국내 감자 24품종의 괴경내 글리코알칼로이드(glycoalkaloids) 함량 분포

손황배^{1*} · 김수정^{1*} · 이유영² · 박항미³ · 메카포구 만줄라타¹ · 장동철¹ · 홍수영¹ · 남정환¹ · 서종택¹ ·
권기범¹ · 정진철¹ · 김을호^{1**}

¹농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소, ²농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부, ³농촌진흥청
국립식량과학원 기획조정과

Distribution of Glycoalkaloids in Potato Tubers of 24 Korean Cultivars

Hwang-Bae Sohn^{1*}, Su-Jeong Kim^{1*}, Yu-Young Lee², Hyang-Mi Park³, Manjulatha Mekapogu¹,
Dong-Chil Chang¹, Su-Young Hong¹, Jeong-Hwan Nam¹, Jong-Taek Suh¹, Ki-Bum Kweon¹,
Jin-Cheol Jeong¹, and Yul-Ho Kim^{1**}

¹Highland Agriculture Research Institute, NICS, RDA, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

²Department of Central Area, NICS, RDA, Suwon 16429, Republic of Korea

³Headquarters, NICS, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract : Potato glycoalkaloids (PGA) are potentially toxic to human at high levels and current safety regulations have recommended that PGA content in tubers should not exceed 20 mg/100g-FW. The purpose of this study was to evaluate α -chaconine, α -solanine and total PGA content in tuber peel and flesh of 24 potato cultivars including 'Haryeoung', 'Goun', 'Hongyoung' and 'Jayoung'. The total PGA ranged from 3.1 to 10.1 mg/100g-FW and 41-85% of total PGA was accumulated in tuber peel in all cultivars. Potato cultivars with lower level of PGA were 'Jasim' (3.1 mg/100g-FW) and 'Goun' (3.4 mg/100g-FW), whereas 'Haryeoung' exhibited the highest level of PGA, 10.1 mg/100g-FW. Especially 'Jasim' and 'Goun' with the lower level of PGA can be consumed along with the peel on tubers. Also, these results provide the composition and levels of PGA in various potato cultivars for food safety and breeding of new cultivars with low levels of PGA for potato breeders and farmers.

Keywords : Glycoalkaloid, α -solanine, α -chaconine, Potato cultivars, Food safety

서 언

최근 들어 농산물에 대한 소비자들의 기호가 건강과 함께 편의성이 강조된 신선편이 농산물을 선호하는 방향으로 변화되고 있다. 신선편이 농산물의 시장규모는 2008년 기준 5,870 ~ 6,890억 원이며 향후 소득 증가와 함께 꾸준히 증가할 것이다 (Lee et al. 2009). 국내 농산물의 경쟁력은 자유무역협정(Free Trade Agreement, FTA) 등 외부여건이 불리해지고 있으며 국내 1인당 감자 소비량은 13.0(2001), 14.7(2005), 15.8 kg(2012)

으로 그 증가가 미흡한 실정이다(Cho et al. 2012). 감자의 소비증대를 위해서는 수요가 점차 늘어날 것으로 예측되는 신선편이 농산물 시장으로의 진출이 감자의 신규 시장 개척에 있어 좋은 방안이 될 것이다. 아직까지는 감자를 이용한 신선편이 제품이 국내에서는 부족한 실정이나 생식용 감자, 알감자 등 감자 전체를 식용 또는 가공용 제품으로 다양하게 활용하고자 하는 소비 방식의 변화로 세척 감자에 대한 소비자의 요구가 더욱 증가할 여지가 있어 그 잠재가치는 매우 클 것이다.

감자의 신선편이 시장으로 진입하기 위해서는 감자에 존재하는 유독 물질인 글리코알칼로이드(Potato glycoalkaloids, PGA)에 대한 주의가 필요하다. PGA는 solanidine에 결합하는 당의 종류 따라 나뉘며 α -solanine과 α -chaconine이 전체 PGA의 95%를 구성하고 있다. PGA는 안티콜린에스테라아제(anticholinesterase) 활성이 있어 과량 먹으면 소화기관 및 신경계 장애를 유발하며 경

*Corresponding author (E-mail: kimyuh77@korea.kr, Tel: +82-33-330-1840, Fax: +82-33-330-1519)

Hwang-Bae Sohn and Su-Jeong Kim equally contributed to this work.

(Received on August 27, 2015. Revised on November 04, 2015.

Accepted on November 04, 2015.)

우에 따라 중추신경계의 급격한 기능저하로 사망까지 이르게 할 수 있으므로 그 함량을 20 mg/100g·FW 이하로 제한하고 있다(FAO/WHO 1999, Machado et al. 2007).

국내에서 주로 재배되고 있는 감자 품종은 수미(Superior)와 대서(Atlantic)이며 수미의 경우 봄감자 및 여름감자의 65% 이상을 점유하고 있다. 농촌진흥청에서 육성된 하령 품종은 역병 저항성, 수량성 및 식미가 우수하여 재배면적이 늘어나는 추세이다(Park et al. 2008). 이러한 주요 품종의 PGA는 감자 속(flesh)보다 외피층(껍질 쪽에서 5 mm의 조직)에 주로 존재하기 때문에 조리할 때 외피층을 충분히 제거하면 PGA의 아린 맛과 독성은 문제가 되지 않는다(Kim et al. 2014, Kozukue & Mizuno 1986).

그러나 수미 품종의 경우 총 PGA 함량이 47.7 mg/100g·FW이며 외피층에 77.8%가 존재하여 껍질째 감자를 먹기에는 한

계가 있다(Kim et al. 2014). 또한 PGA 함량은 생육기간, 수확 및 수확 후 관리 등 전 과정에 걸쳐 다양한 요인에 의해 영향을 받으며 유통 과정에서 빛에 노출이 되면 PGA 생성이 더욱 촉진될 수 있다(Bejarano et al. 2000, Choi et al. 1994, Eltayeb et al. 2003, Grunenfelder et al. 2006). 특히 국내 재배 품종인 하령 품종의 경우 환경 스트레스에 의해 PGA 함량이 현저하게 증가하기 때문에 재배 및 수확 후 관리에 있어 주의가 필요하다(Manjulatha et al. 2014).

이처럼 국내 감자 주요 품종의 외피에 존재하는 PGA에 의해 아린 맛과 독성 문제가 발생할 수 있기 때문에 주의가 필요하다. 새로운 소비를 촉진시키고 안전한 감자 공급을 위해서는 무엇보다 PGA 함량이 FAO 권장기준보다 낮고 환경변화에 안정적인 품종의 활용이 중요하다. 본 연구에서는 국내 재배중인 24개 품종을 대상으로 괴경 부위별 PGA 함량을 조

Table 1. Characteristics of 24 potato cultivars in this study.

Cultivar	Abbreviation	Registration year	Utilization type	Nation of breeding	Cross combination
Irish Cobbler	IC	1960	Table food	USA	Bud-mutant of Early Rose
Superior	SP	1975	Table food, Potato chip	USA	B96-56 × M59-44
Dejima	DJ	1978	Table food	Japan	Hokaido31 × Unzen
Shepody	SeP	1983	French fry	Canada	F58050 × Wauseon
Jopung	JP	1988	Table food	Korea	Resy × Superior
Atlantic	AT	1995	Potato chip	USA	B5141-6 × Wauseon
Namsuh	NS	1995	Table food	Korea	(Sroeken × Superior) × Wheeler
Jasim	JS	1999	Table food	Korea	Daekwan48 × B6603-6
Gawon	GW	1999	Table food	Korea	Namsuh × Konahubuki
Chubaek	CB	1999	Table food	Korea	H83011-3 × Superior
Jasuh	JSH	2000	Table food	Korea	Daekwan49 × B6603-6
Jowon	JW	2000	Table food	Korea	AG54071 × Katahdin
Chudong	CD	2001	Table food	Korea	H83520 × Superior
Sinnamjag	SN	2001	Table food	Korea	Irish Cobbler × Katahdin
Chugang	CG	2002	Table food	Korea	H83005-2 × Superior
Gahwang	GH	2002	Potato chip	Korea	Atlantic × AG54701
Chuyoung	CY	2004	Table food	Korea	Atlantic × (Russet Burbank × Solanum phureja)
Haryeoung	HR	2005	Table food	Korea	Atlantic × Superior
Seohong	SH	2006	Table food	Korea	Jasim × 93K61-5
Goun	GU	2006	Potato chip	Korea	Lemhi Russet × Chubaek
Jayoung	JY	2007	Table food, Potato chip	Korea	Atlantic × AG34314
Hongyoung	HY	2007	Table food, Potato chip	Korea	Atlantic × AG34314
Saebong	SB	2010	Potato chip	Korea	Daegwan2-8 × DH09-231
Bangul	BU	2010	French fry	Korea	Dejima × Superior

사하여, PGA 함량이 낮은 감자 품종 육성 및 식품이용을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

실험 재료

감자 괴경 부위 및 크기별 PGA 함량 분석은 농촌진흥청에서 육성한 감자를 포함한 24 품종을 사용하였다(Table 1). 2012년 고랭지 여름재배에서 수확한 기본식물 단계의 씨감자를 2013년 진부포장(강원도 평창군 진부면, 해발고도 540 m)에 4월 15일 파종하여 8월 15일 수확하였으며, 농촌진흥청 표준 재배법에 준하여 수행하였다. 수확한 감자를 선별 및 상처치유 후 4℃ 감자저장고에서 저장하였으며 6개월 후 PGA 분석에 사용하였다(Friedman & McDonald 1997, Kim et al 2014).

시료 제조 방법

PGA 함량 분석을 위해 괴경을 무게에 따라 대(200~250 g), 중(100~200 g), 소(50~100 g)로 구분하였으며 시료의 조제 방법은 다음과 같다. 먼저 감자 표면의 흙을 세척 후 물기를 제거한 후 선행연구(Kim et al. 2014)에 따라 필러를 사용하여 껍질(2±0.2 mm)을 벗겨 껍질(peel)과 육질(flesh) 부위로 나누어 각각 30 g을 동결건조기(EYELA FDU-2100, EYELA Corp., Tokyo, Japan)에서 5일 동안 건조한 다음 분쇄하여 분석에 사용하였다.

PGA 추출법

Friedman et al. (2003)의 방법을 일부 수정하여 PGA를 추출하였으며 그 과정은 다음과 같다. 동결 건조한 시료 1 g에 추출용매인 5% acetic acid 20 ml를 첨가하여 2시간 동안 교반 후 여과지(Whatman No. 42, Whatman International Maidston, UK)로 여과하였다. 여과액에 ammonium hydroxide(NH₄OH)를 첨가하고 70℃ 항온수조에서 50분 동안 반응 후 4℃ 냉장고에서 하루 밤 방치하여 생성된 침전물을 10분간 13,000 rpm(1℃)에서 원심 분리하였다. 침전물을 1mL 메탄올에서 충분히 용해시킨 후 상등의 조건에서 원심 분리하여 상등액을 취하였다. 최종 추출물은 0.45 µm PVDF syringe filter(PALL, USA and Canada)로 여과하여 20 µl을 주입하여 HPLC 분석에 사용하였다(Fig. 1a).

HPLC 분석 조건 및 표준물질 제조

상기의 방법으로 추출된 시료를 HPLC(Waters 2695 Alliance HPLC, Waters Co., Milford, MA, USA)로 정량 분석하였다. 검출기로 2996 PDA(Waters Co., Milford, MA, USA)를 이용하였으며 검출파장은 208 nm이었다. 컬럼은 Inertsil NH₂(5µm, 4.0 x 250 mm, GL Science, Tokyo, Japan)를 이용하였으며, 이때 컬럼 온도는 20℃로 설정하였다. 이동상 acetonitrile/20mM KH₂PO₄(80:20, v/v)를 0.7 mL/min 속도에서 PGA를 분석하였다. 표준 α-chaconine(Extrasynthase Co., Angers, France)과 α-solanine(Sigma-Aldrich Korea Co., Yongin, Korea)를 사용하여 작성한 표준검량곡선을 이용하여 시료의 PGA를 검정 및 정량하였다(Fig. 1b).

통계 처리

모든 실험은 3반복으로 수행하였으며, 실험치는 평균값과 표준오차로 표시하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였다. 평균간 비교를 위하여 분산분석(ANOVA)을 수행하고, 유의성이 있을 경우 5% 유의수준에서 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

국내 주요 재배 감자 품종의 PGA 함량

최근 Kim et al. (2014)에 의해 보고된 주요 PGA 함량(mg/100g·FW)은 수미(47.7), 하령(46.2), 대서(19.7) 품종 순으로 많게 나타났다. 본 실험에서는 대서(Atlantic, AT), 수미(Superoir, SP), 하령(Haryoung, HR) 품종의 PGA 함량이 각각 4.8, 9.2, 10.1 mg/100g·FW로 기존 Kim 등(2014)의 결과에 비해 낮았다(Fig. 2a). 이는 Kim et al. (2014)은 껍질 및 감자 속 각각의 생체량 100 g에서 PGA 함량을 평가한 반면 본 실험에서는 전체 괴경 100 g 중 껍질 및 감자 육질 부위로 구분해 PGA 함량을 정량한 결과로 나타난 차이로 동일한 방식으로 환산하면 유사한 PGA 함량을 보였다. 이러한 PGA 함량 변화는 동일 재배지에서 재배한 감자 품종에서 PGA 함량을 측정하였기 때문에 유전적인 차이에 의한 것으로 사료되었다(Friedman & McDonald 1997, Sanford et al. 1995). 또한 하령(HR) 품종의 경우 대서(AT)에 비해 건조 및 광 조건에서 PGA 함량과 관련 있는 유전자, 3-Hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase 1와 Squalene synthase 1이 2배 이상

증가하였다라는 기존 보고는 품종에 따라서는 환경적 요인에 의해 PGA 함량에 영향을 받을 수 있음을 잘 나타낸다(Manjulatha et al. 2014). 이처럼 품종의 유전적 특성과 함께 환경 요인에 의해 국내 주요 재배종인 수미(SP)와 하령(HR)의 경우 전체 괴경에서 아린맛이 나는 PGA 함량(10 mg/100g·FW) 이상으로 높게 나타날 수 있다. 이러한 이유로 껍질째 먹는 소비 습관과 세척감자 수요 증가에 대비하여 수미(SP)와 하령(HR) 품종을 식용 및 가공용으로 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 국내 주요 감자 24개 품종의 PGA 함량 분석 결과를 바탕으로 신선편이 식 품용으로 적합한 PGA 함량이 낮은 품종을 선발하고자 하였다. 이는 품종 자체로서 이용이 가능하며 육성 재료로서 활용하여 기존 품종을 개량하는데 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

국내 육성 품종의 PGA 함량

감자의 경우 저장(4°C)기간에 따라 품종 별 PGA 함량 변화 정도는 차이가 있었으나 시간이 지남에 따라 PGA 함량이 낮아지면서 안정화된다고 보고하였다(Friedman & McDonald 1997, Kim et al. 2014). 특히 국내 주요 6품종인 수미, 대서, 하령, 홍영, 자영, 고운의 경우 저장고(4°C, 습도 90%)에서 4개월이 지나면 PGA 함량이 안정화되었다(Kim et al. 2014). 또한 감자에서 PGA는 껍질에 주로 존재하며 외부 스트레스에 반응하여 껍질 아래 조직의 1~2 mm 부분에서 함량이 증가하였다(Friedman & McDonald 1997, Tajner-Czopek et al. 2008). 따라서 본 연구에서 6개월간 저온(4°C, 습도 90%) 보관된 24개 품종의 2 mm 내외의 껍질과 육질 부위를 각각 시료 채취하여 PGA 함량을 분석하였다(Fig. 1c-d). 그 결과 감자 품종의 PGA 함량 범위는 3.1~10.1 mg/100g·FW이었으

Fig. 1. Extraction method of PGA from potato tuber samples (a) and determination of PGA in standard (b) and samples (c-d). HPLC chromatogram shows α-chaconine and α-solanine in standard solution (b). HPLC chromatograms show α-chaconine and α-solanine extracted from tuber peels of potato cv. Haryeoung (c) and Goun (d). HPLC was carried out on a Intersil-NH₂ column with solvents of acetonitrile/20mM KH₂PO₄ (80:20, v/v). Detection of peaks was at 208 nm.

며 껍질 부위의 PGA 함량은 전체 함량의 40.9~84.7%였다 (Fig. 2a). Kim et al. (2014)의 연구 결과에서는 국내 주요 6 품종의 PGA 함량 및 껍질 분포비율이 본 실험에 비하여 전체 적으로 높았으나 전체 괴경 100 g 중 껍질 및 감자 육질 부위에서 PGA 함량으로 환산 적용하면 본 실험 결과와 유사하였다.

수미(SP), 조풍(Jopung, JP), 하령(HR) 품종에 포함된 PGA 함유량이 높았으며 각각 9.2, 9.3, 10.1 mg/100g·FW 함량 수

준을 나타냈다(Fig. 2a). 하령(HR), 조풍(JP), 수미(SP) 품종의 경우 각각 껍질 부위를 제거한 육질부위 함량은 3.4, 3.5, 4.6 mg/100g·FW으로 낮게 나타나 안전한 섭취가 가능한 것으로 조사되었다(Fig. 2b). 그러나 이들 품종의 PGA 함량은 아린맛을 유발하는 농도(10 mg/100g·FW)에 근접해 있어 껍질째 감자를 조리 및 가공할 경우 아린맛을 유발하여 식미를 저해할 수 있을 것으로 사료되었다. 특히 하령(HR) 품종의

Fig. 2. Total PGA content in total tubers (a) and ratio of PGA content in tuber peels compared to that in total tubers (b). PGA was extracted from tuber and analyzed in three replicates by HPLC. Means are indicated for three replicates. Points with different letters show significant difference ($p < 0.05$) as determined by Duncan's Multiple Range Test. Cultivars: HR, 'Haryeoung'; JP, 'Jopung'; SP, 'Superior'; HY, 'Hongyoung'; CY, 'Chuyoung'; IC, 'Irish Cobbler'; CB, 'Chuback'; JY, 'Jayoung'; CD, 'Chudong'; NS, 'Namsuh'; JW, 'Jowon'; GW, 'Gawon'; Sep, 'Shepody'; BU, 'Bangul'; CG, 'Chugang'; SB, 'Saebong'; DJ, 'Daejima'; AT, 'Atlantic'; SH, 'Seohong'; GH, 'Gahwang'; JSH, 'Jasuh'; SN, 'Sinnamjang'; GU, 'Goun'; JS, 'Jasim'.

경우 건조 및 광 조건에서 PGA 함량 증가가 현저하였으며 이는 환경적 요인에 의해 아린 맛을 느낄 수 있는 수준이상으로 PGA가 증가할 수 있기 때문에 감자 전체를 이용할 때 주의가 필요하다(Choi et al. 1994, Manjulatha et al. 2014, Sinden et al. 1984). 이처럼 아린 맛을 유발할 수 있는 함량에 근접해 있는 품종은 껍질을 제거해서 먹는 소비 습관에 적합한 품종이나 껍질째 감자를 이용하기 위해서는 재배 및 수확 후 관리를 통하여 총 PGA 함량을 낮출 필요가 있다.

홍영(Hongyoung, HY), 자영(Jayoung, JY), 대지(Dejima, DJ), 방울(Bangul, BU)을 포함하여 14 품종의 총 PGA 함량 범

위는 5.3 ~ 7.3 mg/100g·FW 이었다(Fig. 2a). 추백(Chubaek, CB), 홍영(HY), 추동(Chudong, CD) 품종에서 각각 40.9, 41.7, 48.0% 껍질 부위 함량이 낮았으며 새봉(Saebong, SB) 품종은 82.4%로 높게 나타나 품종간 차이를 보였다(Fig. 2b). 이중 컬러감자 자영(JY)과 홍영(HY)의 총 PGA 함량은 각각 6.9와 7.3 mg/100g·FW이었다(Fig. 2a). 이는 컬러감자의 껍질에 다량 함유된 기능성 성분을 생식용으로 활용 가능할 것으로 사료되었다. 이처럼 14개 품종은 전체 PGA 함량에서는 새로운 소비 패턴에 적합하였다. 그러나 하령 품종에 비하여 그 정도는 덜 하나 환경적 요인에 의해 아린맛을 느낄 수 있는

Fig. 3. The content of α-chaconine (a) and α-solanine (b) in peel and flesh of tubers from 24 potato cultivars. PGA was extracted from tuber and analyzed in three replicates by HPLC. Filled bars portray data for tuber flesh, and open bars portray data for tuber peels. Means and standard deviation is indicated for three replicates. Bars with different letters show significant difference ($p < 0.05$) as determined by Duncan's Multiple Range Test. Cultivars: HR, 'Haryeoung'; JP, 'Jopung'; SP, 'Superior'; HY, 'Hongyoung'; CY, 'Chuyoung'; IC, 'Irish Cobbler'; CB, 'Chuback'; JY, 'Jayoung'; CD, 'Chudong'; NS, 'Namsuh'; JW, 'Jowon'; GW, 'Gawon'; Sep, 'Shepody'; BU, 'Bangul'; CG, 'Chugang'; SB, 'Saebong'; DJ, 'Daejima'; AT, 'Atlantic'; SH, 'Seohong'; GH, 'Gahwang'; JSH, 'Jasuh'; SN, 'Sinnamjag'; GU, 'Goun'; JS, 'Jasim'.

수준이상으로 PGA가 증가할 여지가 있는 만큼 유전형과 환경간 상호작용 연구를 통해 PGA 함량 변화를 바탕으로 한 품종의 안전성 평가가 필요하다.

대서(AT), 고운(Goun, GU), 자심(Jasim, JS), 제서(Jaesuh, JSH), 신남작(Sinnamjag, SN), 가황(Gahwang, GH), 서홍(Seohong, SH) 등 7개 품종의 총 PGA 함량은 3.1~4.8 mg/100g·FW으로 가장 낮았다(Fig. 2a). 대서(AT), 고운(GU), 자심(JS) 품종의 경우 총 PGA 함량이 각각 4.8, 3.4, 3.1 mg/100g·FW이었으며 껍질을 제거하면 각각 0.7, 0.7, 1.9 mg/100g·FW으로 현저하게 감소하였다(Fig. 2b). 이들 7개 품종들은 총 PGA 함량이 낮아 껍질째 섭취가 가능하여 생식용 감자, 알 감자, 통감자 튀김 등 껍질째 식용 또는 가공용으로 활용하기 적합한 것으로 사료되었다. 특히 Manjulatha et al. (2014)의 보고에 의하면 대서(AT) 품종의 경우 광 및 건조 조건과 같은 환경 변화에서 PGA 생성이 저해되었으며 Etlayeb et al. (2003)은 감자 Aida와 Atlas 품종의 경우 형광 등에 노출 되더라도 PGA 함량 변화가 없다고 보고하였다. 이처럼 품종에 따라서는 환경변화에 따라 PGA 생성이 억제되는데 특히 대서(AT)의 경우 환경에 관계없이 PGA 함량이 낮게 유지가 되어 감자 전체를 음식재료로 사용하는데 있어 안전성이 높을 것으로 사료되었다.

PGA 성분 중 α -chaconine이 α -solanine에 비해 10배 정도의 강한 독성을 보이기 때문에 이들 성분의 비율 정보가 중요하다(Friedman 2006, Slanina 1990). 본 연구에서 국내 육성 품종의 전체 PGA 함량에서 α -solanine의 상대적 함량은 13.0~33.3%였으며 이중 국내 주요 재배종인 수미(SP), 하령(HR), 대서(AT)의 경우 함량 비율이 각각 33.3, 29.7, 27.6%였다. 전체 PGA 함량이 낮았던 고운(GU), 자심(JS) 품종은 α -solanine의 함량 비율이 각각 21.3, 22.4%였다(Fig. 3). Kim et al. (2014)의 결과와 비교했을 때 α -solanine 함량 변화가 심하였으며 이는 품종 및 재배환경에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다(Morris & Petermann 1985).

Hellenas et al. (1995)은 조생종의 경우 소괴경에서 PGA 함량이 높게 나타나는데 성숙하면서 기존의 PGA가 희석되어 전체 농도가 낮아지는 것으로 추정하고 있다. 본 실험에서도 조생종의 소괴경에서 전반적으로 PGA 함량이 높게 나타나 기존 연구결과를 잘 반영하고 있었다. 특히 국내 주요 감자 품종인 수미(SP)의 경우 소괴경에서 11.3 mg/100g·FW로 쓴맛을 유발하는 농도(10 mg/100g·FW) 이상으로 존재하기 때문에 수미 품종으로는 감자 전체를 사용하기에는 한계가 있

다는 사실을 잘 보이고 있다. 반면 숙기가 길어질수록 감자 크기와 PGA 함량간에 뚜렷한 상관관계를 확인하지 못하였다. 오히려 대지(DJ), 추영(CY) 품종의 경우 감자 크기가 작을수록 PGA 함량이 감소하는 경향이 있었다. 무엇보다 고운(GU), 자심(JS) 품종의 경우 괴경 크기에 관계없이 전체 PGA 함량이 낮아 감자 속 및 껍질을 안정적으로 이용할 수 있는 품종이었다. 그리고 숙기와 상관없이 국내 육성 품종의 감자 크기가 작아질수록 전체 PGA 함량에서 α -solanine의 상대적 함량은 감소하는 경향성이 있었다. 특히 수미(SP) 품종은 α -solanine 함량비율이 대(22.4%), 중(26.9%), 소(50.7%)로 현저한 증가 양상을 보였다(Table 2).

향후 국내 육성 품종의 재배 년도에 따른 PGA 함량 변화와 함께 환경 변이에 따른 품종의 PGA 함량 변화 자료를 지속적으로 모니터링 해 나갈 필요가 있다. 이는 PGA 함량에 따라 식용, 가공용 등 용도별 품종을 구분하는 방식 이외에 소비자의 소비 양상을 반영한 품종 구분이 가능할 것으로 사료된다.

미래 수요에 대응하기 위한 품종 육성

국내 감자 육종 목표는 조리 시 껍질을 충분히 제거하고 먹는 국내 소비 성향에 맞추어져 있기 때문에 껍질의 PGA 함량은 고려 대상이 아니었다. PGA의 내병성 효과를 고려한다면 껍질에서의 함량이 높은 품종이 재배에 더욱 용이하다고 할 수 있다. 그러나 2000년대 이후 감자 전체를 식용 및 가공용으로 이용하는 경향성의 증가와 함께 감자 속 및 껍질에서도 함량이 낮은 품종의 활용도가 높아졌다. 국내 육성 품종 중 고운(GU), 자심(JS) 품종의 경우 괴경 크기에 관계없이 전체 PGA 함량이 낮아 껍질째 먹을 수 있어 품종으로 이용 가치가 높을 뿐만 아니라 주요 재배종인 수미의 PGA 성분을 낮추는데 있어 중요한 중간모본으로 활용 가능하다. 고운(GU) 품종의 경우 육질이 백색으로 기존 수미(SP) 품종의 PGA 함량을 개선하는데 활용 가능할 것으로 보인다. 또한 자심(JS) 품종은 기존 컬러감자 품종의 총 PGA 함량을 낮추는데 육종소재로서 사용 가능할 것으로 사료된다. 이처럼 컬러감자의 전체 PGA 함량을 낮추는 것은 껍질에 함유된 기능성분의 활용을 더욱 높일 수 있다는 점에 있어 의미가 크다고 할 수 있다. 향후 신선편이농산물 시장의 성장 가능성과 감자의 소비 변화에 맞추어 총 PGA 함량이 낮은 품종의 활용은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

Table 2. Content of total PGA and α -solanine per total PGA in 24 potato cultivars by large, medium and small sizes of potato tubers.

Cultivar ^z	Maturity	Total PGA(mg/100g·FW)			α -solanine/total PGA(%)		
		Large	Medium	Small	Large	Medium	Small
SP	Early	7.7±0.7c ^y	8.7±0.3b	11.3±0.5a	22.4	26.9	50.7
JP	Early	9.1±0.1b	8.5±0.5b	10.1±0.9b	23.6	22.3	24.3
IC	Early	7.4±0.3c	4.9±0.2ijkl	8.9±0.3c	21.9	20.0	28.4
CB	Early	7.4±0.1c	5.5±0.2ghi	7.7±0.3de	9.6	9.8	12.6
JW	Early	4.8±0.3fg	7.2±0.2c	6.0±0.5ghi	21.2	17.8	18.5
GW	Early	5.6±0.4ef	5.5±0.3ghi	6.7±0.2fg	23.5	19.4	25.3
BU	Early	4.6±0.1fgh	5.8±0.2fgh	6.4±0.2fgh	18.0	18.0	20.7
SB	Early	4.6±0.1fgh	5.1±0.2hijk	6.4±0.8fgh	24.4	24.7	30.1
GH	Early	3.7±0.2hi	4.8±0.2ijkl	5.3±0.1ij	17.8	15.3	20.0
JSH	Early	3.6±0.3hi	4.6±0.1jkl	5.0±0.1j	24.1	24.3	27.3
SN	Early	4.1±0.1ghi	4.6±0.2jkl	4.1±0.1j	14.9	17.0	22.0
HR	Early-medium	11.8±0.1a	10.1±0.3a	8.3±0.7cd	24.5	38.1	26.6
SH	Early-medium	4.4±0.1ghi	4.3±0.1kl	5.4±0.1ij	13.7	15.4	27.8
GU	Early-medium	3.4±0.1i	3.6±0.1m	3.3±0.1k	20.4	16.7	26.9
HY	Medium	7.6±0.1c	7.0±0.1cd	7.2±0.1ef	11.8	12.1	15.1
CY	Medium	7.4±0.1c	7.3±0.3c	6.6±0.2fg	22.0	20.1	19.1
CD	Medium	7.1±0.2cd	5.2±0.3hij	6.7±0.1fg	22.0	20.1	19.1
NS	Medium	6.0±0.5de	6.1±0.1efg	6.9±0.1f	17.9	19.9	14.3
SeP	Medium	6.2±0.3de	4.9±0.1ijkl	5.8±0.1hij	15.0	19.4	19.3
CG	Medium	4.4±0.1ghi	6.8±0.2cde	5.5±0.3ij	17.5	26.5	25.1
AT	Medium	4.9±0.3fg	4.3±0.2l	5.2±0.4ij	28.1	26.0	28.6
DJ	Medium-late	6.7±0.1cde	5.3±0.1ghij	3.9±0.1k	17.6	15.9	19.0
JY	Late	7.3±0.1c	6.4±0.2def	6.9±0.4f	30.4	26.4	27.8
JS	Late	2.2±0.1j	3.1±0.1m	3.9±0.1k	21.0	25.3	20.9

^zCultivars: HR, 'Haryeoung'; JP, 'Jopung'; SP, 'Superior'; HY, 'Hongyoung'; CY, 'Chuyoung'; IC, 'Irish Cobbler'; CB, 'Chuback'; JY, 'Jayoung'; CD, 'Chudong'; NS, 'Namsuh'; JW, 'Jowon'; GW, 'Gawon'; Sep, 'Shepody'; BU, 'Bangul'; CG, 'Chugang'; SB, 'Saebong'; DJ, 'Daejima'; AT, 'Atlantic'; SH, 'Seohong'; GH, 'Gahwang'; JSH, 'Jasuh'; SN, 'Sinnamjag'; GU, 'Goun'; JS, 'Jasim'.

^yDifferent letters mean significant difference ($p < 0.05$) as determined by Duncan's Multiple Range Test.

적 요

감자 수요를 확대하기 위해서는 소득 증가와 함께 소비자의 관심이 증대하고 있는 신선편이식품으로 시장을 보다 더 넓혀 나가야 한다. 이를 위해서는 감자에 존재하는 유독 물질인 glycoalkaloids에 대한 주의가 필요하다. 본 연구에서는 도입품종인 대서, 수미와 최근 국내에서 개발된 하령, 고운, 홍영, 자영 품종을 포함하여 국내 주요 24품종을 대상으로 부위별 PGA 함량을 분석하였으며 그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 총 PGA 함량(mg/100g·FW)은 하령(10.1), 수미(9.3), 홍영(7.3), 자영(6.9), 대서(4.8), 고운(3.4), 자심(3.1) 순으로 나타났다.

2. 공시품종의 껍질부위 PGA 함량은 전체 함량의 41 ~ 85% 분포를 보였으며, 국내주요 재배 품종에서 대서는 PGA 함량이 껍질(85%)에서 높고 육질 부위(0.7)에서 낮아 PGA 독성으로부터 가장 안전한 품종이었다.

3. 특히 고운, 자심 품종은 PGA 함량이 제일 낮아 껍질째 감자를 이용하기에 적절하며 중간모본으로 활용가치가 크다고 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 기관고유연구사업(세부과제번호: PJ011259002, PJ00876403)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. Bejarano L, Mignolet E, Devaux E, Carrasco E, Larondelle Y. 2000. Glycoalkaloids in potato tubers: the effect of variety and drought stress on the α -solanine and α -chaconine contents of potatoes. J. Sci. Food Agri. 80: 2096-2100.
2. Cho JH, Choi CG, Kim YJ. 2012. Countermeasures in potato in response for FTA. Korea Rural Economic Institute, Korea.
3. Choi D, Bostock RM, Avdiushko S, Hildebrand DF. 1994. Lipid-derived signals that discriminate wound and pathogen-responsive isoprenoid pathways in plants: methyl jasmonate and the fungal elicitor arachidonic acid induce different 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase genes and antimicrobial isoprenoids in *Solanum tuberosum* L. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 91: 2329-2333.
4. Eltayeb EA, Al-Sinani SS, Khan I. 2003. Effect of illumination by fluorescent light on the accumulation of glycoalkaloids in the tubers of 7 varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown in Oman. Pak. J. Biol. Sci. 6: 655-660.
5. FAO/WHO. 1999. Summary of evaluations performed by the joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA). ILSI Press, Washington.
6. Friedman M. 2006. Potato glycoalkaloids and metabolites: Role in the plant and in the diet. J. Agri. Food Chem. 54: 8655-8681.
7. Friedman M, McDonald G. 1997. Potato glycoalkaloids: Chemistry, analysis, safety and plant physiology. Crit. Rev. Plant Sci. 16: 55-132.
8. Friedman M, Roitman JN, Kozukue N. 2003. Glycoalkaloid and calystegine contents of eight potato cultivars. J. Agri. Food Chem. 51: 2964-2973.
9. Grunenfelder LA, Knowles LO, Hiller LK, Knowles NR. 2006. Glycoalkaloid development during greening of fresh market potatoes (*Solanum tuberosum* L.). J. Agri. Food Chem. 54: 5847-5854.
10. Hellenas KE, Branzell C, Johnsson H, Slanina P. 1995. Glycoalkaloid content of early potato varieties. J. Sci. Food Agri. 67: 125-128.
11. Kim YH, Kim GH, Ji HR, Lee YY, Park HM, Kwon OK, Kim SJ, Sohn HB, Jin YI, Hong SY, Nam JH, Kweon KB, Suh JT, Jeong JC. 2014. Glycoalkaloids content influenced by tuber parts and storage period in major potato cultivars of Korea. Korean J. Breed. Sci. 46: 209-217.
12. Kozukue N, Mizuno S. 1986. Determination of α -chaconine and α -solanine in May Queen potatoes by high-performance liquid chromatography. J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol. 33: 232-237.
13. Lee YS, Kim SH, Kim DH. 2009. The opportunity and assignment of market for fresh cut. In: 2009 Agricultural Outlook. Korea Rural Economic Institute, Korea. pp.284-314.
14. Machado RMD, Toledo MCF, Garcia LC. 2007. Effect of light and temperature on the formation of glycoalkaloids in potato tubers. Food Control 18: 503-508.
15. Manjulatha M, Sohn HB, Kim YH, Kim SJ, Cho KS, Kwon OK, Jin YI, Hong SY, Nam JH, Suh JT, Choi JK, Jeong JC. 2014. Comparative expression of key genes involved in steroidal glycoalkaloid biosynthesis in tubers of two potato cultivars, Atlantic and Haryoung. Plant Breed. Biotech. 2: 257-267.
16. Morris SC, Petermann JB. 1985. Genetic and environmental effects on levels of glycoalkaloids in cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). Food Chem. 18: 271-282.
17. Park YE, Jeong JC, Cho HM, Cho JH. 2008. Evaluation of the potential for environment-friendly cultivation of potato cv. Haryoung. Korea. Korean J. Breed. Sci. 40: 258-262.
18. Sanford LL, Deahl KL, Sinden SL, Kobayashi RS. 1995. Glycoalkaloid content in tubers of hybrid and backcross populations from a *Solanum tuberosum* (X) *chacoense* cross. Am. Potato. J. 72: 261-271.
19. Sinden SL, Sanford LL, Webb RE. 1984. Genetic and environmental control of potato glycoalkaloids. Am. Potato J. 61: 141-156.
20. Slanina P. 1990. Assessment of health-risks related to glycoalkaloids (solanine) in potatoes: A Nordic view. Report from the Nordic working group on food toxicology and risk assessment. Var Foda 43 (Suppl. 1).
21. Tajner-Czopek A, Jarych-Szyszk M, Lisinska G. 2008. Changes in glycoalkaloids content of potatoes destined for consumption. Food Chem. 106: 706-711.