

아크릴아마이드 저감화된 콜드칩 가공용 우수감자 계통 선발

김성무^{1,2} · 황원남² · 조동하² · 강위수² · 임학태^{2,3*}

¹로동대학교 식품공정학원, ²강원대학교 생명건강공학과, ³한국감자소재은행

Selection of the Superior Potato Clones Based on Acrylamide Reduction for Cold Chipping

Cheng Wu Jin^{1,2}, Won Nam Hwang², Dong Ha Cho², Wie Soo Kang², and Hak Tae Lim^{2,3*}

¹College of Food Engineering, Ludong University, Yantai 264-025, China

²Department of Bio-Health Technology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³The of Center for Korea Potato Genetic Resources, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract. In order to select potato clones for making cold chip, this study analyzed the glucose content, acrylamide content, and the correlation between the two properties after harvest, 4°C and 8°C low-temperature storage, and 20°C heating treatment of 47 breeding clones and control cultivars ‘Atlantic’, ‘Sumi’, and ‘Gui Valley’. In all of the control cultivars and 47 clones, glucose content was below 0.25% and acrylamide content was below 1000 ppb just after harvest, but after 4°C low-temperature storage both the glucose content and acrylamide content increased rapidly and only 4 clones H7, H13, H16, and H40 showed a level below 500 ppb. In 8°C low-temperature storage as well both contents increased, but the increase was relatively smaller than that in 4°C low-temperature storage. In addition, 20°C heating treatment decreased both contents. In the results of analyzing the correlation between glucose content and acrylamide content at low-temperature storage, a positive correlation was observed. In conclusion, clones H7, H13, H16, and H40 showing low glucose content even at low-temperature treatment were found to contain less acrylamide and therefore they were selected as potato clones suitable for making cold chip.

Additional key words: breeding, cold storage, frying, glucose

서 언

감자는 가지과(*Solanaceae*)에 속하는 다년초본성 식물로 주로 *Solanum tuberosum*이라는 4배체 종이 재배되고 있다. 감자는 생육기간이 짧고 단위 면적당 생산량이 비교적 높고 환경적응성도 비교적 강하기 때문에 세계 130여개 나라에서 재배되고 있는 벼, 밀, 옥수수 다음으로 가는 세계 4대 식량작물 중의 하나이며 생산량은 밀 다음으로 2위를 차지하고 있다(Qu et al., 2005).

국내에서 감자 품종의 용도는 크게 식용과 가공용으로 구분할 수 있는데, 국내 장려품종은 대부분이 식량부족 시대에 대개 식용 위주로 장려되어 왔으나, 최근 생활 개선 등으로 가공용으로 일부 전환되어 칩(chip)가공용으로 ‘대서’

와 후렌치후라이(franch frying)용으로 ‘세풍’ 품종 등이 개발되었지만 거의 외국에서의 도입 육종에 의하여 개발되었다. 현재 국내의 가공 산업은 주로 칩 생산에 국한되어 있으며, 그나마도 원료용 감자품종은 외국 품종인 ‘Atlantic(대서)’에 의존해 왔다. 이 품종의 가공품질은 비교적 좋은 편이나 육성모지와 다른 기후환경 조건의 차이에 따라 괴경의 내부생리장애 현상이 크게 나타나는 단점이 있다(Lee et al., 2010; Yang et al., 2001). 경제 산업적 측면에서 감자는 우리 국민의 식생활에서는 식량자원의 역할과 또 최근의 식생활 구조의 다양화로 인하여 점차 중요한 위치를 차지해 가고 있다.

가공용 감자를 위한 품종의 육성은 주로 인공교배를 수단으로 하여 다양한 변이를 창출하고 선발하는 방법으로 이루어지는데, 가공형질이 우수한 후대개체의 출현 빈도를 높이

*Corresponding author: limhakta@kangwon.ac.kr

※ Received 21 March 2012; Revised 15 June 2012; Accepted 30 June 2012. 본 연구는 한국연구재단의 연구비 지원에 의해 ‘연구소재지원사업’의 연구과제로 수행되었음.

기 위해서는 우수한 교배 모본의 이용이 가장 효율적인 방법으로 보고되어 있다(Christian and Peloquin, 1995; Wang et al., 2005). 그리고 Christian and Peloquin(1995)은 실생2세대에서 칩 가공용 감자 계통의 선발이 가능성과 선발된 후대의 차대 농업형질 등의 발현양상을 조사한 결과 실생2세대에서는 chipping quality의 선발이 가능하고, 실생3세대에서 수량에 대한 선발하는 것이 바람직하다고 보고하였다.

아크릴아마이드는 전분이 많은 식품을 가열 처리하였을 경우 생성되는 발암 가능성 물질이다(Hogervorst et al., 2007). 아크릴아마이드는 asparagine 등의 아미노산과 포도당 등의 환원당의 반응, 즉 비효소 갈변화 반응인 maillard reaction에 의해 생성되는데(Elmore et al., 2007), 특히 감자를 가열 조리하였을 경우 아크릴아마이드의 검출량이 많았는데 Martin and Ames(2001)이 유리 아미노산인 asparagine이 감자 내에 많이 함유($93.9\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$)되어 있음을 밝혀냈다. 즉 유리 아미노산인 asparagine이 환원당과 결합하여 열을 만나 아크릴아마이드를 생성하기 때문이라는 연구 결과가 발표되었다. 이러한 아크릴아마이드는 200°C 이하까지는 가열온도가 증가함에 따라 시간이 길어짐에 따라 그 함량이 증가하며(Granda et al., 2004; Kim et al., 2004; Mottram et al., 2002), asparaginase, pH, CaCl_2 , phytate, 침지처리 및 가공조건 변화에 의해 함량을 감소시킬 수 있다는 보고(Friedman, 2003; Jung et al., 2003; Pariza, 2004; Zyzak et al., 2003)도 있다. 외국의 경우 식품 중 아크릴아마이드 생성량이 조리 및 가공온도, 시간에 따라 커다란 차이가 나기 때문에 현재까지는 아크릴아마이드 관리기준이 설정되어 있지 않다.

환원당의 함량은 칩이나 프렌치프라이드의 색도를 밝게 하여 품질을 향상시키는 역할을 한다(Luis and Wrolstad, 1997). 따라서 여러 형질 중 낮은 환원당 함량은 가공용 감자가 갖추어야 할 가장 중요한 형질이라고 할 수 있다(Thill and Peloquin, 1994). 일반적으로 가공용 감자는 수확 직후 낮은 환원당 함량을 지니며, 가공될 시 밝은 칩 색깔을 나타낸다. 그러나 포장에서 수확된 감자는 일시에 많은 양의 처리가 불가능하기 때문에 저장 중에 감자썩이 나오는 것을 방지하고 신선한 상태로 오랜 기간 동안 유지하기 위하여 보통 $2\text{-}10^{\circ}\text{C}$ 정도의 저온에서 저장하게 되는데 이때 전분은 환원당으로 전환하게 된다(Henryka et al., 1995). 아크릴아마이드는 저온에서의 저장으로 인해 그 함량이 더 높아지며, 그 저장 조건에 대한 함량의 변이양상은 환원당 함량과 비슷하기 때문에 환원당과 상관성이 높은 것으로 보고되었다(Hasse, 2003; Pariza, 2004).

이러하듯이 대부분 연구들은 감자의 가공조건에 따른 아크릴아마이드 함량 변화를 조사하였으나, 근본적인 칩 가공

용 감자 육종개발이 아주 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서 대조구 품종인 ‘대서’, ‘수미’, ‘구이벨리’ 및 한국감자육종소재은행에서 육성된 47계통들의 저장조건에 따른 glucose와 아크릴아마이드 함량을 비교 분석함으로써 콜드칩 가공용 감자 품종을 선발하고자 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

저온(4°C)에서의 저장 후에도 0.25% 이하의 낮은 glucose 함량을 지니는, 즉 콜드칩 가공이 가능한 가공용 품종인 ‘White Pearl’, ‘Ivory Crisp’, ‘Wallowa Russet’, ‘Gemstar Russet’과 강원대학교 한국감자육종소재은행에서 육성된 계통으로 저온에서의 저장 후 glucose 함량은 다소 높지만, 수량성이 우수하고 감자 역병 또는 더텅이병에 저항성을 지니는 ‘KW 86514’, ‘KW84118’, ‘KW8495’, ‘KW9045’들이 본 연구를 위한 교배양친으로 이용되었다. 강원대학교 부속농장의 비가림 하우스에서 인공교배가 실시되었고, 교배방법은 개화한 꽃을 채취하여 1일간 음건시킨 뒤 바이브레이터로 화분을 털어내어 젤라틴 캡슐에 화분을 저장하여 사용하였으며, 당일 개화한 꽃에서 약을 핀셋으로 제거하고 채취한 화분을 인공교배 하였다.

대조품종으로는 ‘대서’, ‘수미’, ‘구이벨리’가 이용, 특히 ‘대서’는 현재 국내에서 가장 많이 재배하고 있는 가공용 품종으로 칩 가공에 적합한 둥근 모양을 지녔고, ‘구이벨리’는 강원대학교 한국감자육종소재은행에서 개발된 가공용 품종으로 긴 모양을 지님으로써 프렌치프라이에 적합한 품종이며, ‘수미’는 국내에서 가장 많이 재배하고 소비되는 식용 품종이다. 실생2세대에서 선발된 47계통을 대조품종인 ‘대서’, ‘수미’, ‘구이벨리’와 함께 2009년 4월 3일 강원대학교 한국감자육종소재은행의 부속농장에 있는 포장에 공시하였다. 재식거리는 휴간 75cm, 주간 25cm로 하였고, 실험구는 계통당 10주씩 완전임의배치로 하였다. 수확 직후, 저온 저장(4°C , 8°C 에서 각각 4개월) 후, 가온 조정(4°C 에서 4개월 후, 20°C 에서 2주) 후 실험분석용으로 사용하였다.

Glucose 함량 분석

감자의 괴경내 glucose 함량의 측정은 Lindsay의 방법(1973)에 준하여 측정하였다. 측정용 시약의 조제는 3,5-dinitrosalicylic acid(DNSA) 20g을 1L 증류수에 용해시킨 후, 2M의 NaOH를 400mL 증류수에 녹여서 DNSA 용액에 더하였고, 이 용액에 sodium potassium tartrate(Rochelle salt) 600g을 용해하여 최종부피를 2L로 맞추어 분석용 조제용액

을 만들었다. Glucose의 함량 측정을 위한 감자는 각각 계통의 특성을 대표할 수 있는 중간 정도의 크기를 취하였다. 시료의 조제는 감자의 껍질을 벗긴 후 직경 5mm의 cork borer를 이용하여 감자를 관통시켜 측정용 sample을 채취하여 무게를 측정하였으며, 시험관에 조제용액 2mL와 증류수 1mL를 감자와 함께 넣어 95°C 수조에서 8분간 가열시켰다. 그 후 실온에서 냉각시켜 2mL의 증류수를 첨가하고 가볍게 흔들어준 다음 UV/VIS spectrophotometer(U-2001, HITACHI, Japan) 570nm에서 흡광도를 측정하였다. 함량은 표준물질 d-glucose을 이용하여 검량선을 작성하여 정량하였다.

아크릴아마이드 함량

분석실험기기 및 시약: 본 실험에 사용한 Liquid chromatography-tandem mass spectrometer(LC/MS/MS)는 High performance liquid chromatography, S2100 Solvent Delivery System(Sykam, Germany)과 elctrospray positive ionization (ESI⁺)가 장착된 Quattro micro triple-quadrupole tandem mass spectrometer(Micromass UK Ltd., Manchester, UK)로 구성되어 있으며, data system으로 MassLynx version 4.0(Micromass UK Ltd, UK)를 사용하였다. Liquid chromatography의 column은 Aqua C₁₈ 2 × 250mm, 5micron(Phenomenex, Torrance, USA)을 사용하였다. Shaking incubator (KMC-8480SF), Vision scientific Co., Korea), High speed refrigerated centrifuge(SUPRA 22K, Hanil science, Korea), Micro centrifuge(Marathon Micro High Speed Centrifuge, Fisher scientific, USA)를 샘플준비를 위하여 사용하였다. 또한, 샘플 전처리 과정 중 시료분쇄를 위해서 HMF-560 (Hanil science, Korea) 믹서기를 사용하였다. Standard solution은 acrylamide(Sigma Chemical Co., USA)를 구입하여 20 ± 4°C 실온에 보관하였고, Internal standard solution은 ¹³C₃-Labeled acrylamide(Cambridge Isotope Laboratory, USA)를 구입하여 4 ± 2°C에 냉장 보관하여 사용하였다. LC/MS/MS 분석을 위하여 HPLC grade acetonitrile, methanol, water, 2-propanol(Omnisolv, EM science, Gibbstown), formic acid (Showa chemical Co. Ltd, Japan), glacial acetic acid(Sigma chemical co., USA)를 구입하여 사용하였다.

시료준비 및 분석: 각 계통별 80-150g 정도의 생감자를 3개씩 선별하여 깨끗이 씻은 후 탈피하여 1.5mm의 두께로 절단하여 증류수로 수세한 후 표면 물기를 제거하고, 180°C의 식물성 기름에 3분간 frying하였다. 후라이 실험 샘플은 HMF-560(Hanil science, Korea) 믹서기로 균질화한 후,

50mL centrifuge tube에 1g을 취하고. 내부표준물질인 ¹³C₃-labeled acrylamide(200ng·mL⁻¹ in 0.1% formic acid) 1mL과 증류수 9mL을 넣어 Shaking incubator(Vision scientific Co., Korea)에 180rpm으로 20분간 shaking한 후, 15분간 원심분리(9,000rpm, Hanil science, Korea)하였다. 원심분리 후, 지방층과 샘플층의 중간액 5mL을 0.45µm PVDP(Polyvinylidene fluoride) Maxi-spin filter tube(Alltech associates, USA)에 옮겨 Micro centrifuge(Fisher scientific, USA), 9,000 rpm으로 2분간 원심분리하였다. 메탄올 3.5mL과 물 3.5mL로 활성화시킨 OASIS HLB SPE(200mg packing, Waters corporation, USA) cartridge에 PVDP Maxi-spin filter tube에서 여과된 샘플중 1.5mL과 증류수 2mL을 여과하였다. Varian SPE cartridge(200mg packing, Varian Inc., USA)를 메탄올 2.5mL과 물 2.5mL로 활성화시킨 후, 전 단계 OASIS SPE cartridge로 여과된 샘플 1.5mL을 여과시켜, 최종 1mL을 LC/MS/MS 분석샘플로 사용하였다. LC/MS/MS의 기기 분석 조건과 아크릴아마이드 분석을 위한 MRM(multiple reaction monitoring)는 Table 1과 2에 나타내었다. 기기 조건으로 검량선 작성을 위하여 HPLC grade water에 아크릴아마이드를 첨가하여 5, 25, 125, 259, 500ppb 농도의 standard solution에 ¹³C₃-labeled acrylamide이 50ppb가 되도록 첨가하여 검량선을 작성하였다. Calibration은 피크 면적비를 비교하여 행하여졌으며, standard curve는 샘플에 함유된 아크릴아마이드 정량에 이용되었다.

통계처리

모든 측정은 3회 반복하여 행하여졌으며, 그 결과의 통계 처리는 SAS(Statistical Analysis System)을 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan의 다중범위검증(Duncan's multiple range test)을 통하여 평균값들에 대해 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

Glucose 함량

감자를 칩이나 프렌치프라이로 가공했을 때 가장 좋은 제품의 색도를 나타내는 glucose 함량은 0.18% 정도이지만 최대허용 한계치는 0.25%로 보고(Park et al., 2002)되어 있으며, 본 실험에서는 0.25%를 선발 기준으로 하여 선발된 47계통 및 대조구 품종들을 평가하였다(Table 1).

선발된 계통의 수확 후 glucose 함량을 분석한 결과, 대조구 품종들을 비롯한 47계통 모두 가공용으로 적합한 함량을 지닌 것으로 나타났다. 그 중 H3, H6, H7, H8, H13, H16, H24, H29, H38, H40, H41 등 11계통은 0.1% 이하의 가장

Table 1. Lists of 47 potato clones and control cultivars selected for cold chipping in this study.

Clones and cultivar	Abbreviation	Ploidy	Clones and cultivar	Abbreviation	Ploidy
KWNL16	H1	4X	KWNL103	H26	4X
KWRUL18	H2	4X	KWCR104	H27	4X
KWNR22	H3	4X	KWNR110	H28	4X
KWNL24	H4	4X	KWNR111	H29	4X
KWNR25	H5	4X	KWNR113	H30	4X
KWNR36	H6	4X	KWNL144	H31	4X
KWNR27	H7	4X	KWNR149	H32	4X
KWNL41	H8	4X	KWNO150	H33	4X
KWNR46	H9	4X	KWNO153	H34	4X
KWNR49	H10	4X	KWNR155	H35	4X
KWNR55	H11	4X	KWNO156	H36	4X
KWNL59	H12	4X	KWNR157	H37	4X
KWNO84	H13	4X	KWNO158	H38	4X
KWNR86	H14	4X	KWNR164	H39	4X
KWNR88	H15	4X	KWNR165	H40	4X
KWCR89	H16	4X	KWNR166	H41	4X
KWNR90	H17	4X	KWCR167	H42	4X
KWCR91	H18	4X	KWNR169	H43	4X
KWCO92	H19	4X	KWNR170	H44	4X
KWNR94	H20	4X	KWNR171	H45	4X
KWNR97	H21	4X	KWCR173	H46	4X
KWCO98	H22	4X	KWNR174	H47	4X
KWNR100	H23	4X	Atlantic	H48	4X
KWNR101	H24	4X	Superior	H49	4X
KWNO102	H25	4X	Gui Valley	H50	4X

Table 2. LC/MS/MS instrument condition.

Parameters	Condition
Tandem mass spectrometer	Quattro micro, Manchester, UK
HPLC	S2100, system, Germany
Column	Aqua C ₁₈ , 2 × 250 mm, 5 μ (Phenomenex, USA)
Flow rate	200 μL·min ⁻¹
Injection volume	20 μL
Ionization type	Electrospray (Positive ion mode)
Source temperature	120°C
Probe temperature	240°C
Collision gas pressure	8 × 10 ⁻⁴ Torr
Collision energy	45 V

Table 3. Multiple reaction monitoring (MRM) method parameters for acrylamide.

MRM transition	Collision energy (eV)	Dwell time (s)	Delay time (s)
71.75 > 54.56	10	0.4	0.01
74.75 > 57.75	10	0.4	0.01

Table 4. Changes in glucose contents of 47 potato lines at harvest, after cold storage at 4°C, 8°C for 4 months, after reconditioning at 20°C for 2 weeks, respectively.

Clones & cultivar	At harvest	Glucose contents (% fresh weight)		
		After coldstorage (4°C)	After coldstorage (8°C)	After reconditioning (20°C)
H1	0.13 gh ^z	0.23 cdefghijkl	0.16 g	0.19 nopqrs
H2	0.18 lmno	0.31 nop	0.23 opq	0.23 uvw
H3	0.09 bcd	0.24 defghijklm	0.14 ef	0.12 abcde
H4	0.16 ij	0.32 opq	0.18 hi	0.23 uvw
H5	0.11 defg	0.24 defghijklm	0.15 fg	0.13 bcdef
H6	0.09 abc	0.25 ghijklmn	0.12 cd	0.11 abc
H7	0.08 ab	0.18 abc	0.07 a	0.11 abc
H8	0.09 abc	0.27 ijklmnop	0.20 ijkl	0.11 abcd
H9	0.11 defg	0.18 abc	0.16 gh	0.14 defghijk
H10	0.13 fgh	0.20 abcdefg	0.16 gh	0.16 ghijklmn
H11	0.15 hi	0.32 opq	0.24 pq	0.25 vw
H12	0.11 defg	0.33 pq	0.22 mnop	0.25 vw
H13	0.07 a	0.19 abcdef	0.07 a	0.09 a
H14	0.16 ij	0.25 ghijklmn	0.19 ijk	0.17 jklmnop
H15	0.11 cdef	0.18 abc	0.12 cd	0.14 cdefghij
H16	0.09 bcd	0.15 a	0.12 cd	0.11 ab
H17	0.11 defg	0.18 abc	0.12 cde	0.13 bcdefg
H18	0.16 ij	0.27 ijklmnop	0.19 ijk	0.17 ijklmnop
H19	0.20 mno	0.31 nop	0.22 mnop	0.23 uvw
H20	0.19 lmno	0.29 klmnopq	0.21 lmno	0.22 stuv
H21	0.18 klm	0.21 abcdefgh	0.20 jklm	0.21 qrstu
H22	0.15 hi	0.24 defghijklm	0.19 ijk	0.16 ghijklmn
H23	0.16 ijk	0.25 fghijklmn	0.22 mnop	0.19 nopqrs
H24	0.10 cde	0.23 bcdefghijk	0.13 de	0.13 bcdefgh
H25	0.16 ij	0.25 defghijklm	0.18 hi	0.18 mnopqr
H26	0.17 jkl	0.23 cdefghijk	0.19 ijk	0.19 nopqrs
H27	0.13 fgh	0.21 abcdefgh	0.16 fg	0.15 fghijklm
H28	0.12 efg	0.23 cdefghijk	0.19 ij	0.15 efg hijkl
H29	0.10 cde	0.18 abcdefghi	0.18 hi	0.12 bcdef
H30	0.11 defg	0.23 cdfghijkl	0.19 ijk	0.13 bcdef
H31	0.20 o	0.25 efg hijklmn	0.23 nopq	0.23 uvw
H32	0.19 lmno	0.39 r	0.20 jklm	0.28 wx
H33	0.13 fgh	0.19 abcde	0.15 fg	0.16 hijklmn
H34	0.19 lmno	0.32 opq	0.21 klmn	0.23 uvw
H35	0.15 ij	0.23 cdfghijk	0.19 ijk	0.17 ijklmno
H36	0.18 klmn	0.29 lmnopq	0.23 pq	0.20 opqrst
H37	0.15 i	0.19 abcd	0.16 ijk	0.22 tuv
H38	0.10 cde	0.17 ab	0.09 b	0.14 bcdefghi
H39	0.12 efg	0.20 abcdefgh	0.15 fg	0.13 bcdefg
H40	0.09 abc	0.15 abc	0.11 bc	0.12 abcde
H41	0.10 cde	0.22 bcdefghij	0.12 cd	0.13 bcdef
H42	0.12 efg	0.21 abcdefgh	0.14 ef	0.14 bcdefghi
H43	0.13 fgh	0.23 cdefghijkl	0.15 fg	0.15 fghijklm
H44	0.20 no	0.43 r	0.24 q	0.33 x

Table 4. Continued.

Clones & cultivar	At harvest	Glucose contents (% , fresh weight)		
		After coldstorage (4°C)	After coldstorage (8°C)	After reconditioning (20°C)
H45	0.18 lmno	0.41 r	0.22 nop	0.36 xy
H46	0.18 lmno	0.47 s	0.24 pq	0.38 xy
H47	0.19 mno	0.37 qr	0.22 nop	0.32 x
H48	0.14 hi	0.58 t	0.43 s	0.46 xy
H49	0.24 p	0.76 u	0.69 t	0.61 z
H50	0.13 gh	0.43 r	0.30 r	0.31 x

^aMeans within a column, followed by a common letter, are not significantly different at the $p < 0.05$ level by Duncan's multiple range test.

낮은 glucose 함량을 지닌 것을 확인할 수 있다(Table 4).

4°C 저온에서 4개월간 저장한 후 glucose 함량을 분석한 결과, 대부분의 계통이 가공에 적합한 함량을 지닌 것으로 나타났으나, 일부 계통은 0.25% 이상으로 나타나 가공에 부적합한 것으로 나타났다. 4°C 저온에서 저장한 후 H16과 H40 계통이 0.15%로 가장 낮은 glucose 함량을 지닌 것으로 나타났고, 다음으로 H7, H9, H10, H13, H15, H16, H17, H29, H33, H37, H38, H39, H40 등 13 계통에서 0.20% 이하의 낮은 glucose 함량을 지닌 것으로 나타났다(Table 4). 또한 대조구 품종들과 H2, H4, H8, H11, H12, H18, H19, H20, H32, H34, H36, H44, H45, H46, H47 등 15 계통을 제외한 나머지 17 계통에서 모두 0.25% 이하의 glucose 함량을 지니므로써 모두 32 계통이 콜드칩 가공에 적합한 계통인 것으로 판단되었다.

8°C 저온에서 저장한 후 glucose 함량을 분석한 결과, H7, H13, H38 계통에서 각각 0.07%, 0.07%, 0.09%로 가장 낮게 나타났고, 특히 이 계통은 8°C에서 저장한 후의 glucose 함량이 수확 후의 glucose 함량과 비슷하거나 오히려 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 대조구 품종들을 제외한 나머지 44 계통들은 수확 후의 glucose 함량보다 다소 높아지기는 하였으나, 큰 차이는 나타나지 않았고, 모두 가공에 적합한 0.25% 이하의 함량을 지닌 것으로 나타났으며, 4°C 저온에서 저장 후의 glucose 함량에 비해 상대적으로 낮은 함량을 나타나는 것을 알 수 있었다(Table 4).

4°C에서의 저장으로 인하여 괴경에 집적된 glucose 함량을 낮추고자 20°C에서 2주간 가온 조정을 실시한 결과, 대부분의 계통들이 저온 저장 저의 glucose 함량과 비슷한 수준으로 낮아지는 것으로 나타났다(Table 4). 그러나 저온 저장 후 glucose 함량이 다른 계통에 비해 상대적으로 높았던 대조구 품종들과 H32, H44, H45, H46, H47 계통은 가온 조정 후 glucose 함량이 낮아지기는 하였으나, 가공에 적합한 정도인 0.25% 이하로 낮아지지 않은 것으로 나타났다.

대조구로 쓰인 세 품종들은 수확 후의 glucose 함량만이 가공에 적합한 것으로 나타났으나, 4°C, 8°C에서의 저온 저장 후, 47계통에 비해 모두 높은 glucose 함량을 지닌 것으로 나타났으며, 가온 조정 후에도 그 함량이 감소하였으나 가공에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 실험구인 47계통은 수확 후의 glucose 함량이 모두 0.25% 이하로 나타났고, 15계통을 제외한 대부분의 계통이 4°C 저온 저장 후에도 가공에 적합한 낮은 glucose 함량을 나타냈으며, 저온 저장 후 가공에 적합하지 않았던 12계통이 가온 조정으로 인해 glucose 함량이 적정수준으로 감소함으로써 44계통들이 콜드칩 가공에 이용 가능한 것으로 나타났다(Table 4).

환원당은 가공 중에 발생하는 Maillard 반응과 밀접한 관계가 있어 함량이 적으면 제품의 색도가 좋아지고 맛이 좋아져서 가공용 감자 육종에서 가장 중요한 선발지표로 인식되고 있다(Kim, 2002; Pereira et al., 1994). Marquez and Añon(1986)의 연구에 의하면 3°C에서 저장한 감자의 환원당의 함량은 저온저장 시 저장 초반에 비해 55%까지 증가하였고, Nourian et al.(2003)에 의하면 저장기간을 늘이기 위해 냉장보관을 하면 감자의 전분이 환원당으로 전환됨으로 그 함량이 급속히 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서도 저온 저장으로 인해 포도당 함량이 증가하였으며, 특히 4°C의 저온 저장에서 포도당 함량이 수확 후에 비해 급격히 증가함을 알 수 있었다.

아크릴아마이드 함량

현재 우리나라뿐만 아니라 국제적으로도 감자 가공제품의 아크릴아마이드 함량에 관한 유효기준은 정해지지 않고 있다. Tareke et al.(2002)은 단백질이 풍부한 식품군에서는 5-50ppb 범위의 아크릴아마이드가 검출되었으나, 감자 등과 같은 탄수화물이 풍부한 식품에서는 150-4000ppb 범위의 아크릴아마이드가 검출되었다고 보고하였다. 국내의 감자칩 제품을 대상으로 하여 아크릴아마이드 함량을 비교 분

석한 연구결과들에 의하면 국내의 감자칩 제품에서 278-3277ppb(Park et al., 2004)의 아크릴아마이드가 검출되었다고 하였다. 최근 국내에서는 아크릴아마이드의 저감화를 위해 그 목표치를 1000ppb로 하여 품종 개발을 비롯해, 재배, 저장 및 제조공정 방법의 개선에 관한 연구를 하고 있으며, 본 실험에서는 500ppb 이하의 아크릴아마이드 함량을 선발 기준으로 하여 47계통 및 대조구 품종들을 평가하였다(Table 1).

수확 후 아크릴아마이드 함량을 분석한 결과, H7, H13, H15, H16, H37, H38, H40, H41, H43 등 9 계통에서 200ppb 이하로 낮게 나타났다. 그리고 H1, H2, H4, H11, H12, H32, H36, H44, H45 등 9 계통을 제외한 대조구 품종들과 나머지 29 계통에서도 본 실험의 선발기준인 500ppb 이하의 아크릴아마이드가 검출되었다(Table 5). 그러나 H1, H2, H4 등 위의 9 계통에서 본 실험의 선발기준인 500ppb를 초과하였으나, 국내 저감화 목표치인 1000ppb 이하로 검출되었기 때문에 재배 및 제조공정 방법의 개선으로 어느 정도

낮출 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

4°C 저온에서 저장 후 아크릴아마이드의 함량을 분석한 결과, H7, H13, H16, H40 등 4 계통에서만 500ppb 이하로 검출되었고, 대조구 품종들을 비롯한 나머지 43 계통에서는 저장 전에 비해 모두 높은 함량의 아크릴아마이드가 검출되었으며, 그 변이정도는 각 계통별 다르게 나타났다. 그 중에서 H9, H15, H17, H18, H24, H27, H29, H33, H37, H38, H39, H41, H42, H43 등 14계통에서 1000ppb 이하로 나타났으며, 나머지 29계통에서는 1000ppb 이상으로 나타났다(Table 5).

8°C 저온에서 저장 후 아크릴아마이드의 함량을 분석한 결과, H7, H9, H10, H13, H15, H16, H17, H24, H33, H35, H38, H39, H40, H41, H42, H43 등 16 계통에서 500ppb 이하로 나타나 선발기준에 만족하는 것으로 나타났다. 또한, H11, H12, H34, H36, H45 등 5 계통과 대조구 품종들을 제외한 나머지 29 계통 모두 4°C에서의 저장 후보다는 낮은

Table 5. Changes in acrylamide contents of 47 potato lines at harvest, after cold storage at 4°C, 8°C for 4 months, after reconditioning at 20°C for 2 weeks, respectively.

Clones & cultivar	At harvest	Acrylamide contents (ppb, dry weight)		
		After cold storage (4°C)	After cold storage (8°C)	After reconditioning (20°C)
H1	519 w ^z	1253 klmnop	836 o	772 s
H2	783 z	1140 jkl	928 st	753 rs
H3	371 st	1154 jklm	746 k	565 k
H4	555 y	1365 opq	959 stu	573 kl
H5	399 uv	1277 lmnopq	752 kl	595 l
H6	382 tu	1282 lmnopq	759 l	703 q
H7	158 de	463 ab	259 ab	168 ab
H8	344 qr	1397 lmnopq	863 pqr	422 ef
H9	233 i	855 gh	438 def	467 g
H10	372 st	1111 jk	499 f	417 e
H11	606 y	1889 s	1023 uv	759 rs
H12	618 y	1423 q	1001 u	843 t
H13	143 b	442 a	226 a	159 a
H14	284 k	1146 jklm	621 h	578 kl
H15	152 cd	787 efgh	445 e	426 ef
H16	134 a	500 abc	305 bc	236 b
H17	202 gh	606 bcd	457 ef	315 cd
H18	337 pq	954 ij	843 pq	668 op
H19	415 v	1713 r	905 s	623 m
H20	393 u	1416 q	703 j	529 hi
H21	355 rs	1380 opq	768 kmn	691 q
H22	256 j	1200 jklmn	577 hi	524 hi
H23	363 s	1302 mnopq	789 no	713 qr
H24	313 no	712 defg	500 f	424 ef
H25	355 rs	1207 jklmn	779 mn	741 r

Table 5. Continued.

Clones & cultivar	At harvest	Acrylamide contents (ppb, dry weight)		
		After cold storage (4°C)	After cold storage (8°C)	After reconditioning (20°C)
H26	383 tu	1197 jklmn	974 t	531 hi
H27	320 op	893 h	691 ij	596 l
H28	304 mno	1105 jk	887 rs	526 hi
H29	302 lmn	931 hi	721 jk	643 n
H30	334 pq	1052 ij	842 p	664 o
H31	290 klm	1434 q	520 fg	547 j
H32	562 y	1416 q	879 qr	963 uv
H33	238 gh	637 cde	411 d	363 de
H34	538 x	1368 opq	1094 vw	1127 vw
H35	285 kl	1233 klmno	498 f	558 jk
H36	527 wx	1437 q	1192 w	1211 v
H37	154 d	727 defg	511 fg	443 f
H38	180 f	642 cdef	431 de	356 d
H39	227 i	793 fgh	479 ef	505 h
H40	146 bc	480 ab	363 c	294 c
H41	189 f	611 bcd	401 cd	323 cd
H42	255 h	787 efgh	458 ef	496 gh
H43	197 f	612 bcd	405 d	318 cd
H44	572 y	1406 pq	988 tu	926 u
H45	626 y	1315 nopq	1100 v	1035 uvw
H46	337 pq	1727 r	683 i	701 qr
H47	352 lmn	1179 jklmn	764 lm	888 tu
H48	286 g	3143 u	1461 y	1543 x
H49	224 ef	3745 t	2745 z	2032 y
H50	455 j	2047 s	1286 x	1191 w

^zMeans within a column, followed by a common letter, are not significantly different at the $p < 0.05$ level by Duncan's multiple range test.

아크릴아마이드가 검출되었으나, 저장 전에 비해 그 함량이 높아졌으며, 변이 정도는 각 계통마다 달랐다. 특히, 500ppb 이하로 검출된 계통중에서 H7, H9, H10, H13, H24, H33, H35, H42 등 8 계통의 경우에는 그 변이 정도가 다른 계통에 비해 매우 낮게 나타났다(Table 5).

4°C에서의 저장 후 20°C에서 2주간 가온 조정을 실시하여 아크릴아마이드 함량을 분석한 결과, H7, H8, H9, H10, H13, H15, H16, H17, H24, H33, H37, H38, H40, H41, H42, H43 등 16 계통에서 500ppb 이하의 낮은 함량의 아크릴아마이드가 검출되었다. 그 중에서 H7, H13, H16, H40 등 4 계통을 제외한 나머지 계통들은 4°C에서의 저장으로 인해 아크릴아마이드가 500ppb 이상으로 검출되었으나, 가온 조정으로 인하여 선발기준인 500ppb 이하로 감소한 것으로 나타났다(Table 5). 또한 가온 조정을 실시함으로써 대조구 품종들을 비롯한 모든 계통들의 아크릴아마이드 함량이 낮아졌으며, 그 변이 정도는 각기 다름을 확인할 수 있었

다. 특히, H7과 H13 계통의 경우 가온 조정 후의 아크릴아마이드 함량이 4°C 저장 전의 함량과 비슷한 수준으로 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

가공하지 않은 원료식품에서는 아크릴아마이드가 검출되지 않았지만, 가공과정에 의하여 생성되는데 마가린과 같은 유지 원료 식품은 아크릴아마이드가 검출되지 않거나 10ppb 이하로 검출되었다고 보고하였다(Park et al., 2004). Vatterm and Shetty(2003)과 Amrein et al.(2003)은 8°C 이하로 감자를 냉각하는 것은 포도당과 과당의 함량이 현저히 증가시키므로 아크릴아마이드 생성 가능성이 높아진다고 보고하였는데, 본 연구에서도 저온 저장한 감자를 콜드칩으로 가공하였을 때 수확후 감자 콜드칩에 비해 증가하는 것으로 나타났다. 특히 4°C에 저장한 감자의 콜드칩에서 현저하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한, De Wilde et al.(2006)은 환원당 함량과 아크릴아마이드 생성량 간의 상관계수가 $R^2 = 0.82$ 라고 보고하였고, 특히, Pariza(2004)는 아크릴아마드

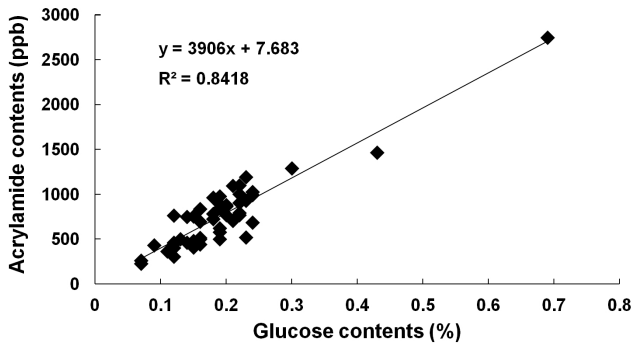


Fig. 1. Correlation between acrylamide formation and glucose concentration after 8°C storage.

이와 glucose 간에도 상관관계가 있다고 하였는데, 본 연구에서도 8°C에 저장 후 아크릴아마이드와 glucose 함량의 상관 분석을 실시한 결과, 그 상관계수가 $R^2 = 0.8418$ 로 나오므로써 아크릴아마이드 생성량과 glucose 함량과의 상관성이 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

이상의 결과를 종합해 보면, glucose 함량을 분석한 결과, 대조구 품종들을 비롯한 47 계통 모두 0.25% 이하로 나타났고, 4°C 저온에서의 저장 후 0.15%로 가장 낮은 함량을 지닌 H16과 H40 계통을 포함한 32계통이 콜드칩 가공에 적합한 계통으로, 대조구 품종들과 그 외의 15계통은 부적합한 것으로 사료되었다. 8°C 저온에서의 저장 후 0.07%로 가장 낮은 함량을 지닌 H7과 H13계통을 포함한 44계통들에서 가공에 적합한 것으로 나타났다. 4°C 저온저장 후 20°C에서 2주간 가온 조정처리에 의해 대부분의 계통들이 저온 저장 전의 glucose 함량과 비슷한 수준으로 낮아진 것으로 나타났으나, 4°C 저온 저장 후 함량이 다른 계통에 비해 상대적으로 높았던 대조구 품종들과 H32, H44, H45, H46, H47 등 5계통은 비록 glucose 함량이 감소하였으나, 가공에 적합한 정도로는 낮아지지 않았다. 아크릴아마이드 함량을 분석한 결과, 대조구 품종들을 비롯한 47계통 모두 국내 저감화 목표치인 1000ppb 이하로 나타났고, 4°C 저온에서의 저장 후 H7, H13, H16, H40 등 4계통에서 500ppb 이하로 나타났으며, 대조구 품종들을 비롯한 29계통에서 1000ppb 이상으로 나타났다. 8°C 저온에서의 저장 후 H7, H13, H16, H40를 비롯한 14계통에서 500ppb 이하로 나타났고, 대조구 품종들과 H11, H12, H34, H45 등 4계통에서는 1000ppb 이상으로 나타났다. 4°C 저온저장 후 20°C에서 2주간 가온 조정처리에 의해 H7과 H13계통의 아크릴아마이드 함량이 4°C 저장 전의 함량과 비슷한 수준으로 낮아졌고, 또한 일부 계통들에서는 4°C 저장에 의해 500ppb 이상의 함량이 검출되었으나, 가온 조정처리에 의해 500ppb 이하로 그 함량이 낮아짐으로써 가온 조정효과가 입증되었다. 또한, 8°C에 저

장 후 아크릴아마이드와 glucose 함량의 상관분석을 실시한 결과, 그 상관계수가 $R^2 = 0.8418$ 로 나오므로써 아크릴아마이드와 glucose과의 상관성이 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 아크릴아마이드 함량은 glucose의 영향을 받을 수 있다는 것으로 사료되며, 낮은 함량의 glucose를 함유하는 품종을 육성함으로써 아크릴아마이드가 저감화된 품종을 육성 선발할 수 있을 것으로 사료된다.

초 록

본 연구는 콜드칩 가공용 감자 계통을 선발하고자, 47계통과 대조구 품종인 ‘대서’, ‘수미’, ‘구이벨리’의 수확 후, 4°C, 8°C 저온저장 및 20°C 가온 조정처리에 따른 glucose 함량, 아크릴아마이드 함량 및 두 형질 간의 상관성을 비교 분석하였다. 대조구 품종 및 47계통 모두에서 수확 후, glucose 함량이 0.25% 이하, 아크릴아마이드 함량 1000ppb 이하로 나타났고, 4°C 저온저장에 의해 glucose와 아크릴아마이드 함량 모두 급격히 증가하였으며, H7, H13, H16, H40 등 4계통에서만 500ppb 이하로 검출되었다. 8°C 저온저장 역시 두 함량 모두 증가하였으나, 4°C 저온저장에 비해 비교적 낮게 나타났으며, 20°C 가온 조정에 의해서도 두 함량 모두 감소한 것으로 나타났다. 저온저장에 따른 glucose 함량과 아크릴아마이드 함량 간의 상호관계를 분석한 결과 정의 상관성을 확인할 수 있었다. 결론적으로 저온처리에도 낮은 glucose 함량을 나타낸 H7, H13, H16, H40계통들이 낮은 함량의 아크릴아마이드 함유한 것으로 나타나 콜드칩 가공용 우수 감자 계통으로 선발할 수 있었다.

추가 주요어 : 육종, 저온저장, 튀김, 포도당

인용문헌

- Amrein, T.M., S. Bachmann, A. Noti, M. Biedermann, M.R. Barbosa, S. Biedermann-Brem, K. Grob, A. Keiser, P. Realini, F. Escher, and R. Amad. 2003. Potential acrylamide formation, sugar and free asparagines in potatoes: A comparison of cultivars and farming systems. *J. Agric. Food Chem.* 51:5556-5560.
- Christian, A.T. and S.J. Peloquin. 1995. A breeding method for accelerated development of cold chipping in potato. *Euphytica* 84:73-80.
- De Wilde, T., B. De Meulenaer, F. Mestdagh, Y. Govaert, W. Ooghe, S. Fraselle, K. Demeulemeester, C.V. Peteghem, A. Calus, J. Degroodt, and R. Verhé. 2006. Selection criteria for potato tubers to minimize acrylamide formation during frying. *J. Agric. Food Chem.* 54:2199-2205.
- Elmore, J.S., D.S. Mottram, N. Muttucumar, A.T. Dodson,

- M.A.J. Parry, and N.G. Halford. 2007. Changes in free amino acids and sugars in potatoes due to sulfate fertilization and the effect on acrylamide formation. *J. Agric. Food Chem.* 55:5363-5366.
- Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *J. Agric. Food Chem.* 51:4504-4526.
- Granda, C., R.G. Moreira, and S.E. Tichy. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *J. Food Sci.* 69:405-411.
- Hasse, N.U. 2003. Ways to reduce acrylamide in potato chips (crisps). <http://www.ifst.org/euwkshp4.pdf>.
- Henryka, J., Z. Kazimiera, and Z. Ewa. 1995. An investigation of the level of reducing sugars in diploid potato before and after cold storage. *Potato Res.* 38:331-338.
- Hogervorst, J.G., L.J. Schouten, E.J. Konings, R.A. Goldbohm, and P.A. van den Brandt. 2007. A prospective study of dietary acrylamide intake and the risk of endometrial, ovarian, and breast cancer. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 16:2304-2313.
- Jung, M.Y., D.S. Choi, and J.W. Ju. 2003. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in french fries. *J. Food Sci.* 68:1287-1290.
- Kim, H.Y., Y.J. Park, C.T. Kim, S.Y. Chung, Y.S. Sho, J.O. Lee, and S.S. Oh. 2004. Factors affecting acrylamide formation in French fries. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36:857-862.
- Kim, S.Y. 2002. Prospects and status on quality of potato. *Korean J. Crop Sci.* 42:135-139.
- Lee, J.S., M.K. Choi, E.Y. Moon, and M.H. Kang. 2010. Physico-chemical properties of starches from atlantic and bora valley potato cultivar with different colors. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39:542-547.
- Lindsay, H. 1973. A colorimetric estimation of reducing sugars in potatoes with 3,5-dinitrosalicylic acid. *Potato Res.* 16:176-179.
- Luis, E.R. and R.E. Wrolstad. 1997. Influence of potato composition on chip color quality. *Am. Potato J.* 74:87-106.
- Marquez, G. and M.C. Añon. 1986. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. *J. Food Sci.* 51:157-160.
- Martin, F.L. and J.M. Ames. 2001. Formation of strecker aldehydes and pyrazines in a fried potato model system. *J. Agric. Food Chem.* 49:3885-3892.
- Mottram, D.S., B.L. Wdzechka, and A.T. Dodson. 2002. Acrylamide is formed in the maillard reaction. *Nature* 149:448-449.
- Nourian, F., H.S. Ramaswamy, and A.C. Kuschhalappa. 2003. Kinetics of quality change associated with potatoes stores at different temperatures. *LWT-Food Sci. Technol.* 36:49-65.
- Pariza, M.W. 2004. Mitigation options: The FRI acrylamide program. <http://www.jifsan.umd.edu/acrylamide2004.htm>.
- Park, Y.E., H.M. Cho, J.Y. Yi, S.Y. Kim, and H.T. Lim. 2002. Screening of breeding resources for processing potato in potato germplasms based on the analysis of specific gravity and glucose content. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 20:100-105.
- Park, J.Y., C.T. Kim, H.Y. Kim, E.H. Keum, M.S. Lee, S.Y. Chung, Y.S. Sho, J.O. Lee, and S.S. Oh. 2004. Acrylamide monitoring of domestic food products. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36:872-878.
- Pereira, A.S., G.C.C. Tai, R.Y. Yada, R.H. Coffin, and V. Souza-Machado. 1994. Potential for improvement by selection for reducing sugar content after cold storage for three potato populations. *Theor. Appl. Genet.* 88:678-684.
- Qu, D.Y., K.J. Xie, L.P. Jin, W.F. Pang, C.S. Bian, and S.G. Duan. 2005. Development of potato industry and food security in China. *Sci. Agri. Sinica* 38:358-362.
- Vattem, D.A. and K. Shetty. 2003. Acrylamide in food: A model for mechanism of formation and its reduction. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4:331-338.
- Wang, X.M., L.P. Jing, and H. Yi. 2005. Advances in breeding of potato virus-resistant cultivars. *Chin. Potato J.* 19:285-289.
- Tareke, E., P. Rydgre, P. Karlsson, S. Eriksson, and M. Törnqvist. 2002. Analysis of acrylamide, A carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food. Chem.* 50:4998-5006.
- Thill, C.A. and S.J. Peloquin. 1994. Inheritance of potato chip color at the 24-chromosome level. *Am. Potato J.* 71:629-646.
- Yang, S.J., O.S. Ku, and H.T. Lim. 2001. Effects of cultivation methods on the occurrence of internal brown spot and hollow heart in potato tubers. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:75-77.
- Zyzak, D.V., R.A. Sanders, S. Marko, D.H. Tallmadge, B.L. Eberhart, D.K. Ewald, D.C. Gruber, T.R. Morsch, M.A. Strothers, G.P. Rizzi, and M.D. Villagran. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J. Agric. Food Chem.* 51:4782-4787.