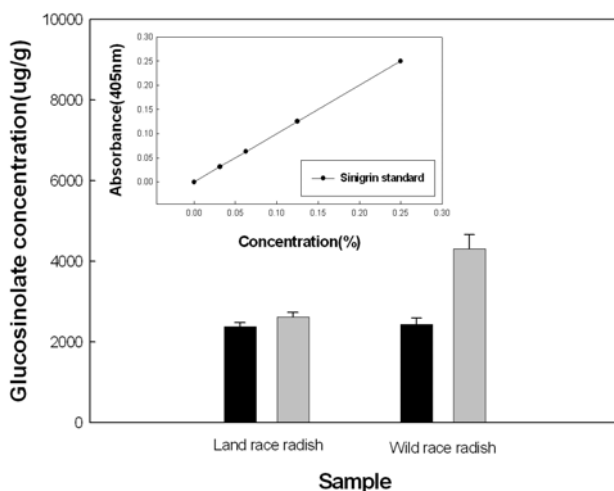


Fig. 6. Contents of glucosinolate in land race radish and wild race radish. ■: trunk, □: root.

할 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

무의 유방암 및 폐암 세포주에 대한 증식 저해 활성을 분석하였고, 항암 관련 지표 물질로 알려진 glucosinolate의 함량 및 sulforaphane의 함량을 조사하였다. 유방암 세포주의 하나인 MCF-7 세포주를 이용한 CCK(cell counting kit) assay 분석법을 사용하여 재래종 무와 갯무 추출물의 세포 증식 저해율을 조사한 결과, 재래종 무보다 갯무의 세포 증식 저해율이 높았으며, sulforaphane 함량에서도 갯무가 재래종 무보다 높은 것으로 나타났다. 폐암 세포주의 하나인 A-549 세포주를 이용한 세포 증식 저해율을 조사한 결과, 갯무가 재래종 무보다 높은 세포 증식 저해율을 보였으며, 총 glucosinolate 함량에서도 갯무가 재래종 무보다 높은 것으로 나타났다. 본 연구를 통하여 갯무를 이용하여 재래종 무의 품질 특성을 개량할 수 있는 가능성을 제시하였다.

문 헌

- Auborn KJ, Fan S, Rosen EM, Goodwin L, Chandraskaren A, Williams DE (2003) Indole-3-carbinol is a negative regulator of estrogen. *J Nutr* 133: 2470-2475.
- Bradfield CA, Chang Y, Bjeildanes LF (1985) Effects of commonly consumed vegetables on hepatic xenobiotic-metabolizing enzymes in the mouse. *Food Chem Toxicol* 23: 899-904.
- Chiao JW, Chung FL, Kancherla R, Ahemed T, Mittelman A, Conaway CC (2002) Sulforaphane and its metabolite mediate growth arrest and apoptosis in human prostate cancer cells. *Int J Oncol* 20: 631-636.
- Im JS, Lee EH, Lee JN, Nam CH (2006) Development of technology for enlargement of sulforaphane in radish content. National Institute of Highland Agriculture. p 1-19.
- Jackson SJ, Singletary KW (2004) Sulforaphane inhibits human MCF-7 mammary cancer cell mitotic progression and tubulin polymerization. *J Nutr* 134: 2229-2236.
- Jung DH (1998) In biological efficacy of food. Seonjin Munwhasa, Seoul. pp. 72-74.
- Kim MR, Lee HS (1989) Purification and characterization of radish myrosinase. *Korean J Food Sci Technol* 21: 136-144.
- Kim MR, Lee KJ, Kim JH, Sok DE (1997) Determination of sulforaphane in cruciferous vegetables by SIM. *Korean J Food Sci Technol* 29: 882-887.
- Lee SE (2006) Investigation of cooking usage according to

- the physicochemical and textural characteristics in *Nabak-kimchi* with different radish cultivars. *Korean J Culinary Res* 12: 284-298.
- Misiewicz I, Skupinska K, Kasprzycka-Guttman T (2003) Sulforaphane and 2-oxohexyl isothiocyanate induce cell growth arrest and apoptosis in L-1210 leukemia and ME-18 melanoma cells. *Oncol Rep* 10: 2045-2050.
- Parnaud G, Li P, Cassar G, Rouimi P, Tulliez J, Combaret L, Gamet-Payraastre L (2004) Mechanism of sulforaphane-induced cell cycle arrest and apoptosis in human colon cancer cells. *Nutr Cancer* 48: 198-206.
- Pham NA, Jacobberger JW, Schimmer AD, Cao P, Gronda M, Hedley DW (2004) The dietary isothiocyanate sulforaphane targets pathways of apoptosis, cell cycle arrest, and oxidative stress in human pancreatic cancer cells and inhibits tumor growth in severe combined immunodeficient mice. *Mol Cancer Ther* 3: 1239-1248.
- Prester T, Holtzclaw DW, Zhang Y, Talalay P (1993) Chemical and molecular regulation of enzymes that detoxify carcinogens. *Proc Natl Acad Sci* 90: 2965-2969.
- Ryu KD, Chung DH, Kim JK (2000) Comparison of radish cultivars for physicochemical properties and *kadugi* preparation. *Korean J Food Sci Technol* 32: 681-690.
- Sim KH, Kang KS, Seo KI (1993) Purification enzymatic properties of myrosinase abstracted from radish. *J Korean Agri Chem Soc* 36: 86-92.
- Singh SV, Herman-Antosiewicz A, Singh AV, Lew KL, Srivastava SK, Kamath R, Brown KD, Zhang L, Baskaran R (2004) Sulforaphane-induced G2/M phase cell cycle arrest involves checkpoint kinase 2-mediated phosphorylation of cell division cycle 25C. *J Biol Chem* 279: 25813-25822.
- Slominski BA, Campbell LD (1998) Gas chromatographic determination of indoleacetonitriles in rapeseed and brassica vegetables. *J Chromatogr* 454: 258-291.
- Van Etten CH, Daxenbichler ME, Wolff IA (1969) Natural glucosinolates (thioglucosides) in foods and feeds. *J Agric Food Chem* 17: 483-491.
- Wattenberg LW (1977) Inhibition of carcinogenic effects of polycyclic hydrocarbons by benzyloisothiocyanate and related compounds. *J Natl Cancer Inst* 58: 398-398.
- Whitty JP, Bjeldanes LF (1987) The effects of dietary cabbage on xenobiotic metabolizing enzymes and the binding of aflatoxin B₁ to hepatic DNA in rats. *Food Chem* 25: 581-587.
- Yim HB, Lee GS, Chae HJ (2004) Cytotoxicity of ethanol extract of *Raphanuse sativus* on a human lung cancer cell line. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 287-290.

(2009년 2월 16일 접수, 2009년 4월 20일 채택)