

*Bacillus subtilis*를 이용한 발효 감자 칩의 감자 품종에 따른 아크릴아마이드 저감화 비교

여성순¹ · 임상은¹ · 진용익² · 장동철² · 장윤혁³ · 이영승¹ · 정운화¹ · 김미숙¹

¹단국대학교 식품영양학과

²고령지 농업연구소

³경희대학교 식품영양학과

Comparison of Reduced Acrylamide Formation in Chips Fermented with Different Cultivar Potatoes by *Bacillus subtilis*

Seoungsoon Yeo¹, Sangeun Yim¹, Yong-Ik Jin², Dong-Chil Chang², Yoon Hyuk Chang³, Youngseung Lee¹, Yoonhwa Jeong¹, and Misook Kim¹

¹Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

²Highland Agriculture Research Institute

³Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

ABSTRACT Acrylamide is a probable human carcinogen and can be formed during frying of starchy foods. The objective of this study was to investigate the effects of acrylamide reduction in storage potato chips by fermentation of *Bacillus subtilis* and compare its usefulness with four different cultivars of storage potatoes (Goeun, Atlantic, Saebong, and Jinsun). Potato slices were fermented by *B. subtilis* at 37°C for 0, 2, and 4 h and fried at 180°C for 115 s. The total sugar contents of the fermented potato slices did not change compared to the control. However, reducing sugar contents increased in the fermentation solution containing potato slices. Asparagine contents of Saebong and Jinsun potato slices decreased with fermentation time. Color values of the fermented potato chips were improved compared to those of non-fermented potato chips. The highest L* value was found in Saebong (57.4), followed by Goeun (56.7), Jinsun (52.5), and Atlantic (48.8) after 4 h of fermentation. Potatoes stored for 240 days generated considerable amounts of acrylamide, ranging from 4.99 to 10.38 ppm, after frying. Four hours of fermentation reduced acrylamide formation in all potato chips. The lowest acrylamide content was found in Saebong (0.77 ppm), followed by Jinsun (1.21 ppm), Goeun (1.76 ppm), and Atlantic (4.09 ppm). In conclusion, fermentation of storage potatoes by *B. subtilis* can effectively lower acrylamide formation during frying of potato chips.

Key words: storage potato, potato chips, acrylamide, fermentation, *Bacillus subtilis*

서 론

전분 함유량이 많은 식품을 고온에서 가열 처리하면 환원 당과 아미노태 질소화합물 사이에서 Maillard 반응이 일어나 풍미가 향상된다. 그러나 2002년 스웨덴 국립식품청(SNFA, Swedish National Food Administration)에서 이러한 과정 중에 식품 내 발암의심 물질인 아크릴아마이드(acrylamide)도 함께 생성될 수 있다는 발표를 한 이후 여러 나라에서 고온 가열 조리 식품 내 아크릴아마이드 함량을 조사하였다. 국내 식품공전상 분류되는 17개 식품군, 총 471개의 시료를 분석한 결과, 감자스낵, 비스킷, 시리얼, 초콜

릿, 커피, prune juice 등에서 비교적 많은 양의 아크릴아마이드가 검출되었다. 특히 감자 스낵류에서 195~4,002 ppb로 가장 많은 양의 아크릴아마이드가 검출되었다(1). 우리나라 국민을 대상으로 아크릴아마이드의 1인 1일 섭취량을 연구한 결과 평균 2.9 µg/person/d를 섭취하였으며, 특히 12~29세의 청소년과 청년층은 4.7 µg/person/d를 초과하며 섭취하였다(2). World Health Organization(WHO)의 International Agency for Research on Cancer(IARC)에서는 아크릴아마이드를 고용량 섭취시킨 실험동물에서 악성 및 양성 위종양 및 신경독성을 유발하는 물질로 확인됨에 따라 아크릴아마이드를 인간에게 암을 유발할 가능성이 있는 물질(group 2A carcinogen)로 분류하였다(3). 그러나 현재까지 식품의 제조과정에서 생성되는 아크릴아마이드 수준에서는 암을 유발시킨다는 명확한 증거는 없으므로 우리나라를 비롯하여 WHO, Codex 등 국제기구나 미국 등은

Received 13 March 2017; Accepted 23 May 2017

Corresponding author: Misook Kim, Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Chungnam 31116, Korea
E-mail: mkim5@dankook.ac.kr, Phone: +82-41-550-3494

기준규격을 설정하기보다는 효과적인 저감화 또는 제어 방법을 개발하기 위해 구체적인 생성기전 연구에 집중하고 있다(4,5). 이에 따라 미국 FDA에서는 아크릴아마이드 노출원의 원재료나 성분, 가공 방법 등을 제어하여 아크릴아마이드의 생성량을 감소시키는 '식품 중 아크릴아마이드 저감화 지침서'를 발간하였다(6). 가공 중 생성되는 아크릴아마이드 함량을 줄이기 위하여 Maillard 반응을 저해하는 방법으로 citric acid나 ascorbic acid 첨가에 의한 pH 조절, 진공 튀김기를 이용한 조리, asparaginase 첨가를 통한 주요 원인 기질 제거 등이 제시되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 품미 저하나 초기 장비 비용 부담이나 고가의 효소 사용으로 인한 원가 상승 등의 단점이 있다.

감자는 과거 부족한 식량을 대신한 구황작물로 재배되었으나 식품산업의 발전에 따라 감자 칩이나 후렌치후라이 등 가공용 감자의 수요가 계속 증가하고 있다(7). 2013년 국내산 감자 가공용 소비량은 4만 4천 톤(93.7%)으로 전년 대비 81.9% 증가하였다. 가공용 감자의 용도별 비중을 살펴보면 감자 칩 등 과자 종류가 58.0%로 가장 높고, 그다음은 전분 24.0%, 유당면류(라면) 5.0%, 즉석섭취 및 편의식품류 2.7% 순이었다. 그러나 국가통계포털(8)의 보고에 따르면 2014년 감자 재배면적은 약 2만 2천 ha로 평년과 전년 대비 각각 15.7%와 21.5% 감소하였고 감자 생산량은 59만 1천 톤으로 평년과 전년 대비 각각 4.1%와 18.7%로 감소하였다. 이는 대부분의 가공용 감자는 수입에 의존하고 있음을 보여준다. 감자 수입량은 2009년 이후 칩이나 후렌치후라이용의 가공용 감자 위주로 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 2014년 감자 총수입량은 12만 2천 톤이며 총소비량에서 차지하는 비중은 20.4%로 2009년 대비 103.6% 증가했고 연평균 수입량 증가율은 15.3%였다(9).

국내에서는 우수한 품질의 감자 칩을 제조할 수 있다고 알려진 '대서(Atlantic)'를 가장 많이 생산하고 이용하여 왔다(10). 그러나 '대서'는 칩 가공성이 우수하지만 휴면 기간이 다소 길어 봄 재배 후 가을 재배가 불가능하여 고랭지 여름 재배산의 공급이 끝나는 12월 중순부터 수입 감자로 대체하여 왔다. 따라서 휴면 기간이 짧고, 봄-가을 2기작 재배가 가능한 가공용 감자 품종에 대한 요구가 지속되어 왔으며, 이에 부응하여 '고운'과 '새봉' 등 새로운 품종이 개발되었다. 이 두 품종은 휴면 기간이 60~70일로 짧아 봄 재배 후 가을 재배가 가능하며, 건물 함량이 높고 환원당 함량이 낮아 가을 재배 후 칩 가공 원료용으로 공급하기에 적합하다고 보고된 바 있다(10,11). 뒤이어 우수한 특성으로 육성된 '진선' 품종 또한 2기작 가을 재배를 통해 칩 가공용으로 우수하게 사용될 수 있을 것이라고 기대하고 있지만 아직 감자 품종별 가공 적성에 대한 연구는 미흡한 실정이다(12). 또한, 감자의 환원당과 아스파라긴(asparagine)은 대체로 저장 기간이 길어질수록 증가한다는 보고가 있어(13), 저장 감자를 이용한 칩 제조 시 아크릴아마이드의 생성 억제에 더 주의를 기울일 필요가 있다. 우리는 이전 연구에서 세 가지 종류의

Bacillus sp.로 햇감자 슬라이스를 발효시켜 감자 칩의 색도를 향상시키고, 아크릴아마이드 함량을 94% 이상 감소한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 선행연구를 바탕으로 국내에서 재배되고 있는 저장 감자를 *Bacillus subtilis*로 발효를 하여 품종에 따른 감자 칩의 색 변화와 아크릴아마이드 함량에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

감자 슬라이스 발효

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 강원도 평창군 대관령에서 2015년 8월 25일 수확 후 240일간 저온 저장한 것을 국립식량과학원 고령지농업연구소에서 공급받아 이용하였다. 본 연구에서 사용된 감자 품종은 '고운', '대서', '새봉', '진선'이다.

발효균으로는 한국농업미생물자원센터(Daejeon, Korea)에서 분양받은 *Bacillus subtilis*(KTCC 6633)를 nutrient broth(BD Difco, Sparks, MD, USA)에 접종하여 24시간 동안 30°C 배양기(HB-101S, Hanbaek Co., Ltd., Bucheon, Korea)에서 배양하였다. 균을 배양한 배지를 3,424×g-force, 5°C에서 15분간 원심분리 후 상등액을 제거한 다음 두 번 세척하여 종균으로 이용하였다. 각 품종별 감자를 물로 세척하여 껍질을 벗긴 후 슬라이서(Progressive International Inc., Guangzhou, China)를 이용하여 1.5 mm 두께의 슬라이스로 절단하였다. 이 슬라이스를 3% 멸균 식염수에 1:2(w/v) 비율로 침지한 다음 상기 분리 균 $10^7 \sim 10^8$ cells/mL를 접종하였다. 감자 슬라이스의 발효는 30°C에서 4시간 동안 수행하였다. 발효시간별 감자 슬라이스를 채취하여 칩으로 제조하거나 분석을 위해 -23°C에 보관하였다. 총당과 아스파라긴 함량 분석을 위하여 발효 감자 슬라이스를 믹서기(BL120, Home Culture Appliances Ltd., Shenzhen, China)로 분쇄하여 보관하였다.

감자 칩 제조

발효 감자 50 g을 30초간 물로 씻고 물기를 털어 제거한 후 품종별 구역을 나눈 다음 튀김기(DS-100, Daeshin Co., Incheon, Korea)에 넣어 180°C에서 1분 55초간 유탕 처리하였다. 제조한 감자 칩은 믹서기(BL120, Home Culture Appliances Ltd.)로 분쇄하여 -23°C에 보관하며 아크릴아마이드와 색도 분석 시료로 사용하였다.

Amylase 활성 측정

Amylase 활성은 dinitrosalicylic acid(DNS) 시약을 사용하여 측정하였으며 측정 전 발효 상등액 0.5 mL를 25°C에서 3~4분 방치한 후 사용하였다. 1% soluble starch solution 0.5 mL를 기질로 사용하여 효소액 0.5 mL와 혼합하여 25°C에서 1시간 반응시키고 1 mL의 DNS solution을 넣었다. 100°C의 끓는 수욕조에서 5분간 발색 반응을 진행

시키고 증류수 10 mL를 넣어 실온에서 10분간 방치하여 반응을 정지하였다. 반응액은 분광광도계(Ultrospec 2100 pro, Amersham Biosciences, Uppsala, Sweden) 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 maltose를 이용하여 작성하였고 효소액 1 mL가 1분에 1 mg의 maltose를 유리시킬 때의 효소량을 1 unit으로 하였다.

환원당 함량 측정

환원당은 DNS법을 변형하여 발효 상등액 0.2 mL에 DNS 시약 0.6 mL를 가하고 100°C의 수욕조에서 5분간 발색시킨 다음 증류수 3 mL를 넣어 반응을 종료하며 15분간 실온에서 냉각한 후 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 glucose를 이용하여 작성하였다.

총당 측정

품종별 감자 분말을 80% 에탄올로 추출한 후, Megazyme kit(Megazyme International Ireland Ltd., County Wicklow, Ireland)을 사용하여 측정하였다. 에탄올 추출물 3 mL에 thermostable α -amylase를 넣고 85°C 수욕조에서 6분간 반응시키면서 2분마다 세계 흔들어주었다. 그리고 0.1 mL amyloglucosidase를 넣고 vortexing 한 후, 50°C incubator에 30분간 방치하였다. 이 반응액에서 1.0 mL를 채취하여 10 mL 증류수로 희석한 후 한 샘플당 0.1 mL씩 채취하여 분석에 사용하였다. 0.1 mL의 샘플에 3 mL의 GOPOD reagent를 넣고 50°C incubator에서 20분간 넣어 둔 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다.

L-아스파라긴 측정

시험관에 0.5 g의 감자 분말과 15 mL의 증류수를 넣고, 60°C 수욕조에 5분간 끓인 후 실온에서 10 mL의 증류수를 넣고 반응을 종료하였다. Filter paper를 사용하여 여과한 후 0.1 mL씩 채취한 것으로 Megazyme kit(Megazyme International Ireland Ltd.)을 사용하여 아스파라긴 함량을 측정하였다. 추출한 샘플 0.1 mL에 0.2 mL sodium azide buffer와 0.02 mL glutaminase suspension을 넣고 실온에서 5분간 방치하였다. 증류수를 1.5~1.6 mL 넣고 0.3 mL 2-oxoglutarate를 넣은 sodium azide buffer와 0.2 mL NADPH를 넣은 후 340 nm에서 5분간 반응시킨 다음 흡광도를 찍고 다시 0.02 mL glutamate dehydrogenase suspension을 넣고 340 nm에서 5분간 반응시킨 후 흡광도를 측정하였다. 마지막으로 0.02 mL asparaginase suspension을 넣고 340 nm에서 5분간 반응시킨 후 흡광도를 측정 한 후 계산식에 대입하여 계산하였다.

아크릴아마이드 함량 측정

아크릴아마이드 함량은 식품의약품안전처에 고시된 실험 방법(4)에 따라 액체 질량분석기(HPLC/MS/MS)에 MRM (multiple reaction monitoring)을 이용하여 분석하였다. 제

조한 감자 칩을 믹서기(Home Culture Appliances Ltd.)를 이용하여 균질화한 후 1 g을 정밀히 취하여 50 mL 폴리프로 필렌 코니컬 튜브에 넣고 내부표준용액 1 mL와 증류수 9 mL를 가한 다음 잘 혼합하여 진탕기에 넣어 200 rpm으로 20분 동안 추출한 후 원심분리기를 이용하여 9,000 rpm으로 30분 동안 원심분리 하였다. 이후 원심분리 하고 얻어진 물층 5 mL를 여과튜브에 옮기고 7,000 rpm으로 10분간 다시 원심분리 하여 상등액을 얻었다. 메탄올 3.5 mL와 물 3.5 mL로 활성화시킨 OASIS HLB SPE 카트리지에 상등액을 1.5 mL를 넣어 통과시킨 후 물 0.5 mL를 흘려버리고 물 1.5 mL를 용출시켜 모은 용액을 메탄올 2.5 mL와 물 2.5 mL로 활성화시킨 Bond Elut-Accucat SPE 카트리지에 1.5 mL를 넣은 후 처음 0.5 mL를 흘려버리고 이후 얻어진 1 mL를 액체 질량분석기(API 5000 LC/MS/MS System, AB Sciex Pte Ltd., Woodlands, Singapore)의 분석시료로 사용하였다. 질량분석기 분석조건은 Table 1과 같다.

색도 측정

각 실험군의 색도는 감자 칩을 믹서기(BL120, Home Culture Appliances Ltd.)로 분쇄하여 균질화한 후 색차계(Model CR-300, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 Hunter 값(L=명도, a=적색도, b=황색도)을 측정하였다. 3 부분의 단면을 각각 측정하여 평균을 내었다.

통계분석

실험 결과는 3회 반복으로 수행한 평균값과 표준편차로 나타냈고, 각 실험 결과에 대한 통계분석은 Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA, USA) 통계프로그램을 이용하였다. 각 실험군 평균 간의 유의적 차이는 Tukey test로 검증하였다.

결과 및 고찰

감자 발효액의 amylase 활성 측정

발효에 이용되는 감자와 *B. subtilis*에는 amylase가 내재되어 있어 적절한 반응 조건으로 가수분해 반응이 일어나 감자의 전분 함량을 감소시킬 수 있다. 감자의 전분 함량은

Table 1. HPLC/MS/MS instrument condition

Parameters	Condition
Tandem mass spectrometer	API 5000 LC/MS/MS system
HPLC Column	Agilent 1260 HPLC Full System Aqua C18 HPLC column (2×250 nm), 5 μ m
Isocratic mobile phase	Water (0.1% acetic acid+ 0.5% methanol)
Flow rate	0.2 mL/min
Injection volume	20 μ m
Ionization type	ESI (positive)

Table 2. Amylase activity of potatoes during the fermentation of *Bacillus subtilis* (unit/mL)

	Fermentation time (h)				
	0	2	4	6	16
Goeun	0.000±0.001 ^{c1)}	0.001±0.001 ^c	0.009±0.004 ^b	0.030±0.001 ^a	0.030±0.001 ^a
Atlantic	0.010±0.003 ^c	0.010±0.001 ^{bc}	0.020±0.000 ^b	0.030±0.001 ^a	0.030±0.001 ^a
Saebong	0.003±0.000 ^c	0.006±0.001 ^c	0.010±0.001 ^b	0.030±0.001 ^a	0.030±0.001 ^a
Jinsun	0.003±0.001 ^b	0.008±0.000 ^{ab}	0.010±0.003 ^{ab}	0.030±0.001 ^a	0.030±0.001 ^a

¹⁾Means with different letters within a row are significantly different ($P<0.05$).

고형분 함량과 함께 칩이나 후렌치후라이의 조직감에 큰 영향을 미친다(14,15). Kita(15)는 감자 칩의 전분 함량이 높을수록 조직감이 좋아진다고 보고하였다. 본 연구에서 품종별 감자를 0~16시간 *B. subtilis*로 발효한 결과, amylase 활성은 발효 4~6시간 사이에 급격히 증가한 후 6시간 이후 일정하였다(Table 2). 이것은 전분의 존재 하에 발효시간이 지날수록 α-amylase를 생성해내는 *B. subtilis*의 효소활성 능력이 증가한다는 것을 보여준다(16). 따라서 본 연구에서는 amylase의 전분 가수분해를 최소화하여 감자 칩의 조직감에 부정적인 영향을 미치지 않게 하기 위해 감자 발효 구간을 급격히 증가하는 시기 이전인 0~4시간으로 설정하였다.

감자 발효액의 환원당 함량

환원당은 가공 중에 발생하는 Maillard 반응과 밀접하게 연관되어 있어 환원당 함량이 적으면 제품의 색도가 좋아지고 쓴맛이 나는 것을 막아 주어 맛이 좋아진다(17). 저장 감자로 칩을 제조하면 높은 환원당 함량으로 인하여 과도한 Maillard 반응이 일어나 어두운 색의 칩이 생산된다(18). Kwon과 Byun(19)의 연구에 따르면 햇감자의 환원당 함량은 대개 0.26%였으나 감자를 저온에서 약 3~5개월 저장하였을 때 4.5~5.3%까지 증가하였다고 한다. Marquez와 Anon(18)은 감자를 5개월 동안 저장한 결과 총당에 대한 환원당의 비율이 55%에서 80%로 증가하였다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 감자의 환원당 함량을 감소하기 위하여 *B. subtilis*로 발효를 하였다.

감자 슬라이스를 NaCl 용액에 2~4시간 동안 침지하였을 때에는 환원당 함량이 지속해서 증가하였으나, 발효하였을

때에는 juice에서 환원당은 미량 검출되었다(Table 3). 이는 *B. subtilis*가 juice 내 환원당을 발효 초기 생육을 위한 탄소원으로 소비하였을 것이라고 생각된다. 2시간 이후 amylase 활성 증가에 따라 환원당 함량이 다소 증가하였다. Lee와 Shu(20)는 *Bacillus* 균이 발효 초기에 식품에 존재하는 환원당을 탄소원으로 이용한 후 균의 성장에 따른 amylase 활성 증가에 의해 환원당 함량이 증가하지만, 동시에 생육을 위하여 환원당을 소비함으로써 배양액 내 환원당 함량의 증가는 크지 않다고 하였다. Kim(21)은 감자의 환원당 함량이 0.25% 이하일 때 우수한 품질의 칩이나 후렌치후라이를 생산할 수 있다고 하였다.

발효 감자의 총당 함량

감자의 전분 함량은 칩이나 후렌치후라이의 조직감과 밀접한 영향이 있다. 그러나 감자의 저장 기간이 길어질수록 총당 함량이 감소할 뿐 아니라 전분이 차지하는 비율은 낮아지고, 환원당의 함량은 증가한다(18). 본 연구에서 사용한 240일간 저장한 감자의 총당 함량은 42.49~55.81%였다(Table 4). 저온 저장하는 동안 감자의 전분은 효소나 미생물의 작용에 의해 이를 둘러싸고 있는 막이 점차 분해되어 감소한다고 알려져 있다(22). Ohad 등(22)은 감자를 4°C에서 저장하는 동안 전분 함량이 처음 감자의 전분 함량보다 26%가 감소하였다고 한다. 단시간 발효는 모든 감자 슬라이스의 총당 함량의 변화에 영향을 주지 않았다($P>0.05$). 따라서 총당 함량이 발효시간에 따른 유의적인 변화가 없는 것으로 보아 단시간 발효가 감자 칩의 조직감에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 생각된다. 4시간 발효 후 감자의 총당 함량은 대서가 가장 많았으며, 이 함량은 고운, 진선, 새봉

Table 3. Reducing sugar of potato solution during the fermentation of *B. subtilis* and immersed in a NaCl solution (mg/mL)

Cultivar	Fermentation/Immersion	Fermentation time (h)		
		0	2	4
Goeun	Fermentation	0 ^{a1)}	0 ^a	0.05±0.05 ^a
	Immersion	0 ^c	1.47±0.01 ^b	2.33±0.02 ^a
Atlantic	Fermentation	0 ^b	0.01±0.02 ^{ab}	0.04±0.14 ^a
	Immersion	0 ^b	1.14±0.36 ^a	1.49±0.00 ^a
Saebong	Fermentation	0 ^b	0.01±0.02 ^b	0.12±0.02 ^a
	Immersion	0.22±0.00 ^c	1.28±0.02 ^b	2.44±0.11 ^a
Jinsun	Fermentation	0 ^b	0 ^b	0.04±0.001 ^a
	Immersion	0 ^c	0.64±0.02 ^b	0.86±0.01 ^a

¹⁾Means with different letters within a row are significantly different ($P<0.05$).

Table 4. Total starch contents of potatoes fermented by *B. subtilis* (% dry weight)

Cultivar	Fermentation time (h)		
	0	2	4
Goeun	55.81±4.78 ^{NS1)}	55.50±2.54	57.87±1.51
Atlantic	55.61±1.40 ^{NS}	56.32±1.81	58.21±0.92
Saebong	42.49±10.92 ^{NS}	43.57±0.58	42.86±6.90
Jinsun	44.04±12.18 ^{NS}	49.23±3.14	47.23±5.55

¹⁾Not significantly different ($P>0.05$).

순이었다. Kita(15)에 따르면 감자의 전분 함량은 감자 칩의 바삭바삭한 조직감에 큰 영향을 미친다는 보고 결과가 있다. 따라서 단시간 발효 중 전분의 변화가 없는 본 연구 결과로부터 감자 칩의 최종 조직감에 영향이 없을 것이라고 추측할 수 있다.

아스파라긴 함량

감자 내 존재하는 아스파라긴은 환원당과 함께 감자 칩의 아크릴아마이드 생성에 주요한 요인이다(13). Vivanti 등(23)은 이온 교환 크로마토그래피를 이용하여 감자의 구성 아미노산을 측정된 결과 아스파라긴이 가장 많이 검출되었다고 하였다. 감자 슬라이스의 초기 아스파라긴 함량은 고운(2,410.83 mg/100 g), 새봉(2,028.20 mg/100 g), 대서(1,959.24 mg/100 g), 진선(1,813.58 mg/100 g) 순으로 많았다(Table 5). 감자 내 아스파라긴은 품종이나 계통별로 적게는 800 mg/100 g에서 많게는 3,100 mg/100 g으로 평균 1,520 mg/100 g 함유되어 있으며(24), 국내에서 많이 재배되는 수미 품종을 비롯하여 가공용에 적합한 품종인 대서, 가황, 고운 품종의 평균 아스파라긴 함량은 건물 기준 100 g당 1,348 mg 정도라 한다(25). 저장 온도나 품종에 따라 차이는 있지만 대개 감자의 아스파라긴 함량도 저장 기간이 증가함에 따라 축적량이 증가한다고 한다(25). *B. subtilis* 발효는 품종별로 다른 양상을 보였다. 진선과 새봉은 4시간 발효 후 유의적으로 아스파라긴 함량이 감소하였으나, 고운과 대서는 발효가 아스파라긴 함량에 영향을 미치지 않았다.

아크릴아마이드 함량

발효시간에 따른 품종별 감자 칩의 아크릴아마이드 함량은 Table 6과 같다. 아크릴아마이드는 식품 중 감자 칩에서 검출량이 가장 높으며, 전처리나 조리 방법, 원료에 따라 함

Table 6. Acrylamide contents of potato chips fermented by *B. subtilis*

Cultivar	Fermentation time (h)		Acrylamide ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
	0	2	
Goeun	0		10,384.6
	2		3,673.3
	4		1,761.9
Atlantic	0		16,634.6
	2		5,105.8
	4		4,087.4
Saebong	0		4,990.4
	2		1,950.0
	4		768.9
Jinsun	0		7,576.9
	2		1,592.2
	4		1,209.5

량의 변화는 크다(26). 스웨덴과 영국을 포함한 유럽과 미국에서 39종의 감자 칩의 아크릴아마이드 함량을 조사한 결과 50~3,500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 범위에서 검출되었다고 한다. 이들 국가에서는 아크릴아마이드 권고량으로 123~3,095 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 평균 724 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 설정하고 있다(26). 본 연구에서 품종이 다른 저장 감자를 이용하여 제조한 칩의 아크릴아마이드 함량은 고운(10,384 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 대서(16,634 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 새봉(4,990 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 진선(7,577 $\mu\text{g}/\text{kg}$)으로 높은 수치를 보였다. 이는 저장 감자를 사용하여 저장 기간에 높아진 환원당으로 인한 결과라고 생각된다. 하지만 발효시간이 증가함에 따라 모두 감소하는 경향을 보이고 있으며 품종에 따른 함량의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 발효하기 전 초기 아크릴아마이드 함량보다 4시간 발효 후의 아크릴아마이드 함량을 비교해 보았을 때 감소율이 가장 크고 동시에 가장 낮은 수치를 보이는 품종은 새봉으로 4,990 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 에서 768 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 까지 84.6% 감소하였으며, 이는 WHO에서 제시한 아크릴아마이드 평균 권고량에 가장 근접한 함량이었다. 그다음으로 진선(84.04%), 고운(83.03%), 대서(75.43%) 순으로 감소율이 높았다. 특히 진선과 새봉의 경우 발효시간이 증가함에 따라 아스파라긴과 아크릴아마이드 모두 다른 품종에 비해 큰 폭으로 낮아졌다. 이것은 아크릴아마이드 생성기전에 영향을 미치는 환원당의 함량이 발효시간이 증가할수록 감소하는 경향과 상관성이 있으며, 또한 아크릴아마이드의 전구물질인 아스파라긴의 함량이 감소함에 따라 아크릴아마이드가 감소하는 경향을 보인 것으로 생각된다. 본 연구는 다양한 *Bacillus* 속을 사용하여 발효시킨 감자의 아크릴아마이드

Table 5. Asparagine contents of potatoes fermented by *B. subtilis*

(mg/100 g dry weight)

Cultivar	Fermentation time (h)		
	0	2	4
Goeun	2,410.83±280.03 ^{a1)}	1,969.39±62.50 ^a	2,328.37±69.96 ^a
Atlantic	1,959.24±14.90 ^a	2,131.703±97.20 ^a	2,290.11±213.40 ^a
Saebong	2,028.20±73.97 ^a	2,082.04±160.20 ^a	1,586.02±27.50 ^b
Jinsun	1,813.58±130.59 ^a	1,763.08±23.02 ^a	1,392.53±46.94 ^b

¹⁾Means with different letters within a row are significantly different ($P<0.05$).

Table 7. Hunter color values of potato chips fermented by *B. subtilis*

Cultivar	Fermentation time (h)	L	a	b
Goeun	0	40.77±0.06 ^{c1)}	13.77±0.06 ^a	22.10±0.00 ^b
	2	49.13±0.46 ^b	12.63±0.25 ^b	26.67±0.35 ^a
	4	56.70±1.85 ^a	9.07±0.32 ^c	24.43±1.58 ^{ab}
Atlantic	0	35.17±0.12 ^c	15.63±0.06 ^a	21.00±0.00 ^c
	2	42.83±0.95 ^b	14.07±0.15 ^b	23.77±0.68 ^b
	4	48.83±0.58 ^a	13.83±0.21 ^b	26.70±0.36 ^a
Saebong	0	45.43±2.22 ^c	12.53±0.64 ^a	24.47±1.17 ^b
	2	56.00±0.60 ^b	9.43±0.74 ^b	26.57±1.06 ^c
	4	57.43±0.86 ^a	8.63±0.31 ^b	24.90±0.61 ^a
Jinsun	0	39.60±0.10 ^b	14.47±0.06 ^a	22.57±0.06 ^a
	2	45.07±1.00 ^a	10.57±0.74 ^b	21.30±0.44 ^a
	4	52.50±0.87 ^a	9.70±0.62 ^b	24.23±0.40 ^a

¹⁾Means with different letters within a row are significantly different ($P<0.05$).

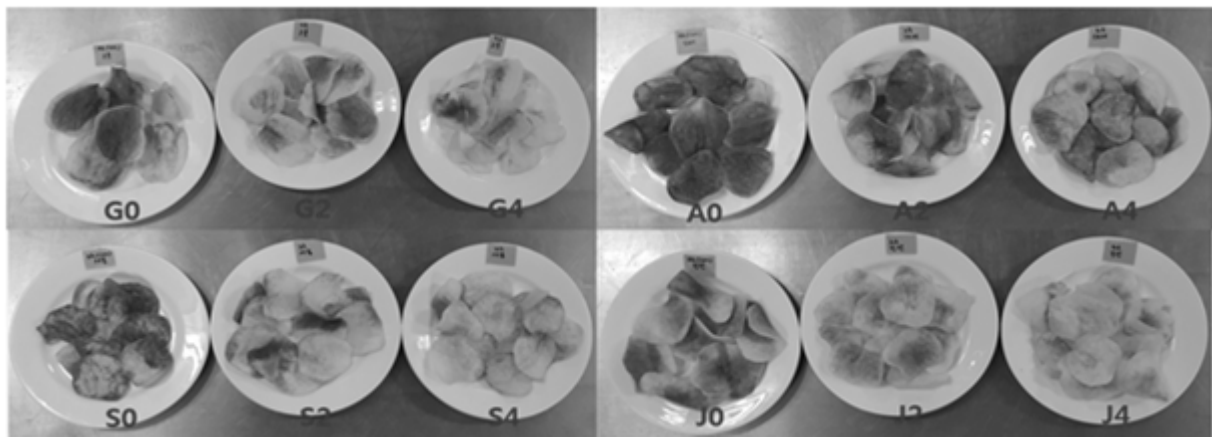


Fig. 1. Photographs of potato chips fermented by *B. subtilis*. G0~G4, Goeun potato chips fermented by *B. subtilis* for 0 h, 2 h, and 4 h; A0~A4, Atlantic potato chips fermented by *B. subtilis* for 0 h, 2 h, and 4 h; S0~S4, Saebong potato chips fermented by *B. subtilis* for 0 h, 2 h, and 4 h; J0~J4, Jinsun potato chips fermented by *B. subtilis* for 0 h, 2 h, and 4 h.

함량을 조사한 이전 연구에 비하여 적은 감소 비율을 보이고 있으나 이는 햇감자를 사용했던 이전 연구와 다르게 본 연구에서는 환원당을 많이 함유하고 있는 저장감자를 사용하였기 때문이라고 판단된다.

색도

발효 감자 칩의 색도를 측정할 결과는 다음과 같다(Table 7). Brands 등(27)은 고온에서 환원당과 아미노태 질소화합물이 Maillard 반응을 일으켜 갈색을 나타내는 melanoidins를 형성한다고 보고하였다. 따라서 환원당 함량이 감자 칩의 색도에 대한 중요한 요인 중 하나라고 판단된다. 보통 감자 칩의 L*값은 51~60을 나타내고 있으며 그 이하로 낮아질 경우 매우 어두운 색을 나타내고 그 이상의 값을 가지면 매우 밝다(18). 본 실험에서는 발효시간이 증가함에 따라 모든 품종에서 발효 감자 칩의 L*값과 a*값이 감소하였다. 저장기간 동안 환원당 함량이 증가한 저장감자를 이용하여 감자 칩을 제조했기 때문에 일반적인 감자 칩의 색도보다 어두운 값을 보이며, 특히 발효 전의 L*값은 45 이하를 보였다. 하

지만 *B. subtilis*를 이용하여 4시간 발효한 뒤의 색도는 대서를 제외하고 모두 50 이상의 값을 보여 색도가 향상되었음을 볼 수 있었다. 또한, 육안으로도 색도가 밝아진 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 특히 아크릴아마이드 감소율이 가장 높았던 새봉의 경우 L*값 역시 가장 높은 수치로 관찰된 것으로 보아 색도가 환원당과 관련한 아크릴아마이드 생성량에도 영향을 미친다고 생각된다.

요 약

본 연구에서는 240일간 저장한 네 가지 품종의 감자를 *Bacillus subtilis*로 발효한 후 제조한 감자 칩의 아크릴아마이드 함량과 색도 변화를 알아보고자 하였다. *B. subtilis*에 의한 단시간 발효는 모든 품종의 감자 슬라이스로부터 유리된 환원당 제거에 효과적이었으나 총당 함량 감소에는 영향을 미치지 않았다. 또한, 새봉과 진선 감자 슬라이스 내 존재하는 아스파라긴 함량도 감소하였다. 이러한 결과는 복합적으로 감자 칩의 아크릴아마이드 생성량과 색 형성에 영

향을 미쳤다. 대서를 제외한 나머지 세 품종은 모두 83% 이상의 아크릴아마이드 감소율을 보였다. 따라서 본 연구는 *B. subtilis*에 의한 단시간 발효를 통하여 저장감자를 가공 식품으로 활용할 수 있는 방안을 제시하고 있다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01123904)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Kim MK, Oh MH, Youn SH, Kim CT, Sung DE, Ham JS, Choi DM, Oh SS. 2009. Acrylamide concentration in domestic foods. *J Food Hyg Saf* 24: 238-246.
- Korea Health Industry Development Institute. 2012. Total diet study—mycotoxins, heavy metals, acrylamide. The R&D Report of Ministry of Food and Drug Safety, Ohsong, Korea.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). 1994. *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: some industrial chemicals*. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France. Vol 60, p 389-433.
- Chung HW, Park SK, Choi DM. 2007. Determination of acrylamide in food products. *J Anal Sci Technol* 20: 164-169.
- Stadler RH, Blank I, Varga N, Robert F, Hau J, Guy PA, Robert MC, Riediker S. 2002. Food chemistry: Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature* 419: 449-450.
- U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition. Guidance for industry: Acrylamide in foods. www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm374524.htm (accessed Feb 2016).
- Cho JH, Cho HM, Chang DC, Im JS, Jin YI, Jeong JC. 2013. 20. Potato. In *History for Korean Horticulture*. Korean Society for Horticultural Science, Jeonbuk, Korea. p 118-122.
- Korea Statistical Information Service. Major crop production trends 2014. www.kosis.kr (accessed Feb 2016).
- Lee HG, Lee SH, Ji ST. 2015. Trends of potato supply and demand and their implication. *FTA Issue Report* 11: 1-8.
- Cho JH, Cheon CK, Won HS, Cho KS, Part YE, Im JS, Chang DC, Kim DU, Son HB, Kim HJ, Cho HM. 2011. Potato chip processing with new double cropping potato varieties in autumn season. *Kor J Hort Sci Technol* 29: 96.
- Cho JH, Part YE, Cheon CK, Cho KS, Kim TG, Kim SY, Won HS, Kim JS, Lee YG, Chang DC, Suh JT, Cho HM, Kim HJ. 2011. New chip processing potato variety 'Saebong' with short dormancy periods for double cropping. *Kor J Hort Sci Technol* 29: 98-99.
- Cho JH, Cheon CK, Park YE, Im JS, Chang DC, Jin YI, Cho KS, Kim DU, Yu HS, Cho HM, Kim TK, Lee HU, Jeong MN, Kim SY. 2013. New potato chip processing variety 'Jinsun' with short dormancy. *Kor J Hort Sci Technol* 31: 92-93.
- Brierley ER, Bonner PLR, Cobb AH. 1996. Factors influencing the free amino acid content of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers during prolonged storage. *J Sci Food Agric* 70: 515-525.
- Lisinska G, Golubowska G. 2005. Structural changes of potato tissue during French fries production. *Food Chem* 93: 681-687.
- Kita A. 2002. The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chem* 76: 173-179.
- Konsula Z, Liakopoulou-Kyriakides M. 2004. Hydrolysis of starches by the action of an α -amylase from *Bacillus subtilis*. *Process Biochem* 39: 1745-1749.
- Park YE, Cho HM, Yi JY, Kim SY, Lim HT. 2002. Screening of breeding resources for processing potato in potato germplasm based on the analysis of specific gravity and glucose content. *Kor J Hort Sci Technol* 20: 100-105.
- Marquez G, Anon MC. 1986. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. *J Food Sci* 51: 157-160.
- Kwon JH, Byun MW. 1995. Effect of storage temperature and humidity on the quality stability of potatoes. *Korean J Post-Harvest Sci Technol Agri Products* 2: 243-249.
- Lee HJ, Suh JS. 1981. Effect of *Bacillus* strains on the Chungkook-jang processing (I). Changes of the components and enzymes activities during Chungkookjang-koji preparation. *Korean J Nutr* 14: 97-104.
- Kim SY. 2002. Prospects and status on quality of potato. *Korean J Crop Sci* 47(S): 135-139.
- Ohad I, Friedberg I, Ne'eman Z, Schramm M. 1971. Biogenesis and degradation of starch. *Plant Physiol* 47: 465-477.
- Vivanti V, Finotti E, Friedman M. 2006. Level of acrylamide precursors asparagine, fructose, glucose, and sucrose in potatoes sold at retail in Italy and in the United States. *J Food Sci* 71: C81-C85.
- Shepherd LVT, Bradshaw JE, Dale MFB, McNicol JW, Pont SDA, Mottram DS, Davies HV. 2010. Variation in acrylamide producing potential in potato: Segregation of the trait in a breeding population. *Food Chem* 123: 568-573.
- Jin YI, Cho JH, Chang DC, Im JS, Part YE, Yu HS, Jeong JC, Park KH, Chung IM. 2012. Changes of asparagine content in potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber during storage. *J Plant Biotechnol* 39: 300-304.
- WHO. 2002. Health implications of acrylamide in food. Report of a Joint FAO/WHO Consultation WHO Headquarters, Geneva, Switzerland.
- Brands CM, Wedzicha BL, van Boekel MA. 2002. Quantification of melanoidin concentration in sugar-casein systems. *J Agric Food Chem* 50: 1178-1183.