J Korean Soc Food Sci Nutr
45(8), 1138～1146(2016)

한국식품영양과학회지
http://dx.doi.org/10.3746/jkfn.2016.45.8.1138

도라지(*Platycodon grandiflorum* A. De Candolle) 섭취에 따른 알루미늄의 노출량 평가

김성단 · 함희진 · 정지헌 · 이은순 · 이현경 · 김희선 · 이집호 · 유인실 · 정 권
서울시보건환경연구원

Estimated Daily Intake of Aluminum from *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle

Sung-Dan Kim, Hee-Jin Ham, Ji-Hun Jung, Eun-Soon Lee, Hyun-Kyung Lee, Hee-Sun Kim, Jib-Ho Lee, In-Sil Yu, and Kweon Jung
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment

ABSTRACT This study was performed to estimate daily intakes of aluminum from *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle and evaluate their potential health risks for Koreans. Estimated daily intake of aluminum was calculated, whereas the actual level of aluminum in *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle was analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry. Food consumption amount was drawn from Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES Ⅵ-1). In analysed samples, aluminum values ranged from 0.54～564.38 mg/kg in peeled *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle samples (n=53) and from 0.72～28.05 mg/kg in unpeeled ones (n=40). Statistically significant difference (P<0.001) was detected according to the type of skin. To estimate the dietary intake of *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle, a total of 7,242 respondents (scenario Ⅰ) were compared to 227 *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle consumption subjects (scenario Ⅱ). Estimated daily intake of aluminum was calculated based on point estimates. Level of safety for aluminum was evaluated by comparison with Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI), 1 mg/kg bw, set by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. For scenario Ⅰ, mean estimated daily intake of aluminum was 0.001 mg/kg bw/d. For scenario Ⅱ, mean estimated daily intake of aluminum was 0.033 mg/kg bw/d, and 95th percentile estimated daily intake was 0.610 mg/kg bw/d. For scenario Ⅱ, aluminum from *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle had a mean weekly intake that was the 23.1% of PTWI.

Key words: aluminium, estimated daily intake, *Platycodon grandiflorum*, ICP-MS

서 론

도라지(*Platycodon grandiflorum* A. De Candolle)는 한국, 일본 및 중국의 산간지방에서 널리 자생하며 한방에서 약재로 사용되고 일반식용으로도 널리 이용되고 있는 산채식품으로 triterpenoid계 사포닌, 당질 및 섬유질을 함유하고 있다(1,2). 그중 3년근 이상 도라지는 약용도라지로 이용되고, 나물용으로 사용되는 도라지는 주로 1~2년근을 사용하여 껍질 제거 후 물에 담가 쓴맛을 제거한 다음 생채, 전 및 나물 등의 식용으로 이용된다(3).

이러한 도라지는 여러 가지 약리 효과의 검증으로 소비량이 증가하면서 재배면적이 확대되고 있다(4,5). 또한, 도라지의 유통량을 살펴보면 2012년 수입량이 10,081톤으로 국내생산량 6,013톤에 비해 약 1.7배 많았으며, 한국무역협회에 의하면 2014년도 도라지 수입량은 11,752톤으로 설 및 추석 명절을 대비한 1월, 8월 및 9월의 수입량이 평균 수입량보다 1.3~1.7배 증가하였다(6,7).

한편 농산물은 절단, 박피, 세척 등의 가공과정을 거치면서 가공하지 않은 농산물에 비하여 생화학적 변화가 급속하게 진행될 수 있는데(8,9), 조직감 및 외관의 변화인 갈변현상이 가장 주목할 만한 변화이다. 이러한 변색은 식품의 가공 시 소비자의 기호성을 저하할 뿐만 아니라 좋지 못한 향기를 생성하며 아울러 영양가의 손실에 의한 상품의 가치에 직접적으로 또는 간접적으로 큰 영향을 주기 때문에 식품의 저장과 가공에 매우 중요하게 취급되고 있다(10,11).

도라지 등의 근채류는 절단, 박피, 세척 등의 최소가공(minimally processing) 제품이 물에 침지한 상태로 판매되며, 이때 갈변현상을 방지하기 위하여 명반이 사용되기도 한다. 명반(alum)은 황산알루미늄과 알칼리 금속, 칼륨, 암모늄과 같은 1가 금속의 황산염이 만드는 $M1Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 형의 복염이다. 이들 명반은 1797년 Chaptal, Vaccuelin에

Received 25 March 2016; Accepted 13 July 2016
Corresponding author: Sung-Dan Kim, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Gwacheon, Gyeonggi 13818, Korea
E-mail: joyfulksd@seoul.go.kr, Phone: +82-2-968-5094

의해 화학적 조성이 밝혀진 이래 염료, 제지, 식물성 아교, 시멘트 및 폭약 등의 가공 시 또는 젤라틴의 강화, 제빵, 분말, 정수 및 당의 청징 등의 중요 첨가 소재로 사용되므로(12) 유통 도라지에 잔류하는 알루미늄 함량을 조사함으로써 도라지의 명반 사용실태를 파악할 수 있을 것이다.

알루미늄은 위장관에서 흡수되어 신장에서 소변으로 배설되는데 정상적인 신장에 비해 신장에 장해가 있는 만성신장 장해 환자의 경우는 체조직에 알루미늄이 축적되어 독성을 유발하는 것으로 알려졌으며, 특히 뇌질환과 골이영양증, 빈혈을 일으킨다고 보고하였다(13). 현재 알루미늄의 독성에 대한 연구 중 가장 관심이 고조된 분야는 노인성 치매(Alzheimer's disease)인데 아직 그 원인이 확실히 밝혀져 있진 않지만 가설 중 한 가지가 뇌에 알루미늄이 축적되기 때문이라고 한다(14). 알루미늄이 생체에 미치는 영향에 대해 주시하고 있지만 이러한 질환에 대한 원인은 아직 정확히 밝혀지지 않고 있으며, WHO는 알루미늄의 존재가 알츠하이머 질병과 같은 뇌질환과 관련은 있지만 음용수 중의 알루미늄이 그러한 질병의 직접적인 원인이라는 것은 확실치 않다고 보고하고 있다(15).

이러한 가운데 국제식량농업기구/세계보건기구 합동 식품첨가물 전문가 위원회(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)에서는 알루미늄 화합물이 생식계와 신경계 발달에 영향을 미칠 가능성이 있어 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)을 1 mg/kg bw로 정하고 있다(16). 이와 함께 WHO는 음용수 중 알루미늄 농도 권장치를 0.2 mg/L 이하로 정하고 있으며, 우리나라에서도 먹는물관리법에서 0.2 mg/L 이하로 정하고 있다(17).

본 연구에서는 유통 중인 천연 및 단순가공 도라지의 실제 잔류알루미늄 분석값과 제6기 1차 연도인 2013년 국민건강영양조사의 영양조사에 있는 식품섭취조사 중 도라지 섭취량 자료를 토대로 도라지 섭취를 통한 알루미늄의 노출 수준의 위해성 평가를 실시하고자 한다. 이러한 평가 결과를 통해 소비자들에게 유통 도라지 선택 시 고려할 수 있는 자료를 제공하고 단순가공 도라지의 가공 및 유통 시 명반 등 식품첨가물의 사용기준 설정을 제안함으로써 도라지의 안전한 유통체계를 구축하는 데 기여하고자 한다.

재료 및 방법

재료

2014~2015년 서울지역 대형유통센터, 소형마트 및 재래시장 등에서 유통 중인 천연 및 단순가공 도라지 총 93건(깐도라지 53건, 피도라지 40건)을 구입하여 알루미늄 잔류량을 분석하였다.

시약 및 기구

본 연구에 사용된 물은 MQ gradient(Millipore, Bedford, MA, USA)를 이용하여 18.2 mΩ 수준으로 정제하여 사용하였다. 모든 실험초자는 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 재질을 사용하였으며, polytetrafluoroethylene(PTFE) vessel은 10%(v/v) 질산에 24시간 보관한 후 초순수로 세척하여 사용하였다. 시료의 분해에 사용한 질산은 EP-S(electronic grade, Dong Woo Fine Chem., Seoul, Korea)를 사용하였다. 또한, 알루미늄 분석을 위한 표준액은 혼합표준액(Multi-Element Calibration Standard 2A) 10.0 μg/mL (Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 5% 질산에 희석하여 사용하였다.

시료의 균질화는 분쇄기(JAM 606, O.T Wellbeing, Gyeonggi, Korea)를 사용하였다. 시료는 Microwave Digestion System(MARS 5, CEM, Matthews, NC, USA)을 이용하여 분해한 후 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, Agilent 7500ce, Agilent, Tokyo, Japan)를 이용하여 시료 중 알루미늄을 측정하였다.

시료의 전처리 및 기기분석

시료는 깐도라지는 그대로 그리고 피도라지는 껍질을 제거하고 초순수로 세척한 것을 분쇄기로 곱게 갈아 폴리에틸렌 필름에 밀봉포장 하여 사용하였다. 시료 2.0 g을 마이크로웨이브용 PTFE vessel에 정밀히 달아 70% 질산 12 mL를 가한 후 Hood에서 16시간 방치하여 예비 분해하였다. Microwave Digestion System으로 1,200 W power에서 15분 동안 200°C(800 psi)까지 상승시킨 후 10분 동안 온도를 유지하여 분해하고 -20°C의 냉동실에서 2시간 방랭·탈기한 다음, 초순수를 가하여 여과 후 50 mL로 희석하여 시험용액으로 사용하였다. 시험용액 중 알루미늄은 ICP-MS를 이용하여 측정하였으며 기기분석 조건은 Table 1과 같다.

검출한계 및 정량한계

검량선은 혼합표준액 10.0 μg/mL를 5% 질산에 희석하여 20~1,000 μg/L로 조제하고 ICP-MS로 알루미늄을 측정하여 검량선을 작성하였으며, 반응의 표준편차와 검량선 기울기에 근거하여 다음과 같은 방법(18)에 따라 검출한계(limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantitation, LOQ)를 구하였다.

$$\mathrm{LOD} = 3 \times \frac{\text{Standard deviation of the blank}}{\text{The slope of the calibration curve}}$$

$$\mathrm{LOQ} = 10 \times \frac{\text{Standard deviation of the blank}}{\text{The slope of the calibration curve}}$$

정확도 및 정밀도

알루미늄의 분해효율과 측정감도를 비교하기 위하여 미국표준과학기술원(National Institute of Standard Technology, NIST)에서 구입한 표준인증물질(Certified Reference

Table 1. ICP-MS operating conditions and data acquisition parameters

Operation condition	
Nebuliser	Quartz concentric (Micromist) 400 μL/min
Spray chamber	Scott-type double-pass water cooled
Cell geometry	Octopole
Sampling cone	Nickel, 1.0 mm orifice
Skimmer cone	Nickel, 0.4 mm orifice
RF power	1,400～1,500 W
Reflected power	<10 W
He mode (collision cell mode)	
Plasma gas flow	15 L/min
Nebuliser gas flow	0.95～1.00 L/min
Auxiliary gas flow	0.99 L/min
He gas flow	3.5 mL/min
Expansion stage	2.0 mbar
Intermediate stage	2.0×10^{-4}～3.0×10^{-4} mbar
Analyzer stage	1.0×10^{-4}～2.0×10^{-4} mbar
Octopole bias	-18 V
Quadrupole bias	-16 V
Acquisition parameters	
Mass range	2～260 amu
Number of channels	500
Dwell time	300 ms
Number of sweeps	500
Total acquisition time	14.6400 s

Material, CRM)인 Rice Flour(NIST CRM 1568b)와 Peach Leaves(NIST CRM 1547)를 사용하여 분석시료와 동일하게 처리하고 ICP-MS를 이용하여 측정한 후 회수율 및 변동계수(coefficient of variation, %)를 구하여 분석법을 검증하고 분석 결과의 신뢰성을 확인하였다.

도라지 섭취량 분석

본 연구에서는 도라지 섭취량 수준을 비교하기 위해서 국민건강영양조사 제6기 1차 연도(2013년)의 영양조사에 있는 식품섭취조사 중 도라지 섭취량 자료를 사용하였다.

섭취량을 평가하는 목적은 과다섭취자를 보호하는 데 있으므로 섭취량 조사에서 꼭 고려되어야 할 것 중 하나는 위험가능 집단이라 볼 수 있는 다량섭취자를 대상으로 섭취량 평가가 이루어져야 한다. 따라서 시나리오Ⅰ은 도라지 섭취 수준을 비교하기 위해서 조사대상자 7,242명 전체를 대상으로 평균소비자(average consumer)와 95th percentile의 극단소비자(extreme consumer)의 도라지 섭취량을 조사하였다. 또한, 시나리오Ⅱ는 소비자의 섭취량을 과소평가하는 것을 피하기 위하여 도라지를 섭취한 227명을 대상으로 대상 식품 소비자만의 평균소비자와 95th percentile의 극단소비자의 도라지 섭취량을 조사하였다.

알루미늄 노출량 평가

도라지 섭취를 통한 알루미늄 노출량을 추정하기 위한 식품섭취량 자료는 국민건강영양조사 제6기 1차 연도(2013년) 영양조사의 도라지 섭취량을 연중 일상섭취량으로 가정하였다. 시나리오Ⅰ은 조사대상자 7,242명 전체의 도라지 평균 및 95th percentile 섭취량을 적용하였고, 시나리오Ⅱ는 도라지 섭취자 227명의 평균 및 95th percentile 섭취량을 적용하여 살펴보았다. 알루미늄 잔류량은 도라지 93건(깐도라지 53건 및 피도라지 40건)을 ICP-MS를 이용하여 측정한 실측치를 이용하였다. 단일값 분석(point analysis)을 위하여 알루미늄의 분석값과 도라지의 평균섭취량 및 극단섭취량(95th percentile)을 이용하여 도라지 섭취로 노출될 수 있는 알루미늄의 추정식이섭취량(estimated daily intake, EDI)을 산출하였다. 단일값 분석에 이용한 알루미늄의 추정식이 섭취량은 다음과 같이 계산하였으며, 도라지에 잔류하는 알루미늄의 양과 도라지의 일일섭취량의 곱을 몸무게로 나눈 것이다. 몸무게는 제6기 1차 연도(2013년) 국민건강영양조사 대상자 총 7,242명과 도라지 섭취자 227명의 몸무게를 사용하였다.

Estimated daily intake (mg/kg bw/d)= [Food additives conc. (mg/kg)×Daily food intake (g/d)]/ Body weight (kg) (식 1)

도라지 섭취 시 잔류 알루미늄에 대한 노출량 평가를 위해서는 국제식량농업기구/세계보건기구 합동 식품첨가물 전문가 위원회(JECFA)에서 잠정주간섭취허용량인 1 mg/kg bw를 사용하여(16) 도라지 섭취를 통한 알루미늄의 추정주간식이섭취량(estimated weekly intake, EWI)과 잠정주간섭취허용량(PTWI)을 비교하여 % PTWI로 위해도를 결정하였다.

% PTWI=[EWI (mg/kg bw)/ PTWI (mg/kg bw)]×100 (식 2)

통계분석

통계분석은 SAS 9.2 프로그램(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하여 알루미늄 잔류량 비교와 국민건강영양조사 자료 중 도라지의 섭취수준 분석을 위하여 평균과 표준편차 등의 기술통계량을 산출하였다. 통계적 유의성 검증을 위하여 *t*-검정(*t*-test), 일원배치 분산분석(one-way ANOVA, α=0.05)을 이용하였으며, one-way ANOVA의 사후 분석을 위해 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 노출량 평가는 산술 평균과 95th percentile을 사용하여 대표적인 위해도를 분석하는 단일값 평가(point estimates)를 실시하였다.

결과 및 고찰

검출한계 및 정량한계

알루미늄 분석을 위하여 혼합표준액 10.0 μg/mL를 5% 질산에 희석하여 20~1,000 μg/kg으로 조제한 후 ICP-MS로 측정하여 검량선을 작성한 결과 0.9997 이상의 정의 상관관계(r^2)를 보였다. Table 2와 같이 알루미늄의 검출한계는 0.003 mg/kg이었고, 정량한계는 0.011 mg/kg으로 Millour 등(19)과 Chevallier 등(20)의 Microwave Digestion 후 ICP-MS를 이용한 여러 원소의 동시분석에 따른 알루미늄의 정량한계인 0.472 mg/kg과 0.083 mg/kg보다 낮은 수준이었다.

정확도 및 정밀도

실험방법의 유효성을 검증하기 위하여 회수율에 따른 정확성 및 정밀도를 살펴본 결과는 Table 2와 같다. 정확도를 확인하기 위하여 표준인증물질인 Rice Flour(NIST CRM 1568b)와 Peach Leaves(NIST CRM 1547)를 사용하여 분석시료와 동일하게 처리한 후 ICP-MS로 측정하여 회수율을 구하였다. 그 결과 Rice Flour(NIST CRM 1568b)의 회수율은 95.7%, Peach Leaves(NIST CRM 1547)에서 알루미늄의 회수율은 104.5%였다. 또한, 정밀도를 파악하기 위하여 변동계수(%)를 구한 결과 Rice Flour(NIST CRM 1568b)에서는 2.1%, Peach Leaves(NIST CRM 1547)에서는 5.1%였다. 위의 결과는 Mussel tissue(BCR 278R), fish tissue(IAEA 407), mixed herbs of Polish origin (INCT MPH 2)을 이용한 알루미늄의 정밀도가 4%라고 보고한 Millour 등(19)의 연구 결과와 비슷한 수준이었다.

알루미늄 잔류량

2014~2015년 서울 시내의 대형마트, 소형마트 및 재래시장 등에서 유통 중인 천연 및 단순가공 도라지 총 93건(깐도라지 53건, 피도라지 40건)을 대상으로 알루미늄의 잔류량을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 본 연구의 시료 수는 2014년에 42건(깐도라지 27건, 피도라지 15건), 2015년에 51건(깐도라지 26건, 피도라지 25건)을 대상으로 알루미늄을 분석하였다. 도라지 총 93건의 평균 알루미늄 잔류량은 72.989(0.54~564.38) mg/kg이었으며, 그중 95th percentile 알루미늄 잔류량은 471.32 mg/kg이었다. 연도별 도라지의 알루미늄 잔류량을 살펴보면 2014년 도라지 42건의 평균 알루미늄 잔류량은 72.943(0.54~535.18) mg/kg, 2015년 도라지 51건의 평균 알루미늄 잔류량은 73.027 (0.59~564.38) mg/kg으로 연도별 도라지의 평균 알루미늄 잔류량은 유의적인 차이가 없었다.

과실과 채소의 바람직하지 못한 변화들은 최소가공 조작 과정 중에 일어나는 세포의 기계적 파괴에 의해 촉진되는데 이 과정 중에 효소와 기질의 접촉이 가능하기 때문이며(21), 갈변 정도는 polyphenol oxidase(PPO) 및 페놀 함량과 관련된 것으로 알려져 있다(22,23). 식품의 효소적 갈변은 색을 어둡게 변화시켜 소비자의 기호도를 저하하고 유통 기간을 제한하는 주요 원인으로 알려져 있다(24). PPO를 억제하는 데에는 품종의 선택, 물리적 방법, 화학적 억제제의 사용 등 세 가지 부류의 방법이 이용된다. 화학적 방법은 갈변 억제를 위해 가장 널리 사용되며, 비교적 낮은 농도로 비효소적 갈변과 효소적 갈변을 동시에 억제할 수 있으므로 효과적이다(25,26). 갈변을 억제하는 화학물질로는 sulfite가 가장 효과적이나(27), 이 물질의 특징적인 냄새와 영양소의 파괴, 인체에 대한 유해성으로 1986년 미국 식품의약국에서 사용을 금지시켰다. 사용이 허가된 물질은 ascorbic acid와 그 유도체, 염화나트륨 등이며 citric acid와 이산화황은 제한적으로 허용되어 있다(28,29). 화학적 방법으로 갈변을 억제하기 위하여 ascorbic acid, oxalic acid, cysteine, citric acid, sodium chloride, calcium chloride 등의 단독 또는 혼합 사용에 따른 갈변방지 효과를 확인한 연구 결과가 보고되었다(27,30-32). 도라지, 연근 및 우엉 등의 근채류는 절단, 박피, 세척 등의 최소가공 제품이 물에 침지한 상태로 판매되며, 이때 갈변현상을 방지하기 위하여 명반이 사용

Table 2. Limit of detection (LOD), limit of quantitation (LOQ), precision, and recovery for the aluminum analysed

CRM	Reference value	Found	Recovery (%)	Precision (CV%)	LOD	LOQ
	Mean±SD (mg/kg)	Mean±SD (mg/kg)				
NIST 1568b[1)]	4.21±0.34	4.03±0.09	95.7	2.1	0.003 mg/kg	0.011 mg/kg
NIST 1547[2)]	249±8	274±14	104.5	5.1		

[1)]Rice flour Certified Reference Material (NIST 1568b).
[2)]Peach leaves Certified Reference Material (NIST 1547).

Table 3. Aluminum residues in *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle

Year	Total			Peeled			Unpeeled		
	N	Mean (mg/kg)	Range (95th) (mg/kg)	N	Mean (mg/kg)	Range (95th) (mg/kg)	N	Mean (mg/kg)	Range (95th) (mg/kg)
2014	42	72.943	0.54～535.18	27	110.085**	0.54～535.18	15	6.088**	0.72～12.74
2015	51	73.027	0.59～564.38	26	132.814**	0.59～564.38	25	10.847**	1.14～28.05
Total	93	72.989	0.54～564.38 (471.322)	53	121.235***	0.54～564.38 (545.622)	40	9.063***	0.72～28.05 (26.379)

**$P<0.01$, ***$P<0.001$ from *t*-test.

되기도 한다.

깐도라지 53건의 평균 알루미늄 잔류량은 121.235(0.54~564.38) mg/kg이었으며, 깐도라지 중 95th percentile 알루미늄 잔류량은 545.622 mg/kg이었다. 연도별 깐도라지의 알루미늄 잔류량을 살펴보면 2014년 깐도라지 27건의 평균 알루미늄 잔류량은 110.085(0.54~535.18) mg/kg, 2015년 깐도라지 26건의 평균 알루미늄 잔류량은 132.814(0.59~564.38) mg/kg으로 연도별 깐도라지의 평균 알루미늄 잔류량은 유의적인 차이가 없었다(data not shown).

피도라지 40건의 평균 알루미늄 잔류량은 9.063(0.72~28.05) mg/kg이었으며, 피도라지 중 95th percentile 알루미늄 잔류량은 26.379 mg/kg이었다. 천연상태인 피도라지의 알루미늄 잔류량은 백미 6.10~23.4 mg/kg 및 현미 7.40~43.0 mg/kg의 알루미늄 잔류량(33)과는 비슷한 수준이었다. 연도별 피도라지의 알루미늄 잔류량을 살펴보면 2014년 피도라지 15건의 평균 알루미늄 잔류량은 6.088(0.72~12.74) mg/kg, 2015년 피도라지 25건의 평균 알루미늄 잔류량은 10.847(1.14~28.05) mg/kg으로 연도별 피도라지의 평균 알루미늄 잔류량에 유의적인 차이가 있었다($P<0.05$) (data not shown).

Fig. 1 및 Table 3과 같이 박피, 세절 등의 단순가공을 거친 깐도라지 53건의 평균 알루미늄 잔류량은 121.235(0.54~564.38) mg/kg으로 천연 상태의 피도라지 40건의 평균 알루미늄 잔류량 9.063(0.72~28.05)에 비해 13.4배 높은 수준으로 유의적인 차이가 있어($P<0.001$) 깐도라지에 식품첨가물로서 명반이 사용되었음을 추측할 수 있었다. 본 연구의 깐도라지 알루미늄 잔류량은 가공식품 중 중력분 8.5 mg/100 g, 강력분 10.8 mg/100 g, 박력분 11.0 mg/100 g, 국수 29.7~58.5 mg/100 g, 라면 63.0~80.0 mg/100 g, 당면 33.1~46.3 mg/100 g, 냉면 37.8~49.9 mg/100 g, 비스켓 15.3~19.2 mg/100 g, 스낵 22.5~56.4 mg/100 g의 알루미늄 잔류량(34)과 비슷한 수준이었다.

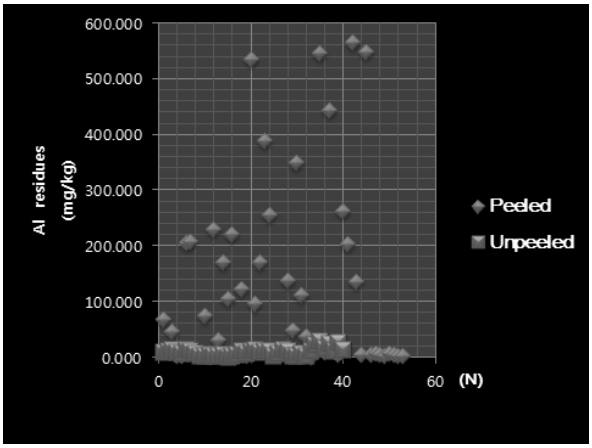

Fig. 1. Comparison of aluminum residues in *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle.

연도별 깐도라지와 피도라지의 알루미늄 잔류량의 차이를 살펴보면 2014년 깐도라지 27건의 평균 알루미늄 잔류량은 110.085(0.54~535.18) mg/kg으로 피도라지 15건의 평균 알루미늄 잔류량 6.088(0.72~12.74) mg/kg보다 18.1배 높은 수준으로 유의적인 차이가 있었다($P<0.01$). 2015년 깐도라지 26건의 평균 알루미늄 잔류량 132.814(0.59~564.38) mg/kg은 피도라지 25건의 평균 알루미늄 잔류량 10.847(1.14~28.05) mg/kg보다 12.2배 높은 수준으로 유의적인 차이가 있었다($P<0.01$). 이러한 결과로 깐도라지 유통 중 식품첨가물로서 명반이 2014년에 이어 2015년에도 지속해서 사용되고 있음을 확인할 수 있었다.

도라지 섭취량

제6기 1차 연도(2013년) 국민건강영양조사 중 영양조사(조사 1일 전 식품섭취내용(24시간 회상법)) 대상자 전체 7,242명의 평균 도라지 섭취량은 Table 4와 같이 0.8±0.1 (0.0~135.5) g/d였고, 95th percentile 도라지 섭취량은 0.0 g/d였다. 도라지 섭취자 227명의 평균 도라지 섭취량은 26.4±1.5(0.1~135.5) g/d였으며, 95th percentile 도라지 섭취량은 75.6 g/d였다. 도라지 섭취자군 중 다량섭취자의 도라지 일일섭취량은 2013년 국민건강통계(35)의 국민다소비식품 중 백미의 일일섭취량인 158.6 g의 절반에 해당하는 높은 수준이었다.

우리나라에는 약 100여종의 산채류가 알려져 있으나 이 중 도라지, 더덕, 취나물, 달래, 씀바귀, 두릅 등 24종류가 채취 또는 재배되어 식용으로 이용되고 있다(36). 그중 도라지는 섬유질이 풍부하고 칼슘과 철이 많이 함유된 알칼리 식품이며(37) 도라지의 뿌리 부분에는 다량의 사포닌이 함유되어 있는데, 이러한 사포닌에는 platycodin A, C, D와 polygalacin D, spinasterol, spinasterol glucoside, inulin 등의 성분이 알려져 있다(1,38). Triterpenoid 사포닌계 사

Table 4. *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle intake and body weight by gender and age

		Consumer-only						Total (N: 7,242)
		Total (N: 227)	Gender		Age			
			Male (N: 107)	Female (N: 120)	~18 years (N: 51)	19~49 years (N: 82)	50 years~ (N: 94)	
Intake (g/d)	Mean±SE[1)]	26.4±1.5	28.8±2.4	24.2±1.9	18.1±2.1[b2)]	28.8±2.4[a]	28.8±2.7[a]	0.8±0.1
	Range	0.1~135.5	0.8~129.8	0.1~135.5	0.6~63.1	0.1~135.5	1.2~129.8	0.0~135.5
	95th	75.6	79.1	61.1	58.7	75.6	79.1	0.0
Body weight (kg)	Mean±SE	58.4±1.1	62.4±1.8	54.8±1.3	39.3±2.8	66.0±1.4	61.0±1.0	56.1±0.2
	Range	12.0~93.8	12.0~93.8	13.9~91.7	12.0~84.6	46.9~93.8	41.3~82.5	8.4~138.0

[1)]SE: Standard error.
[2)]Means with different superscripts (a>b) within a row are significantly different from each other at α=0.05 as determined by Duncan's multiple range test.

포닌 platycodin D는 동물실험에서 진해 거담작용, 혈당강하작용 및 콜레스테롤 대사개선작용(39), 항암 활성 효과(40), 항염증 효과(37,41), 항비만 효과(42) 등이 있는 것으로 밝혀지면서 소비량이 증가하고 있다.

도라지 섭취자군(227명)을 성별로 나누어 살펴본 결과 남자 107명의 평균 도라지 섭취량은 28.8±2.4(0.8~129.8) g/d였으며, 여자 120명의 평균 도라지 섭취량은 24.2±1.9 (0.1~135.5) g/d로 성별 간에 유의적인 차이가 없었다. 성별 95th percentile 도라지 섭취량은 남녀 각각 79.1 g/d, 61.1 g/d였다.

도라지 섭취자군을 어린이 및 청소년층(18세 이하), 성인층(19~49세), 노년층(50세 이상)으로 나누어 연령별 섭취량을 살펴본 결과 평균 섭취량은 성인층 28.8±2.4(0.1~135.5), 노년층 28.8±2.7(1.2 ~129.8)> 어린이 및 청소년층 18.1±2.1(0.6~63.1) g/d 순서로 유의적인 차이를 나타내었다(P<0.05). 연령별 95th percentile 도라지 섭취량은 노년층 79.1> 성인층 75.6> 어린이 및 청소년층 58.7 g/d로 도라지의 섭취량은 어린이 및 청소년층보다는 노년층 및 성인층의 섭취량이 높게 나타났다.

알루미늄 노출량

도라지 섭취를 통한 알루미늄 노출량은 도라지의 알루미늄 잔류량 분석 결과 및 도라지 섭취량의 평균값, 최소값, 최대값 및 95th percentile 값을 이용하여 단일값 분석을 실시하여 추정식이섭취량을 산출하였다. 이때 도라지 섭취량은 제6기 1차 연도(2013년) 국민건강영양조사 중 영양조사(조사 1일 전 식품섭취내용, 24시간 회상법) 대상자 전체 7,242명(시나리오Ⅰ) 및 도라지 섭취자 집단만을 고려한 227명(시나리오Ⅱ)만의 섭취량을 이용하여 평가를 시행하였으며, 그 결과는 Table 5와 같다.

영양조사 대상자 전체를 대상(시나리오Ⅰ)으로 도라지 섭취를 통한 알루미늄의 평균 추정식이섭취량은 0.001(~1.363) mg/kg bw/d였으며, 깐도라지 및 피도라지 섭취 시 알루미늄의 평균 추정식이섭취량은 각각 0.002(~1.363), 0.000(~0.068) mg/kg bw/d였다. 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 도라지 섭취를 통한 알루미늄 노출량을 살펴보면 평균 및 95th percentile 추정식이섭취량은 각각 0.033(0.000~1.309), 0.610 mg/kg bw/d였다.

2013년 국민건강통계(35)에 의하면 도라지(생채, 나물)의 섭취빈도는 조사대상자 3,781명 중 일 1회 0.05%, 주 5~6회 0.12%, 주 2~4회 1.98%, 주 1회 4.84%, 월 2~3회 9.76%, 월 1회 19.52% 및 거의 안 먹음 63.74%였다. 한편 노출평가는 일반 인구집단, 민감집단(동일한 노출수준에서 다른 인구집단에 비해 반응이 더 크게 나타나는 인구집단)이 검토되어야 하며(43), 인구집단에서 개인 간의 식품 총소비량은 생리적 제약 때문에 그 격차는 크지 않지만, 개별식품

Table 5. Estimated daily intakes of aluminum from *Platycodon grandiflorum* A. De Candolle

		Consumer-only (mg/kg bw/d)						Total (N: 7,242) (mg/kg bw/d)
		Total (N: 227)	Gender		Age			
			Male (N: 107)	Female (N: 120)	~18 years (N: 51)	19~49 years (N: 82)	50 years~ (N: 94)	
Peeled	Mean	0.055	0.056	0.054	0.056	0.053	0.057	0.002
	Range	0.000~1.309	0.000~1.174	0.000~1.396	0.000~0.906	0.000~1.159	0.000~1.201	~1.363
	95th	0.706	0.691	0.608	0.815	0.625	0.707	−
Unpeeled	Mean	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000
	Range	0.000~0.065	0.000~0.058	0.000~0.069	0.000~0.045	0.000~0.058	0.000~0.060	~0.068
	95th	0.034	0.033	0.029	0.039	0.030	0.034	−
Total	Mean	0.033	0.034	0.032	0.034	0.032	0.034	0.001
	Range	0.000~1.309	0.000~1.174	0.000~1.396	0.000~0.906	0.000~1.159	0.000~1.201	~1.363
	95th	0.610	0.597	0.525	0.704	0.540	0.611	−

에서의 소비량에는 큰 차이가 나올 수 있으므로 개별식품에 대한 평균소비자와 아울러 평균치 이상을 섭취하는 이른바 '극단소비자'를 구별할 필요가 있다(44,45). 즉 섭취량 조사에서 꼭 고려되어야 할 것 중 하나는 위험가능 집단이라 볼 수 있는 다량섭취자를 대상으로 섭취량 평가가 이루어져야 하는데, 이것은 해당 첨가물의 섭취량이 섭취기준을 초과할 가능성이 있는 과다섭취자를 보호하는 데 있기 때문이다.

따라서 도라지의 섭취를 통한 알루미늄의 노출평가는 추정식이섭취량 중 도라지 섭취량을 연중 일상섭취량으로 가정하여 도라지의 주간섭취량을 토대로 추정주간식이섭취량을 산출하여 국제식량농업기구/세계보건기구 합동 식품첨가물 전문가 위원회에서 제시한 잠정주간섭취허용량인 1 mg/kg bw(16)와 비교하여 평가하였다. 즉 일일 도라지 섭취량(1일)을 연중 일상섭취량으로 가정하여 도라지의 주간섭취량(7일)으로 환산하면 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 평균 추정주간식이섭취량은 0.231 mg/kg bw/week가 되어 PTWI의 23.1%가 되었다. 이것은 도라지 섭취만으로 추정된 양으로 명반이 젤라틴의 강화, 제빵, 분말, 정수 및 당의 청징 등 중요 첨가 소재로 사용되고 있다(12)는 점을 고려하면 유통도라지 등 농산물 및 가공식품 각각에 대한 알루미늄의 잔류허용기준 및 명반의 사용기준 설정이 필요한 수준으로 판단할 수 있었다.

95th percentile 추정식이섭취량(EDI)은 알루미늄 잔류량 중 95th percentile, 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 95th percentile 도라지 섭취량 및 평균 체중을 이용하여 산출하였다. 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 95th percentile 도라지 섭취량을 연중 일상섭취량으로 간주할 때 95th percentile 추정주간식이섭취량은 4.270 mg/kg bw/d였으며, PTWI에 비해 4.270배 수준으로 도라지 섭취자군(시나리오Ⅱ) 중 극단섭취자(95th percentile)에 대한 확률분석(probability analysis) 등 심층적인 평가가 필요하다고 생각한다.

섭취자군(시나리오Ⅱ)의 깐도라지 섭취 시 평균 및 95th percentile 추정식이섭취량은 각각 0.055(0.000~1.309), 0.706 mg/kg bw/d였으며, 피도라지 섭취 시 평균 및 95th percentile 추정식이섭취량은 각각 0.004(0.000~0.065), 0.034 mg/kg bw/d였다. 따라서 도라지 섭취자군(시나리오Ⅱ)이 피도라지보다는 주로 깐도라지를 섭취하게 된다면 알루미늄 노출량이 더 높아질 가능성이 있다.

섭취자군(시나리오Ⅱ)을 성별로 나눈 남녀의 알루미늄 평균 추정식이섭취량은 각각 0.034(0.000~1.174), 0.032(0.000~1.396) mg/kg bw/d로 비슷한 수준이었으며, 95th percentile 추정식이섭취량은 남녀 각각 0.597, 0.525 mg/kg bw/d였다. 깐도라지 섭취 시 남녀의 알루미늄 평균 추정식이섭취량은 각각 0.056(0.000~1.174), 0.054(0.000~1.396) mg/kg bw/d였으며, 95th percentile 추정식이섭취량은 남녀 각각 0.691, 0.608 mg/kg bw/d였다. 피도라지 섭취 시 남녀의 알루미늄 평균 추정식이섭취량은 각각 0.004(0.000~0.058), 0.004(0.000~0.069) mg/kg bw/d였으며, 95th percentile 추정식이섭취량은 남녀 각각 0.033, 0.029 mg/kg bw/d였다.

섭취자군(시나리오Ⅱ)을 연령별로 나누어 도라지 섭취를 통한 추정식이섭취량을 살펴본 결과 노년층 0.034(0.000~1.201), 어린이 및 청소년층 0.034(0.000~0.906)> 성인층 0.032(0.000~1.159) mg/kg bw/d 순서였으며, 95th percentile 추정식이섭취량은 어린이 및 청소년층 0.704> 노년층 0.611> 성인층 0.540 mg/kg bw/d 순서로 높았다. 국민건강영양조사의 영양조사 대상자 중 섭취자군 227명의 평균 도라지 섭취량이 성인층 28.8±2.4(0.1~135.5), 노년층 28.8±2.7(1.2~129.8)> 어린이 및 청소년층 18.1±2.1(0.6~63.1) g/d 순서였던 점과는 달리 도라지 섭취로 인한 알루미늄의 노출량에서는 어린이 및 청소년층의 노출량이 성인층보다 다소 높게 나타났다. 이것은 Table 4에서 볼 수 있듯이 섭취자군의 연령별 체중이 성인층 66.0±1.4(46.9~93.8)> 노년층 61.0±1.0(41.3~82.5)> 어린이 및 청소년층 39.3±2.8(12.0~84.6) kg 순서였기 때문에 도라지 중 알루미늄 잔류량, 도라지 섭취량 및 체중을 고려하는 알루미늄 노출량에서 체중이 작은 어린이 및 청소년층의 노출량이 상대적으로 높아진 것으로 생각한다.

섭취자군(시나리오Ⅱ)의 깐도라지 섭취 시 평균 알루미늄 노출량을 연령별로 나누어 살펴본 결과 노년층 0.057(0.000~1.201)> 어린이 및 청소년층 0.056(0.000~0.906)> 성인층 0.053(0.000~1.159) mg/kg bw/d 순서였으며, 95th percentile 추정식이섭취량은 어린이 및 청소년층 0.815> 노년층 0.707> 성인층 0.625 mg/kg bw/d 순서로 높았다. 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 피도라지 섭취 시 평균 알루미늄 노출량을 연령별로 나누어 살펴본 결과 노년층 0.004(0.000~0.060), 성인층 0.004(0.000~0.058), 어린이 및 청소년층 0.004(0.000~0.045) mg/kg bw/d였으며, 95th percentile 추정식이섭취량은 어린이 및 청소년층 0.039> 노년층 0.034> 성인층 0.030 mg/kg bw/d 순서로 높았다.

요 약

2014~2015년 서울시내 대형마트, 소형마트 및 재래시장 등에서 유통 중인 천연 및 단순가공 도라지 총 93건(깐도라지 53건, 피도라지 40건)의 알루미늄 잔류량을 분석한 결과 평균 및 95th percentile 알루미늄 잔류량은 72.989(0.54~564.38) mg/kg 및 471.32 mg/kg이었다. 깐도라지 53건의 평균 및 95th percentile 알루미늄 잔류량은 121.235(0.54~564.38) mg/kg 및 545.622 mg/kg이었으며, 피도라지 40건의 평균 및 95th percentile 알루미늄 잔류량은 9.063(0.72~28.05) mg/kg 및 26.379 mg/kg이었다. 단순가공 깐도라지의 평균 알루미늄 잔류량은 천연 상태 피도라지에 비해 13.4배 높은 수준으로 유의적인 차이가 있었다($P<0.001$). 도라지의 알루미늄 분석값과 제6기 1차 연도(2013년)의 국민건강영양조사 중 영양조사(조사1일 전 식품섭취

내용, 24시간 회상법)의 도라지 섭취량 평균값, 최소값, 최대값 및 95th percentile 값을 이용하여 단일값 분석을 실시하여 추정식이섭취량(estimated daily intake, EDI)을 산출한 결과 영양조사 대상자 전체(시나리오Ⅰ)의 도라지 섭취를 통한 평균 알루미늄 EDI는 0.001(~1.363) mg/kg bw/d였으며, 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 평균 및 95th percentile EDI는 각각 0.033(0.000~1.309) 및 0.610 mg/kg bw/d였다. 도라지 섭취량을 연중 일상섭취량으로 가정하여 추정주간식이섭취량(estimated weekly intake, EWI)을 산출하여 잠정주간섭취허용량(provisional tolerable weekly intake, PTWI)과 비교하여 평가한 결과 섭취자군(시나리오Ⅱ)의 평균 추정주간식이섭취량은 0.231 mg/kg bw/week (23.1% PTWI)였다.

REFERENCES

1. Tada A, Kaneiwa Y, Shoji J, Shibata S. 1975. Studies on the saponins of the root of *Platycodon grandiflorum* A. DE CANDOLLE. Ⅰ. Isolation and the structure of platycodin-D. *Chem Pharm Bull* 23: 2965-2972.
2. Lee EB. 1975. Pharmacological activities of crude platycodin. *J Pharm Soc Korea* 19: 164-176.
3. Kim HK, Choi JS, Yoo DS, Choi YH, Yon GH, Hong KS, Lee BH, Kim HJ, Kim EJ, Park BK, Jeong YC, Kim YS, Ryu SY. 2007. HPLC analysis of saponins in platycodi radix. *Kor J Pharmacogn* 38: 192-196.
4. Kim YS, Lee BE, Kim KJ, Lee YT, Cho KB, Chung YC. 1998. Antitumor and immunomodulatory activities of the *P. grandiflorum* cultivated for more than 20 years. *Yakhak Hoeji* 42: 382-387.
5. Shon MY, Seo JK, Kim HJ, Sung NJ. 2001. Chemical compositions and physiological activities of *Doraji* (*Platycodon grandiflorum*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 717-720.
6. Korea International Trade Association. K-Stat. http://stat.kita.net/stat/kts/pum/ItemImpExpList.screen (accessed Apr 2015).
7. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. http://www.mafra.go.kr/list.jsp?id=30077&pageNo=1&NOW_YEAR=2014&group_id=4&menu_id=72&link_menu_id=&division=B&board_kind=C&board_skin_id=C1&parent_code=71&link_url=&depth=2 (accessed Nov 2014).
8. Kim SJ, Sun SH, Min KJ, Yoon KS. 2011. Microbiological hazard analysis and verification of critical control point (CCP) in a fresh-cut produce processing plant －Case study of a fresh-cut leaf processing plant－. *J East Asian Soc Diet Life* 21: 392-400.
9. Lee SJ, Lee SM. 2006. Survey on the use of pre-processed food materials in school foodservices in the Kyunggi area. *Korean J Food Cook Sci* 23: 553-564.
10. Mathew AG, Parpia HAB. 1971. Food browning as polyphenol reaction. *Adv Food Res* 19: 75-132.
11. Lee CY, Walker JRL. 1994. *Enzymatic browning and its prevention*. American Chemical Society, Washington, DC, USA. p 10-317.
12. Windholz M, Budavari S. 1983. *The merck index*. 10th ed. Merck & Co. Inc., Rahway, NJ, USA. p 362.
13. Wills MR, Savory J. 1983. Aluminum poisoning: dialysis encephalopathy, osteomalacia, and anaemia. *Lancet* 2: 29-34.
14. Price DL. 1986. New perspective on Alzheimer's disease. *Annu Rev Neurosci* 9: 489-517.
15. World Health Organization. 1998. *Guidelines for drinking-water quality*. 2nd ed. Addendum to Vol. 1. Recommendations. World Health Organization, Geneva, Switzerland. p 3-4.
16. World Health Organization. 2007. Aluminium (from all sources, including food additives). Evaluation of certain food additives and contaminants. Sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization, Geneva, Switzerland. p 33-44.
17. Ministry of Environment. http://www.law.go.kr/lsBylInfoPLinkR.do?lsiSeq=176558&lsNm=%EB%A8%B9%EB%8A%94%EB%AC%BC%20%EC%88%98%EC%A7%88%EA%B8%B0%EC%A4%80%20%EB%B0%8F%20%EA%B2%80%EC%82%AC%20%EB%93%B1%EC%97%90%20%EA%B4%80%ED%95%9C%20%EA%B7%9C%EC%B9%99&bylNo=0001&bylBrNo=00&bylCls=BE&bylEfYd=&bylEfYdYn=Y (accessed Aug 2015).
18. Thompson M, Ellison SLR, Wood R. 2002. Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis (IUPAC Technical Report). *Pure Appl Chem* 74: 835-855.
19. Millour S, Noël L, Kadar A, Chekri R, Vastel C, Guérin T. 2011. Simultaneous analysis of 21 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation. *J Food Compos Anal* 24: 111-120.
20. Chevallier E, Chekri R, Zinck J, Guérin T, Noël L. 2015. Simultaneous determination of 31 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation based on the accuracy profile. *J Food Compos Anal* 41: 35-41.
21. Poovaiah BW. 1986. Role of calcium in prolonging storage life of fruits and vegetables. *Food Technol* 40: 86-89.
22. Lee CY, Kagan V, Jaworski AW, Brown SK. 1990. Enzymatic browning in relation to phenolic compounds and polyphenoloxidase activity among various peach cultivars. *J Agric Food Chem* 38: 99-101.
23. Sapers GM, Douglas Jr FW, Bilyk A, Hsu AF, Dower HW, Garzarella L, Kozempel M. 1989. Enzymatic browning in Atlantic potatoes and related cultivars. *J Food Sci* 54: 362-365.
24. Ding CK, Chachin K, Ueda Y, Imahori Y. 1998. Purification and properties of polyphenol oxidase from loquat fruit. *J Agric Food Chem* 46: 4144-4149.
25. Bush RK, Taylor SL, Holden K, Nordlee JA, Busse WW. 1986. Prevalence of sensitivity to sulfiting agents in asthmatic patients. *Am J Med* 81: 816-820.
26. Hasty KA, Smith GN Jr, Kang AH. 1983. Histochemical identification of sulfation position in chondroitin sulfate in various cartilages. *J Histochem Cytochem* 31: 1367-1374.
27. Ponting JD, Jackson R, Watters G. 1972. Refrigerated apple slices: preservative effects of ascorbic acid, calcium and sulfites. *J Food Sci* 37: 434-436.
28. Friedman M. 1996. Food browning and its prevention: An overview. *J Agric Food Chem* 44: 631-653.
29. Marinez MV, Whitaker JR. 1995. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends Food Sci Technol* 6: 195-200.
30. Sapers GM, Miller RL. 1992. Enzymatic browning control in potato with ascorbic acid-2-phosphates. *J Food Sci* 57: 1132-1135.
31. Altunkaya A, Gokmen V. 2009. Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. sativa*). *Food Chem* 117: 122-126.
32. Tortoe C, Orchard J, Beezer A. 2007. Prevention of enzy-

matic browning of apple cylinders using different solutions. *Int J Food Sci Technol* 42: 1475-1481.
33. Antoine JMR, Hoo Fung LA, Grant CN, Dennis HT, Lalor GC. 2012. Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market. *J Food Compos Anal* 26: 111-121.
34. Han SH, Kim JM, Baek SH. 1995. Aluminum contents in wheat flour foods. *Korean J Food Sci Technol* 27: 303-305.
35. Ministry of Health and Welfare. 2013. Korea Health Statistics 2013: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES Ⅵ-1). Korea Centers for Disease Control & Prevention, Cheongju, Korea.
36. Hwang EH. 1991. A survey on availability of wild vegetables. *J Korean Soc Food Nutr* 20: 440-446.
37. Ahn KS, Noh EJ, Zhao HL, Jung SH, Kang SS, Kim YS. 2005. Inhibition of inducible nitric oxide synthase and cyclooxygenase Ⅱ by *Platycodon grandiflorum* saponins via suppression of nuclear factor-κB activation in RAW 264.7 cells. *Life Sci* 76: 2315-2328.
38. Konishi T, Tada A, Shoji J, Kasai R, Tanaka O. 1978. The structures of platycodin A and C monoacetylated saponins of the roots of *Platycodon grandiflorum* A. DC.. *Chem Pharm Bull* 26: 668-670.
39. Zhao HL, Cho KH, Ha YW, Jeong TS, Lee WS, Kim YS. 2006. Cholesterol-lowering effect of platycodin D in hypercholesterolemic ICR mice. *Eur J Pharmacol* 537: 166-173.
40. Choi CY, Kim JY, Kim YS, Chung YC, Seo JK, Jeong HG. 2001. Aqueous extract isolated from *Platycodon grandiflorum* elicits the release of nitric oxide and tumor necrosis factor-α from murine macrophages. *Int Immunopharmacol* 1: 1141-1151.
41. Wang C, Schuller Levis GB, Lee EB, Levis WR, Lee DW, Kim BS, Park SY, Park E. 2004. Platycodin D and D3 isolated from the root of *Platycodon grandiflorum* modulate the production of nitric oxide and secretion of TNF-α in activated RAW 264.7 cells. *Int Immunopharmacol* 4: 1039-1049.
42. Lee H, Kang R, Kim YS, Chung SI, Yoon Y. 2010. Platycodin D inhibits adipogenesis of 3T3-L1 cells by modulating Kruppel-like factor 2 and peroxisome proliferator-activated receptor gamma. *Phytother Res* 24: S161-S167.
43. Lee HM, Jung KH. 2008. Risk assessment for identifying maximum level of hazardous chemicals in foods. *J Fd Hyg Safety* 23: 80-84.
44. World Health Organization. 1985. WHO guideline for the study of dietary intakes of chemical contaminants. Report prepared by the Joint UNEP/FAO/WHO Food Contamination Monitoring Programme. WHO Offset Publication No. 87. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
45. WHO Food Safety Unit. 1997. Food consumption and exposure assessment of chemicals. Report of a FAO/WHO Consultation. WHO/FSF/FOS/97.5. FAO/WHO, Geneva, Switzerland. p 69.