



Occurrence of deoxynivalenol and nivalenol in Korean ginger and the optimal storage conditions for reducing mycotoxins

Mi Jeong Lee, Soo Bin Lim, Jung-Hye Choi, Jeomsoon Kim, Theresa Lee, Ja Yeong Jang*
 Microbial Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration,
 Wanju 55365, Korea

국내산 생강의 데옥시니발레놀과 니발레놀 발생 및 저감화 저장조건

이미정 · 임수빈 · 최정혜 · 김점순 · 이테레사 · 장자영*
 국립농업과학원 유해생물과

Abstract

Mycotoxin-contaminated food is an important public health issue. The aims of this study were to monitor mycotoxin contamination in Korean ginger and to investigate storage conditions to reduce mycotoxins. A total of 44 ginger samples (27 gingers and 17 ginger powders) were analyzed for contamination with aflatoxin B₁, B₂, G₁, G₂, ochratoxin A, deoxynivalenol (DON), nivalenol (NIV), and zearalenone (ZEA). Mycotoxin levels were quantified by ultra-performance liquid chromatography after immunoaffinity column clean-up. At least one mycotoxin was present in 37.03% of the ginger samples (10/27) and 41.17% of the ginger powder samples (7/17). NIV was the most frequently detected mycotoxin in the ginger samples (37.03%, 24.74-263.40 µg/kg), while DON (35.29%, 17.62-401.58 µg/kg), NIV (29.41%, 73.24-439.65 µg/kg), and ZEA (23.53%, 5.80-97.84 µg/kg) were frequently detected in the ginger powder samples. Aflatoxins and ochratoxin A were not detected in most of the ginger samples. In addition, two or more mycotoxins were found in ginger (25.93%) and ginger powder samples (29.41%). In the storage experiment, DON and NIV levels in ginger were significantly lower under 13°C and 96% relative humidity than under the other conditions. This is the first report of DON and NIV in Korean ginger samples and the co-occurrence of *Fusarium* toxins.

Keywords : ginger, ginger powder, mycotoxin, storage, storage condition

서 론

곰팡이독소는 *Fusarium* 속, *Aspergillus* 속, 및 *Penicillium* 속 등 특정 곰팡이에 의해 생성되는 2차 대사산물로서 미량으로도 인체에 급·만성 독성을 유발할 수 있다(Lee와 Ryu, 2017). 작물의 생산, 수확 및 저장 등의 과정에서 생성된 곰팡이독소는 전 세계적으로 매년 약 25-50%의 농산물을 감염시킨다고 알려져 있으며(FAO, 2004), 이들은 물리·화학적

으로 매우 안정하여 가공 및 일반적인 조리과정에 의해 잘 분해되지 않는다. 현재까지 알려진 곰팡이독소는 약 400여 종이나 주로 문제가 되는 것은 아플라톡신, 오크라톡신 A, 푸모니신, 제랄레논과 트라이코세신류 곰팡이독소인 데옥시니발레놀, 니발레놀, T-2 독소 등이다(Binder 등, 2007).

국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 발암성과 관련해 아플라톡신은 발암물질(Group 1), 오크라톡신 A는 인체발암가능물질(Group 2B)로 분류하고,

*Corresponding author. E-mail : jabang2@korea.kr, Phone : +82-63-238-3400, Fax : +82-63-238-3840

Received 01 October 2021; Revised 25 October 2021; Accepted 16 November 2021.

Copyright © The Korean Society of Food Preservation.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

제랄레논과 데옥시니발레논은 발암물질로 분류할 수 없는 물질(Group 3)로 분류하고 있다(IARC, 1993). 트라이코쎬신류 독소와 제랄레논 등은 발암물질로 분류되지는 않지만 구토, 설사, 생식 저하, 면역력 저하, DNA 손상 등을 일으킬 수 있다(Arnold 등, 1986; Mirocha 등 1971; Pestka, 2010; Wu, 2014). 따라서 우리나라를 비롯한 유럽 연합, 미국 등 전 세계 여러 국가에서 아플라톡신, 오크라톡신 A, 데옥시니발레논, 제랄레논, 푸모니신 등의 독소에 대한 허용기준을 설정하여 관리하고 있다(MFDS, 2018a). 최근 향신료나 약용식물 등에서 곰팡이독소 오염이 빈번하게 확인됨에 따라(Han 등, 2012; Zinedine 등, 2006) 이들에 대한 안전성 문제가 대두되고 있다. 따라서 국제적으로 향신료 및 약용식물에 대한 곰팡이독소 허용 기준치를 설정하거나 그 기준을 확대하였으며(EPC, 2016; JPC, 2016; USPC, 2017), 우리나라도 최근 아플라톡신의 기준을 식물성 원료 및 전체 가공식품으로 확대하여 관리하고 있다(MFDS, 2018a).

생강(*Zingiber officinale*)은 생강과에 속하는 다년생 초본 식물의 뿌리로, 특유의 매운맛과 향을 가지고 있어, 주로 향신료로 사용되며 편강, 가루, 차 등으로 가공되어 다양하게 이용되고 있다. 생강은 열대 및 아열대 지역에서 생산되며 인도, 중국, 나이지리아 등에서 주로 생산되어 유럽과 미국 등으로 수출된다. 국내 생강은 전북 완주군, 충남 서산시, 경북 안동시에서 주로 생산되며 재배면적은 2019년 기준, 2,324 ha이고 생산량은 24,966 tone으로 추정된다(MAFRA, 2020). 생강은 진저론(zingerone), 진저롤(gingerols), 쇼가올(shogaols), 파라돌(paradol) 등의 생리활성물질을 생성한다고 보고되어 있으며(Yang 등, 2016), 향산화(Stoilova 등, 2007), 항균(Park 등, 2008), 항당뇨(Akhani 등, 2004), 항염증(Kubra 등, 2012) 등 다양한 생리활성이 보고되어 있다.

생강은 식용 및 약용적 가치로 인해 많은 국가에서 널리 사용되고 있으나 곰팡이독소 오염이 빈번히 보고되어 왔다. 남아프리카에서 여름과 겨울에 판매되는 생강을 수집하여 아플라톡신의 오염을 조사한 결과 아플라톡신 B₁은 오염수준은 0.01-6.04 µg/kg이었으나 86% 이상의 높은 오염율을 나타내었다고 보고하였다(Omotayo 등, 2019). 미국에서는 39개의 생강 시료에 대해 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염을 조사한 결과 26개(66.7%)에서 아플라톡신이 1-31 µg/kg 수준으로 검출되었고, 오크라톡신 A는 29개(74.4%)에서 1-10 µg/kg 수준으로 오염율과 오염수준이 높음을 보고하였다(Trucksess 등, 2007). 나이지리아에서는 건기와 우기에 생강의 곰팡이독소 오염을 조사한 결과 우기에 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염율이 상당히 높았으며 평균 오염농도는 각각 3.13과 5.10 µg/kg이었다고 보고하였다(Lippolis 등, 2017). 이와 같이 생강은 국외에서 발암가능성의 아플라톡신과 오크라톡신 A에 취약한 농산물로 알려져 있으나 국내에

는 관련 연구가 거의 없어 오염실태 파악이 시급하다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산된 생강 및 생강가루의 곰팡이독소 오염실태를 조사하였으며, 곰팡이독소 저감을 위한 생강의 저장조건을 탐색하였다.

재료 및 방법

시료 수집

생강의 곰팡이독소 오염도 조사를 위해 농가에서 저장 중인 생강(2019년산) 22점과 수확기 생강(2020년산) 5점을 대표 주산지인 충남 서산시와 전북 완주군에서 수집하였다. 수집된 생강은 수돗물에 깨끗이 씻어 흙 등 이물질을 제거한 다음 얇게 절단하여 70℃ 오븐에서 48시간 동안 건조하였다. 건조된 생강은 분쇄기(CMFP-40000, Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 균질화한 후 -20℃에 냉동 보관하면서 실험에 사용하였다. 생강 가루는 열풍건조 또는 동결건조되어 유통되고 있는 지역산 총 17점(전남, 3점; 전북, 5점; 경남, 1점; 경북, 3점; 충남, 3점; 강원, 2점)의 시료(최소 150 g 이상)를 구입하여 실험에 사용하였다.

저장 실험

저장 실험을 위한 생강은 2020년도에 두 지역(A, B)에서 수확한 것을 사용하였다. 생강은 지역별로 20 kg 두 마대자루씩 5℃/73%, 13℃/96%, 14℃/68% 저장조건에서 2020년 11월 16일부터 2021년 5월 18일까지 6개월간 저장하였다. 이 조건은 각각 냉장 조건(5℃/73%), 일부 농가에서 사용하는 저온창고 조건(14℃/68%), 그리고 생강의 품질 유지를 위한 권장 저장조건(13℃/96%)에 해당한다. 저장고 내의 온도와 상대습도는 한 시간 간격으로 자동 온·습도계(HOBO Pro V2 U23-002, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 저장기간 및 저장조건에 따른 생강의 곰팡이독소 오염 조사를 위해 저장 0, 2, 4, 6개월 후 시료를 1 kg씩 3회 채집하여 위에서 설명한 것과 같이 세척 후 건조 및 마쇄하여 냉동고(-20℃)에 보관하면서 독소 분석에 사용하였다.

표준물질 및 시약

실험에 사용한 데옥시니발레논, 니발레논, 제랄레논, 아플라톡신 B₁, B₂, G₁, G₂, 오크라톡신 A는 Biopure(Tulln, Austria)사의 제품을 구입하여 사용하였다. 아세토니트릴(acetonitrile, ACN)과 메탄올(methanol, MeOH)은 high performance liquid chromatography(HPLC)급(Fisher, Darmstadt, Germany)을 사용하였다. Phosphate buffered saline(PBS)는 Oxoid(Hampshire, UK)에서 구입하여 사용하였다. Acetic acid는 Merck(Darmstadt, Germany)의 제품을 사용하였다. 탄산수소나트륨(NaHCO₃),

Tween-20, trifluoroacetic acid(TFA), 염화나트륨(NaCl), 포름산은 Sigma-Aldrich Co. Ltd.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 3차 증류수는 Millipore (Bedford, MA, USA)의 초순수제조장치를 이용하여 18.2 MΩ 이상으로 제조하여 사용하였다.

시료의 추출 및 정제

데옥시니발레놀과 니발레놀의 전처리에는 Lee 등(2020a)의 방법을 변형하여 수행하였다. 시료 5 g에 20% ACN 20 mL를 가하여 300 rpm에서 1시간 동안 진탕 추출(LSI-1005, Daihan Scientific, Seoul, Korea)하였다. 추출액은 2,898 ×g에서 10분간 원심분리하여 상층액을 얻었으며, 상층액 5 mL를 취해 1차 증류수 20 mL와 혼합하여 정제과정에 사용하였다. DON-NIV 면역친화컬럼(DON-NIV™WB, Vicam, MA, USA)에 혼합액 25 mL를 통과시킨 후(2-3 drops/s), 1차 증류수(10 mL)로 세척하였다. 주사기를 이용하여 컬럼에 남아 있는 물을 제거한 후 MeOH 2 mL를 가하여 컬럼에 남아 있는 독소를 용출하였다. 용출액은 질소 건조(50℃)하여, 이동상 용액(1 mL, water:ACN:MeOH, 90:5:5, v/v/v)으로 재용해 한 후 0.2 μm 시린지 필터(PTFE 13 mm, RD Tech Research Development, Gyeongju, Korea)로 여과 후 ultra performance liquid chromatography (UPLC) 분석을 수행하였다.

제랄레논 분석은 Lee 등(2020b)의 방법을 변형하여 수행하였다. 시료 5 g에 NaCl 1 g을 첨가한 후 75% ACN 20 mL를 넣어 1시간 동안 진탕 추출하였다. 추출액은 2,898 ×g에서 10분 동안 원심분리를 통해 상층액 5 mL를 얻었으며 이를 1차 증류수 20 mL와 혼합하여 정제과정에 사용하였다. 정제용 컬럼(ZeralaTest WB)에 혼합액을 통과시킨 다음 10 mL의 증류수로 세척하였으며 MeOH 2 mL를 컬럼에 가하여 독소를 용출하였다. 용출액은 질소 건조한 후 1 mL의 이동상 용액(Water:ACN:MeOH, 43:35:22, v/v/v)으로 재용해 하였으며 0.2 μm 시린지 필터로 여과한 다음 UPLC 분석을 수행하였다.

아플라톡신의 분석은 Trucksess 등(2006)의 방법을 변형하여 수행하였다. 시료 5 g에 NaCl 1 g과 추출용액(MeOH:1% Tween-20을 함유한 PBS 용액=8:2, v/v) 20 mL를 넣고 300 rpm에서 1시간 동안 진탕 추출하였다. 추출액은 2,898 ×g에서 10분 동안 원심분리하여 얻어진 상층액 7 mL를 취해 28 mL의 PBS로 현탁 한 다음 현탁액 20 mL를 취해 정제컬럼(AflaTest WB)에 주입하였다. 정제 컬럼에 10 mL의 PBS와 증류수를 각각 흘려 불순물을 제거한 다음 MeOH 2 mL를 흘려 독소를 용출하였다. 용출액은 질소 건조(50℃) 후 TFA 0.2 mL를 넣어 압조건에서 20분 동안 반응시켰다. 반응액은 20% ACN 0.8 mL를 가해 재현탁 하였으며, 0.2 μm 시린지 필터 후 UPLC 분석을 수행하였다.

오크라톡신 A의 분석은 Trucksess 등(2008)의 방법을 변형하여 수행하였다. 시료 5 g에 NaCl 1 g과 추출용액(MeOH:0.5% NaHCO₃ 수용액=7:3, v/v) 20 mL를 가하여 300 rpm에서 1시간 동안 추출하였다. 추출액을 2,898 ×g에서 10분 동안 원심분리한 후 상층액 7 mL를 취해 28 mL의 1% Tween-20을 함유한 PBS 용액으로 희석하였으며, 희석액 35 mL를 면역친화컬럼(OchraTest WB)에 주입하였다. 정제컬럼에 10 mM PBS 3 mL를 가하여 1차 세척한 다음, 5 mL의 물로 2차 세척하였으며, 2 mL의 MeOH을 주입하여 독소를 용출하였다. 용출액은 질소 건조(50℃) 후 1 mL의 이동상(1% acetic acid가 들어 있는 water:ACN=5:5, v/v)으로 재용해한 다음 0.2 μm 시린지 필터 후 UPLC 분석을 수행하였다.

HPLC 분석조건

데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논, 아플라톡신 B₁, B₂, G₁, G₂, 오크라톡신 A는 UPLC(Waters Acquity UPLC® H Class, Waters Corp., MA, USA)를 사용하여 정량 및 정성 분석되었다. 분석 컬럼은 Xselect CSH C₁₈, 1.7 μm, 2.1×100 mm(Waters Corp., MA, USA)를 사용하였고, 유속 0.3 mL/min, 시료 주입량 10 μL, 분석 시간 10분의 등용매조건(isocratic)으로 분석하였다. 데옥시니발레놀과 니발레놀의 검출은 water:ACN:MeOH(90:5:5, v/v/v) 이동상과 흡광검출기(diode array detector) 파장 218 nm를 사용하여 분석을 수행하였다. 제랄레논 분석용 이동상은 water:ACN:MeOH(43:35:22, v/v/v)이었고, 형광검출기(fluorescence detector) 파장 Ex=274 nm, Em=440 nm로 검출하였다. 아플라톡신 분석용 이동상은 water:ACN:MeOH(20:65:15, v/v/v)이었고, 형광검출기 파장 Ex=360 nm, Em=440 nm를 사용하여 분석을 수행하였다. 오크라톡신 A 분석을 위한 이동상은 1% acetic acid를 함유한 50% water:ACN(1:1, v/v)으로 하였으며, 형광검출기 파장 Ex=333 nm, Em=460 nm를 이용하여 분석을 수행하였다.

검출 정량한계 및 회수율 시험

본 연구에 사용된 분석법은 ‘식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인’에 준하여 시험법의 유효성을 검증하였다(MFDS, 2016). 직선성 확인을 위해 데옥시니발레놀과 니발레놀은 0, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000 ng/mL, 제랄레논은 0, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ng/mL 농도가 되도록 검량선을 작성하였다. 아플라톡신 B₁, G₁은 0, 0.01 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 ng/mL 아플라톡신 B₂, G₂는 0, 0.025, 0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1.25, 2.5 ng/mL 농도가 되도록 조제하였으며, 오크라톡신 A는 0, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 ng/mL 농도가 되도록 조제하였다. 농도별 표준물질은 각각의 피크 면적을 이용하여 검량선을 작성하였으며, 검량선의 결정계수를 구하

였다. 시험법의 정확성 및 정밀성을 확인하기 위해 독소에 오염되지 않은 생강에 표준물질을 첨가한 후 분석하여 회수율 및 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)를 산출하였다. 데옥시니발레놀과 니발레놀은 200, 500, 1000 µg/kg 수준이 되도록 첨가하였으며, 제랄레논은 50, 100, 200 µg/kg 수준으로 첨가하였다. 아플라톡신은 B₁, G₁은 2, 5, 10 µg/kg 이 되도록 첨가하였으며 B₂, G₂는 0.5, 1.25, 2.5 µg/kg이 되도록 첨가하였다. 오크라톡신 A는 2, 5, 10 µg/kg이 되도록 첨가하여 회수율을 조사하였다. 회수율 실험은 3 반복을 수행하였으며, 회수율 평균과 RSD를 계산하여 시험법의 정확도 및 정밀도를 평가하였다. 검출한계는 크로마토그램 상에서 신호 대 잡음비(signal/noise ratio)를 3으로 정량한계는 검출한계의 3배 이상으로 하였다.

통계분석

저장 실험 결과는 SPSS 통계처리 프로그램(IBM SPSS Statistics 20, SPSS Inc., NY, USA)를 사용하여 결과값에 대해 ANOVA 검정을 실시한 후 유의적인 경우(p<0.05) Duncan's multiple range test로 통계학적 유의성을 조사하였다. 모든 실험은 3반복을 수행하였다.

결과 및 고찰

곰팡이독소의 검량선, 검출한계 및 정량한계, 회수율 및 재현성

검량선의 결정계수(R²)는 0.9992 이상으로 적합한 수준이

였으며(Data not shown), 회수율과 검출 및 정량한계는 Table 1에 나타내었다. 본 연구 방법은 회수율 70.9% 이상과 정밀성 15.4% 이하의 RSD를 나타내어, 식약처의 '식품 등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인'의 회수율 및 정밀성 유효범위를 만족하였다. 데옥시니발레놀과 니발레놀의 검출 및 정량한계는 Bryla 등(2018)이 제시한 검출한계 각각 4.8, 10.1 µg/kg와 정량한계 각각 16.8, 33.1 µg/kg보다 높았으며, 제랄레논의 검출 및 정량한계는 Ibanez-Vea 등(2011)이 보고한 0.3, 6.0 µg/kg보다 높았다. 아플라톡신의 검출 및 정량한계는 Wen 등(2013)이 보고한 검출(0.03-0.2 µg/kg) 및 정량한계(0.1-0.6 µg/kg)보다 낮았으며, 동일한 문헌에서 보고한 오크라톡신 A의 검출(0.1 µg/kg) 및 정량한계(0.9 µg/kg)보다 높은 수준이었다. 각각의 곰팡이독소의 크로마토그램을 Fig. 1에 나타내었다.

국내산 생강의 곰팡이독소 오염현황

Fusarium 속은 토양에서 흔하게 서식하는 대표적인 토양 전염성 병원균으로 그 중 일부는 독소를 생성하는 곰팡이다. *F. graminearum*은 데옥시니발레놀을, *F. asiaticum*은 니발레놀을 주로 생성하며 제랄레논은 *F. graminearum*과 *F. culmorum* 종에 의해 주로 생성된다(Lee 등, 2012). 아플라톡신은 *Aspergillus flavus*와 *A. parasiticus*에 의해 주로 생성되며, 오크라톡신 A는 *A. ochraceus*와 *Penicillium verrucosum*에 의해 주로 생성된다(Marin 등, 2013; Van der Merwe 등, 1965).

국내산 생강과 생강가루의 곰팡이독소 오염을 조사한 결과 오염율은 각각 37.03%와 41.17%로 유사한 수준이었다

Table 1. Recovery, precision, limits of detection (LOD), and limits of quantification (LOQ) of mycotoxins analyzed in this study

Mycotoxin ¹⁾	Recovery ²⁾ (%) ± RSD ³⁾ (%)			LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)
	Low level	Medium level	High level		
DON	93.86±5.14	93.97±1.19	90.02±1.04	17.00	50.00
NIV	82.46±2.97	84.66±0.91	79.61±0.96	17.00	50.00
ZEA	77.04±13.63	83.15±2.45	86.66±3.71	3.00	9.00
OTA	83.91±10.53	88.71±3.58	85.64±2.08	0.35	1.20
AFB ₁	76.70±3.26	78.96±4.49	77.31±1.74	0.03	0.10
AFB ₂	79.07±10.17	84.07±6.04	89.44±0.08	0.01	0.03
AFG ₁	76.54±3.66	74.14±15.42	81.56±5.07	0.03	0.10
AFG ₂	76.85±3.52	77.94±11.70	85.88±4.04	0.01	0.03

¹⁾DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol; ZEA, zearalenone; OTA, ochratoxin A; AFB₁, aflatoxin B₁; AFB₂, aflatoxin B₂; AFG₁, aflatoxin G₁; AFG₂, aflatoxin G₂.

²⁾DON, NIV: 200 µg/kg (low level), 500 µg/kg (medium level), 1,000 µg/kg (high level); ZEA: 50 µg/kg (low level), 100 µg/kg (medium level), 200 µg/kg (high level); OTA, AFB₁, AFG₁: 2 µg/kg (low level), 5 µg/kg (medium level), 10 µg/kg (high level); AFB₂, AFG₂: 0.5 µg/kg (low level), 1.25 µg/kg (medium level), 2.5 µg/kg (high level).

³⁾RSD, relative standard deviation.

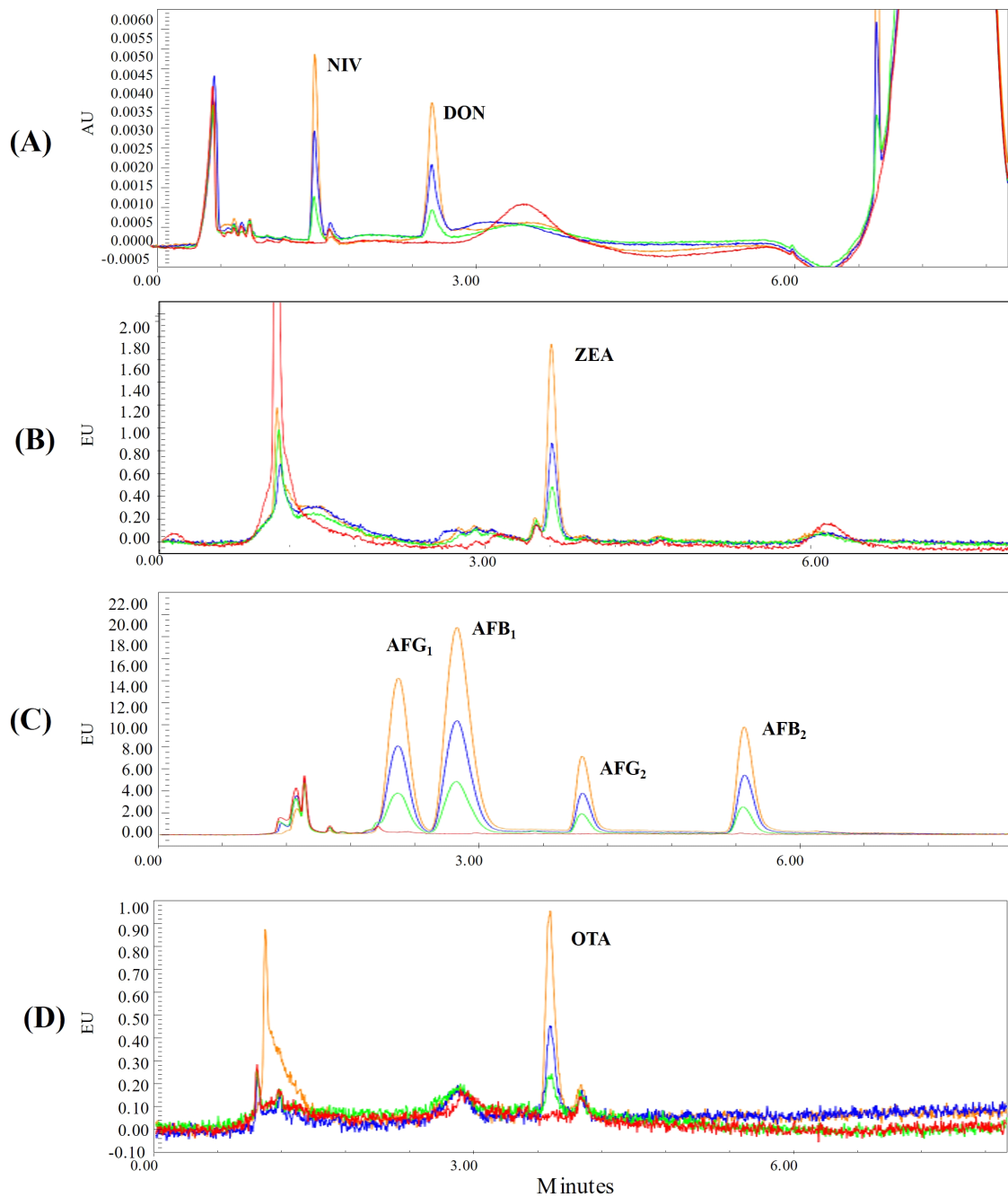


Fig. 1. UPLC chromatograms of blank ginger sample spiked with mycotoxins.

(A) NIV (nivalenol), DON (deoxynivalenol): 200 (green line), 500 (blue line), and 1,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (red line). (B) ZEA (zearalenone): 50 (green line), 100 (blue line), and 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (red line). (C) AFG₁ (aflatoxin G₁), AFB₁ (aflatoxin B₁): 2 (green line), 5 (blue line), and 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (red line); AFG₂ (aflatoxin G₂), AFB₂ (aflatoxin B₂): 0.5 (green line), 1.25 (blue line), and 2.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (red line). (D) OTA (ochratoxin A): 2 (green line), 5 (blue line), and 10 (red line) $\mu\text{g}/\text{kg}$.

(Table 2). 생 생강은 니발레놀 오염율(37.03%) 및 오염수준 (24.74-263.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$)이 가장 높았으며, 제랄레논, 오크라톡신 A, 데옥시니발레놀, 아플라톡신이 모두 1건 이상 검출되었으나 오염수준은 낮았다. 생강에서 아플라톡신 B₁의 오염수준

은 0.07 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 우리나라의 최대허용기준치(10 $\mu\text{g}/\text{kg}$)의 0.7% 수준으로 매우 낮았다. 기준 미설정 독소인 오크라톡신 A, 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논의 경우 곡류의 기준을 적용했을 때 기준치(오크라톡신: 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 데옥시니발레

Table 2. Incidence and levels of mycotoxin in Korean ginger and ginger powder

	Incidence (%) (Detection/sample)	Mycotoxin levels ($\mu\text{g}/\text{kg}$) (Number of positive sample) ¹⁾				
		DON ²⁾	NIV	ZEA	OTA	Total AFs
Ginger	37.03% (10/27)	61.75 (1)	24.74-263.40 (10)	3.00-15.73 (5)	0.35-0.67 (3)	0.07 (AFB ₁) (1)
Ginger powder	41.17% (7/17)	17.62-401.58 (6)	73.24-439.65 (5)	5.80-97.84 (4)	ND ³⁾	ND

¹⁾Mycotoxin level >LOD (DON, NIV: 17.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$; ZEA: 3.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$; OTA: 0.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$; AFB₁, AFG₁: 0.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$; AFB₂, AFG₂: 0.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

²⁾DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol; ZEA, zearalenone; OTA, ochratoxin A; AFs, Aflatoxins (B₁, B₂, G₁, G₂); AFB₁, aflatoxin B₁.

³⁾ND, not detected.

늘: 1,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 제랄레논: 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 니발레논은 기준이 없어 데옥시니발레논과 동일한 1,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 을 적용)의 6.18-26.34%로 안전한 것으로 생각된다. 생강가루는 데옥시니발레논(35.29%) > 니발레논(29.41%) > 제랄레논(23.53%) 순으로 오염율이 높았으며, 아플라톡신과 오크라톡신 A는 불검출되었다. 생강가루의 데옥시니발레논, 니발레논, 제랄레논의 오염수준은 생 생강에 비해 높았으나 데옥시니발레논을 제외하고 통계적으로 유의차는 없었다(Data not shown). 생강가루 조제시 품질이 좋지 않은 생강을 이용할 경우 곰팡이독소 오염수준이 높을 수 있다(Yang 등, 2019). 또한, 입자가 작고 접촉표면이 클수록 곰팡이독소 생성에 유리할 수 있기 때문에 생강보다 생강가루에서 곰팡이독소 오염수준이 높은 것으로 판단된다.

국내산 농산물의 곰팡이독소 오염사례를 살펴보면 곰팡이독소 오염율과 오염수준은 품목별로 차이가 있었다. Kim 등(2013)은 국내산 곡류에서 곰팡이독소 오염을 조사한 결과, 백미와 보리에서 제랄레논의 오염율은 각각 36.2%와 34.9%이었으며, 최대오염량은 각각 6.66 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 8.95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다고 보고하였다. 또한, 백미와 보리에서 데옥시니발레논의 오염율은 각각 6.4%, 55.8%이었으며 최대오염량은 93.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 334.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 보리의 오염율과 오염수준이 상대적으로 높았다고 보고하였다. Jang 등(2008)은 두류 중 제랄레논의 오염 및 오염수준은 각각 10.2%, 8.01-38.98 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다고 보고하였다. Park 등(2013)은 유통식품 151건을 조사한 결과 아플라톡신과 오크라톡신 A가 검출되었으며, 아플라톡신이 검출된 품목은 수수(0.32 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 잣(1.80 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 고춧장(0.40-0.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 땅콩버터(0.33-0.99 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 고춧가루(0.25-0.91 $\mu\text{g}/\text{kg}$) 등이었으며 오크라톡신 A가 검출된 품목은 건포도(0.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$)이었다고 보고하였다. 2018년 식약처의 식품의 곰팡이독소 기준·규격 재평가 보고서에 따르면 국내 생강 및 생강가루에서 곰팡이독소는 검출되지 않았다(MFDS, 2018b). 그러나 Choi 등(2021)은 한약제로 사용되는 국내산 생강(건강) 16점에 대해 아플라톡신, 오크라톡신 A, 푸모니신, 제랄레논의 오염을 조사한 결과, 4점(25.0%)에서 제랄레

논이 3.89-15.96 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 수준으로 검출되었으며 다른 독소는 검출되지 않았다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과에서 아플라톡신과 오크라톡신 A는 거의 검출되지 않고 제랄레논은 검출된 결과와 유사하며 제랄레논의 오염율과 오염수준 또한 유사하였다.

국의 생강의 곰팡이독소 연구사례를 살펴보면 국가별로 차이를 보였다. Wen 등(2013)은 중국의 생강과 생강가루에 대해 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염을 조사한 결과, 생강에서는 독소가 검출되지 않았으나, 생강가루에서는 아플라톡신 B₁과 G₂가 정량한계 이하(B₁: 0.3, G₂: 0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$)로 검출되었다고 보고하였다. 또한, 곰팡이가 핀 생강 시료 3점에서 오크라톡신 A가 0.32-5.17 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 수준으로 검출되었으며, 생강 티백 6점 중 5점에서 아플라톡신 B₁이 0.13-1.38 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 수준으로 검출되었다고 보고하였다(Wen 등, 2014). 터키에서는 생강의 아플라톡신 B₁의 오염을 조사한 결과, 75%의 오염율을 나타내었으며, 오염수준은 3.8-23.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 높았다고 보고하였다(Tosun과 Arslan, 2013). Koul과 Sumbali(2008)는 인도산 생강 27점에 대해 제랄레논과 데옥시니발레논을 조사한 결과 2점(7.4%)에서 제랄레논이 13.44-14.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 수준으로 검출되었으며, 데옥시니발레논은 4점(14.8%)에서 4.85-10.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 수준으로 검출되었다고 보고하였다. 국외 생강의 곰팡이독소 연구 결과를 비교했을 때 국내 생강의 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염수준은 외국에 비해 낮았으나, 데옥시니발레논, 니발레논, 제랄레논의 오염수준은 상대적으로 높은 편이었다. 국내 생강의 *Fusarium* 독소 오염수준이 외국보다 높은 이유에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

시료의 곰팡이독소 중복 오염을 조사한 결과, 25.93%의 생강 시료가 두 종 이상의 곰팡이독소에 오염된 것으로 나타났다(Table 3). 특히 니발레논과 제랄레논의 중복 오염은 중복 오염된 생강시료의 71.43%(5/7)로 대부분을 차지하였다. 생강가루의 곰팡이독소 중복 오염율은 29.41%였으며, 중복 오염된 독소의 조합으로는 데옥시니발레논과 니발레논 또는 데옥시니발레논, 니발레논, 제랄레논으로 모두 *Fusarium* 속 곰

Table 3. Co-occurrence of mycotoxins in Korean ginger and ginger powder

Number of mycotoxins	Type of co-occurring mycotoxins ¹⁾	Number of positive samples ²⁾	
		Ginger (n=27)	Ginger powder (n=17)
2	DON, NIV	1	2
	NIV, ZEA	5	0
	ZEA, OTA	1	0
3	DON, NIV, ZEA	0	3
Total (%)		7 (25.93)	5(29.41)

¹⁾DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol; ZEA, zearalenone; OTA, ochratoxin A.

²⁾Mycotoxin level > limit of detection.

팡이가 생성하는 독소였다. *Fusarium* 독소의 경우 한 균주가 다양한 *Fusarium* 독소를 생성할 수 있기 때문에 중복 오염이 쉽게 발생되며(Smith 등, 2016), 독소가 중복 오염될 경우 위해도가 단일독소보다 높아질 수 있다(Speijers과 Speijers, 2004). 따라서 향후 위해성 평가를 위한 곰팡이독소 모니터링 시 중복 오염 여부를 함께 검토하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

국내의 경우 외국과 달리 생강에서 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염이 거의 발생하지 않은 반면 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논의 오염이 주로 발생하였다. 생강은 4월에 파종하여 10월 중순에서 11월 초에 수확하기 때문에 기상 조건이 *Aspergillus*와 *Penicillium*의 생장에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 그러나 지구 온난화로 인한 연평균 기온 상승 및 잦은 강우 등으로 향후 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염도 발생할 수 있어 이를 대비한 선제적인 오염 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 생강의 국내 곰팡이독소 기준을 살펴보면 아플라톡신(B₁, B₂, G₁ 및 G₂의 합)에 대해 15.0 µg/kg 기준이 설정되어 있으며(B₁은 10.0 µg/kg 이하) 다른 독소에 대해서 기준이 설정되어 있지 않다(MFDS, 2018a). 유럽의 경우 생강은 아플라톡신 B₁에 대해 5 µg/kg, 아플라톡신 총합에 대해 10 µg/kg, 그리고 오크라톡신 A에 대해 15 µg/kg의 기준이 설정되어 있다(EC, 2006). 생강은 본 연구에서와 같이 우리나라의 기후 및 생강의 재배 특성상 *Fusarium* 속 균에 의한 곰팡이독소가 주로 발생할 수 있기 때문에 *Fusarium* 독소를 중심으로 오염 모니터링을 통한 위해 평가와 관리기준 설정 검토 및 저감화 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

저장조건에 따른 곰팡이독소의 오염도

Table 4는 생산지역이 서로 다른 생강 시료(A, B)를 세 가지 저장조건에서 6개월 동안 저장하면서 곰팡이독소 오염을 조사한 결과이다. 저장조건에 따른 데옥시니발레놀과 제랄레

논의 오염수준은 A와 B시료 모두 14°C/68% 조건에서 가장 높았다. 14°C/68% 조건에서 저장한 B시료의 데옥시니발레놀 오염농도는 저장 2개월 후 최대 955.23 µg/kg으로 가장 높았으며, 제랄레논의 오염농도는 저장 4개월 후 342.74 µg/kg으로 가장 높게 나타났다. 니발레놀은 5°C/73% 조건에서 4개월 동안 저장한 A 시료에서 니발레놀 오염수준은 701.58 µg/kg으로 가장 높았으며, 13°C/96% 조건에서 오염수준이 가장 낮았다. 한편, 아플라톡신과 오크라톡신 A는 저장기간(6개월) 동안 독소가 불검출되었다(Data not shown).

재배기 및 수확기에 감염된 독성곰팡이는 저장 중에도 곰팡이독소를 생성할 수 있다(Marin 등, 2013; Milicevic 등, 2010). 생강은 수확 후 세척 과정 없이 토굴 또는 저온창고에 저장된다. 즉, 흙이 묻어 있는 상태로 저장되기 때문에 미생물이 침입하기 쉬운 환경이 맞지 않으면 저장 중 부패가 쉽게 일어날 수 있다. 생강 저장시 10°C 이하의 온도에서는 저온장해가 발생하여 부패가 촉진되고, 18°C 이상에서는 발아 및 위조현상으로 인해 상품성을 잃을 수 있으며, 90% 이하의 상대습도에서는 곰팡이에 의한 부패율이 늘어난다고 알려져 있다(RDA, 2005). Jeong 등(1998)은 7, 12, 20°C의 온도와 75%, 85%, 95%의 상대습도에서 각각 저장하면서 생강의 품질을 비교한 결과, 7°C와 20°C에서 습도 조건별로 저장한 생강에서는 각각 저온장해와 발아 현상으로 인해 품질저하가 빠르게 진행되었고, 12°C/75%인 경우에는 7°C의 저장 생강과 유사할 정도로 품질변화가 크게 나타난 반면, 12°C/95%에 저장한 생강에서는 중량감소율, 부패율, 발아율 등의 모든 품질적 측면에서 가장 우수한 결과를 나타내었다고 보고하였다. 이는 본 연구에서 13°C/96%에서 저장한 생강이 다른 조건에 비해 데옥시니발레놀과 니발레놀의 오염이 상당히 낮은 결과와 매우 유사하였다. 이 조건은 생강의 부패율과 상품성을 고려한 권장 저장조건이므로 생강을 저장할 때는 13°C/96% 전후의 온·습도에서 보관하는 것이 곰팡이독소를 예방하고 생강의 부패율을 감소시키는 데 도움이 될 것으로 판단된다. 현

Table 4. Level of deoxynivalenol, nivalenol, and zearalenone in Korean ginger stored at different storage conditions

Sample	Mycotoxin ¹⁾	Storage periods (mon)	Temperature/relative humidity		
			5°C/73%	13°C/96%	14°C/68%
A	DON	0	<LOD ²⁾	<LOD	<LOD
		2	19.22±5.0 ³⁾	94.83±6.51 ^b	186.90±30.91 ^a
		4	67.89±8.93 ^a	19.69±2.87 ^b	<LOD
		6	32.78±2.70 ^a	ND ⁴⁾	65.46±18.81 ^a
		Mean ⁵⁾	33.46±22.43 ^a	32.12±38.67 ^a	65.46±75.96 ^a
	NIV	0	125.42±4.44	125.42±4.44	125.42±4.44
		2	545.22±36.07 ^a	39.70±0.43 ^c	315.20±16.69 ^b
		4	701.58±79.60 ^a	234.56±23.53 ^b	132.21±9.51 ^c
		6	471.89±50.66 ^a	25.88±6.03 ^b	514.82±153.31 ^a
		Mean	461.03±224.33 ^a	106.39±87.58 ^c	271.91±179.23 ^b
	ZEA	0	9.74±2.74	9.74±2.74	9.74±2.74
		2	ND	ND	178.79±39.31 ^a
		4	ND	49.02±1.48 ^a	ND
		6	ND	5.82±2.57 ^a	ND
		Mean ⁵⁾	<LOD	16.15±20.23 ^{ab}	47.13±81.26 ^a
B	DON	0	<LOD	<LOD	<LOD
		2	255.41±21.15 ^b	21.83±0.22 ^c	798.92±21.82 ^a
		4	140.97±26.98 ^b	ND	955.23±38.38 ^a
		6	<LOD	ND	656.20±125.75 ^a
		Mean	104.05±108.15 ^b	<LOD	616.55±387.62 ^a
	NIV	0	<LOD	<LOD	<LOD
		2	229.71±24.49 ^a	<LOD	113.84±5.74 ^b
		4	81.39±4.90 ^b	ND	137.37±27.17 ^a
		6	27.73±1.17 ^a	ND	17.62±6.52 ^b
		Mean	88.54±89.62 ^a	<LOD	71.05±58.92 ^a
ZEA	0	ND	ND	ND	
	2	ND	ND	39.07±34.40 ^a	
	4	ND	ND	342.74±37.90 ^a	
	6	ND	N.D	139.64±15.63 ^a	
	Mean	ND	ND	130.36±140.55 ^a	

¹⁾DON, deoxynivalenol; NIV, nivalenol; ZEA, zearalenone.²⁾LOD, limit of detection (deoxynivalenol, nivalenol: 17 µg/kg; zearalenone: 3 µg/kg).³⁾Values are mean±SD µg/kg, Means with the different letter within rows were significantly different (p<0.05).⁴⁾ND, not detected.⁵⁾Average of all periods.

장에서 사용되는 저온창고 조건은 온도는 적합하나 습도가 70% 이하 수준으로 낮기 때문에 습도를 96% 수준으로 높여서 저장하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

Versonder 등(1982)은 옥수수에서 *F. graminearum*과 *F. roseum*의 데옥시니발레놀 생성을 위한 최적온도는 각각 29-30°C, 25-26°C였으며, 최저온도는 약 11°C일 것으로 예측하였다. Megan과 Lacey(1984)는 *F. culmorum*, *F. poae*, *F. avenaceum* 종의 최적 성장온도는 20-25°C였고, 5-10°C와 35°C에서는 생장이 감소했다고 하였으며, 최적온도에서 최적수분활성도는 0.98-0.995, 최소수분활성도는 0.90-0.91이었다고 보고하였다. Wawrzyniak 등(2013)은 보리에서 곰팡이의 생장은 저장온도보다 수분활성도가 더 큰 영향을 준다고 보고하였다. 그러나 Hope 등(2005)은 *F. culmorum*과 *F. graminearum*를 인공 접종한 밀에서는 온도와 수분활성도가 높을수록 곰팡이의 생장이 증가했다고 보고하였다. Zhang 등(2019)은 밀을 15°C/50%, 20°C/65%, 25°C/75%, 30°C/80% 조건에서 보관하면서 *Fusarium* 독소의 오염을 조사한 결과, 저장 6개월 후 25°C/75% 조건에서 데옥시니발레놀의 오염 수준은 1,103 µg/kg으로 가장 높았다고 보고하였다. 또한, 저장온도와 상대습도가 낮았을 때 *Fusarium* 독소 또한 오염수준이 낮았다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 상대습도가 70% 이하였던 두 조건보다 96%였던 조건에서 생강의 곰팡이독소 오염이 낮았던 결과와 달랐다. 생강의 수분함유량은 83%로 매우 높으며 곡류의 수분함유량은 14-23%로 낮은 편에 속한다(RDA, 2005; RDA, 2018a; RDA, 2018b). 따라서 곰팡이독소 저감 저장조건은 작물의 수분함유량에 따라 달라질 수 있을 것으로 판단된다. 고온성 작물인 생강은 저온에서 장해를 입어 곰팡이 침입이 증가하여 독소가 많이 발생하며 비교적 높은 저장온도인 13°C와 수분 손실이 적은 96% 상대습도에서 품질이 유지되며 곰팡이 발생이 적어 독소도 적게 생성되는 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 종합하면 국내 생강의 곰팡이독소 오염실태 모니터링 결과, 외국과 달리 아플라톡신과 오크라톡신 A의 오염은 거의 없었으나 *Fusarium* 속 곰팡이에 의한 독소인 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논의 오염이 주로 발생하였고 독소의 중복 오염이 관찰되었다. 하지만 생강 및 생강가루의 곰팡이독소 오염수준은 곡류의 곰팡이독소 최대허용량과 비교했을 때 안전한 수준이었다. 또한, 생강의 곰팡이독소 저감화 저장조건을 조사한 결과, 13°C/96% 조건에서 데옥시니발레놀과 니발레놀의 오염이 가장 낮았다. 따라서 생강의 곰팡이독소 예방을 위해 이 조건으로 저장한다면 연간 저장하면서 판매되는 생강의 곰팡이독소 오염을 보다 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

요 약

본 연구는 국내산 생강의 곰팡이독소 오염실태를 조사하고 독소 저감을 위한 생강의 저장조건을 탐색하고자 수행되었다. 총 44개의 국내산 생강(생 생강[27점], 생강가루[17점])에 대해 아플라톡신, 오크라톡신 A, 데옥시니발레놀, 니발레놀, 제랄레논의 오염도를 조사하였다. 각각의 독소는 면역친화결합을 이용하여 전처리한 후 UPLC 분석을 수행하였다. 생강 시료의 37.03%에서 곰팡이독소가 검출되었으며, 니발레놀의 오염율(37.03%)이 가장 높았고 오염 수준은 24.74-263.40 µg/kg이었다. 생강가루는 41.17%에서 곰팡이독소가 검출되었고, 데옥시니발레놀과 니발레놀, 제랄레논이 각각 17.62-401.58, 73.24-439.65, 5.80-97.84 µg/kg 수준으로 검출된 반면, 아플라톡신과 오크라톡신 A는 검출되지 않았다. 또한, 생강과 생강가루의 2종 이상의 곰팡이독소 중복오염율은 각각 25.93%와 29.41%이었다. 곰팡이독소 저감을 위한 생강의 저장조건을 탐색한 결과, 13°C/96% 조건에서 데옥시니발레놀과 니발레놀 오염도가 가장 낮았다. 본 연구는 국내 생강의 *Fusarium* 곰팡이독소 오염 및 중복 오염을 처음으로 보고하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ014811)의 지원으로 수행되었습니다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Mi Jeong Lee <https://orcid.org/0000-0003-1685-9584>

Ja Yeong Jang <https://orcid.org/0000-0002-1719-6535>

References

- Akhani SP, Vishwakarma SL, Goyal RK. Anti-diabetic activity of *Zingiber officinale* in streptozotocin-induced type I diabetic rats. *J Pharm Pharmacol*, 56, 101-105 (2004)
- Arnold D, McGuire P, Nera E, Karpinski K, Bickis M, Zawidzka A, Fernie S, Versonder R. The toxicity of orally administered deoxynivalenol (vomitoxin) in rats

- and mice. *Food Chem Toxic*, 24, 935-941 (1986)
- Binder EM, Tan LM, Chin LJ, Handl J, Richard J. Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. *Anim Feed Sci Technol*, 137, 265-282 (2007)
- Bryla M, Ksieniewicz-Wozniak E, Waskiewicz A, Szymczyk K, Jedrzejczak R. Natural occurrence of nivalenol, deoxynivalenol, and deoxynivalenol-3-glucoside in Polish winter wheat. *Toxins*, 10, 81, 1-12 (2018)
- Choi SJ, Ko SK, Park YA, Jung SJ, Choi EJ, Kim HU, Kim EJ, Hwang IS, Shin GY, Yu IS, Shin YS. Determination of mycotoxins in agricultural products used for food and medicine using liquid chromatography triple quadrupole mass spectrometry and their risk assessment. *J Food Hyg Saf*, 36, 24-33 (2021)
- European Commission (EC). European commission regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuff. *Off J Eur Union*, Rome, Italy, p 5-24 (2006)
- European Pharmacopoeia Commission. Determination of aflatoxin B₁ in herbal drugs. In: *European Pharmacopoeia 9th ed*, 2.8.18 (Vol. 1), Council of Europe, Strasbourg, France, p 289 (2016)
- Food and Agriculture Organization. Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. *FAO Food and Nutrition Paper*, Rome, Italy, 81, 3.1-3.5 (2004)
- Han Z, Ren YP, Zhu JF, Cai ZX, Chen Y, Luan LJ, Wu YJ. Multianalysis of 35 mycotoxins in traditional Chinese medicines by ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry coupled with accelerated solvent extraction. *J Agric Food Chem*, 60, 8233-8247 (2012)
- Hope R, Aldred D, Magan N. Comparison of environmental profiles for growth and deoxynivalenol production by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* on wheat grain. *Lett Appl Microbiol*, 40, 295-300 (2005)
- Ibanez-Vea M, Corcuera LA, Remiro R, Murillo-Arbizu MT, Gonzalez-Penas E, Lizarraga E. Validation of a UHPLC-FLD method for the simultaneous quantification of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in barley. *Food Chem*, 127, 351-358 (2011)
- International Agency for Research on Cancer-IARC. Evaluation of carcinogenic risks of chemical to human. In: *Some Naturally-Occurring Substances: Food Items and Constituents. Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins*. IARC Monographs, Lyon, France, 56, p 599 (1993)
- Jang MR, Lee CH, Lee HJ, Kim JY, Son SH, Shin CS, Kim SH, Kim DB. A survey of zearalenone in beans using high performance liquid chromatography-fluorescence detector (HPLC-FLD) and ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). *Korean J Food Sci Technol*, 40, 354-359 (2008)
- Japanese Pharmacopoeia Commentary Editorial Committee. *The Japanese Pharmacopoeia 17th ed*, (English Version), Analytical Methods for Aflatoxins in Crude Drug and Crude Drug Preparations. Japanese Pharmacopoeia Commentary Editorial Committee, Tokyo, Japan, p 2513-2515 (2016)
- Jeong MC, Lee SE, Nahmgung B, Chung TY, Kim DC. Changes of quality in ginger according to storage conditions. *Korean J Postharvest Sci Technol*, 5, 224-230 (1998)
- Kim DH, Jang HS, Choi GI, Kim HJ, Kim HJ, Kim HL, Cho HJ, Lee C. Occurrence of mycotoxins in Korean grains and their simultaneous analysis. *Korean J Food Sci Technol*, 45, 111-119 (2013)
- Koul A, Sumbali G. Detection of zearalenone, zearalenol and deoxynivalenol from medicinally important dried rhizomes and root tubers. *Afr J Biotechnol*, 7, 4136-4139 (2008)
- Kubra IR, Rao LJM. An impression on current developments in the technology, chemistry, and biological activities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Crit Rev Food Sci Nutr*, 52, 651-688 (2012)
- Lee HJ, Ryu D. Worldwide occurrence of mycotoxins in cereals and cereal-derived food products: Public health perspectives of their co-occurrence. *J Agric Food Chem*, 65, 7034-7051 (2017)
- Lee MJ, Wee CD, Ham H, Choi JH, Baek JS, Lim SM, Lee T, Kim JS, Jang JY. Survey on *Fusarium* mycotoxin contamination in oat, sorghum, adlay, and proso millet during the harvest season in Korea. *J Food Hyg Saf*, 35, 13-22 (2020a)
- Lee SY, Woo SY, Tian F, Song J, Michlmayr H, Kim JB, Chun HS. Occurrence of deoxynivalenol, nivalenol, and their glucosides in Korean market foods and estimation of their population exposure through food consumption.

- Toxins, 12, 89, 1-12 (2020b)
- Lee T, Lee S, Lee JH, Yun JC, Oh KS. Natural occurrence of mycotoxin and fungi Korean rice. *Res Plant Dis*, 18, 261-267 (2012)
- Lippolis V, Iurhe O, Porricelli ACR, Cortese M, Schena R, Imafidon T, Oluwadun A, Pascale M. Natural co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in ginger (*Zingiber officinale*) from Nigeria. *Food Control*, 73, 1061-1067 (2017)
- Marin S, Ramos AJ, Cano-Sancho G, Sanchis V. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food Chem Toxicol*, 60, 218-237 (2013)
- Megan N, Lacey J. The effect of temperature and pH on the water relations of field and storage fungi. *Trans Br Mycol Soc*, 82, 71-81 (1984)
- Milicevic DR, Skrinjar M, Baltic T. Real and perceived risks for mycotoxin contamination in foods and feeds: Challenges for food safety control. *Toxins*, 2, 572-592 (2010)
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Republic of Korea. Agriculture, Food and Rural Affairs Statistics Yearbook 2020, Registration No. 11-1543000-000261-10, (2020)
- Ministry of Food and Drug Safety. Guidelines on Standard Procedures for Preparing Test Methods, Including Food. Notification No. 2016-154, Chungju, Korea, p 17-18 (2016)
- Ministry of Food and Drug Safety. Standards and Specifications for General Foods, Notification No. 2018-74, Chungju, Korea, p 28-30 (2018a)
- Ministry of Food and Drug Safety, Report on Reevaluation of Mycotoxin Criteria in Food, Notification No. 11-1471000-000311-01, Chungju, Korea, p 217-248 (2018b)
- Mirocha C, Christensen C, Nelson G. Microbial toxins. In: F-2 (Zearalenone) Estrogenic Mycotoxin from *Fusarium*, 7th ed, Kadis A, Ciegler A, Aji SJ (Editor), Academic Press, New York, USA, 99, 107-138 (1971)
- Omotayo OP, Omotayo AO, Babalola OO, Mwanza M. Comparative study of aflatoxin contamination of winter and summer ginger from the north west province of South Africa. *Toxicol Rep*, 6, 489-495 (2019)
- Park JW, Yoo MS, Kuk JH, Ji YA, Lee JH. Simultaneous determination and monitoring of aflatoxin and ochratoxin A in food. *J Fd Hyg Safety*, 28, 75-82 (2013)
- Park M, Bae J, Lee DS. Antibacterial activity of [10]-gingerol and [12]-gingerol isolated from ginger rhizome against periodontal bacteria. *Phytother Res*, 22, 1446-1449 (2008)
- Pestka JJ. Deoxynivalenol: Mechanisms of action, human exposure, and toxicological relevance. *Arch Toxicol*, 84, 663-679 (2010)
- Rural Development Administration. Agricultural Technology Guide 118: Barley. Registration Number: 11-1390000-004507-14, p 41 (2018a)
- Rural Development Administration. Agricultural Technology Guide 44: Wheat. Registration Number: 11-1390000-004508-14, p 41 (2018b)
- Rural Development Administration. Cultivation of Ginger. Registration Number: 11-1390000-001535-14, p 26 (2005)
- Smith MC, Nadez S, Coton E, Hymery N. Natural co-occurrence of mycotoxins in foods and feeds and their *in vitro* combined toxicological effects. *Toxins*, 8, 94, 1-36 (2016)
- Speijers GJA, Speijers MHM. Combined toxic effects of mycotoxins. *Toxicol Lett*, 153, 91-98 (2004)
- Stoilova I, Krastanov A, Denev P, Gargova S. Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chem*, 102, 764-770 (2007)
- Tosun H, Arslan R. Determination of aflatoxin B₁ levels in organic spices and herbs. *Sci World J*, 2013, 1-4 (2013)
- Truksess MW, Weaver CM, Oles CJ, Rump LV, White KD. Use of multitoxin immunoaffinity columns for determination of aflatoxins and ochratoxin A in ginseng and ginger. *J AOAC Int*, 90, 1042-1049 (2007)
- Truksess M, Weaver C, Oles C, D'Ovidio K, Rader J. Determination of aflatoxins and ochratoxin A in ginseng and other botanical roots by immunoaffinity column cleanup and liquid chromatography with fluorescence detection. *J AOAC Int*, 89, 624-630 (2006)
- Truksess MW, Weaver CM, Oles CJ, Fry Jr FS, Noonan GO, Betz JM, Rader JI. Determination of aflatoxins B₁, B₂, G₁, and G₂ and ochratoxin A in ginseng and ginger by multitoxin immunoaffinity column cleanup and liquid chromatographic quantitation: Collaborative study. *J AOAC Int*, 91, 511-523 (2008)
- United States Pharmacopeial Convention. USP Herbal Medicines Compendium. United States Pharmacopeial

- Convention, Rockville, MD, USA (2017)
- Van der Merwe KJ, Steyn PS, Fourie L, Scott DB, Theron JJ. Ochratoxin A, a toxic metabolite produced by *Aspergillus ochraceus* Willh. *Nature*, 205, 1112-1113 (1965)
- Vesonder RF, Ellis JJ, Kwolek WF, DeMarini DJ. Production of vomitoxin on corn by *Fusarium graminearum* NRRL 5883 and *Fusarium roseum* NRRL 6101. *Appl Environ Microbiol*, 43, 967-970 (1982)
- Wawrzyniak J, Ryniecki A, Gawrysiak-Witulska M. Kinetics of mould growth in the stored barley ecosystem contaminated with *Aspergillus westerdijkiae*, *Penicillium viridicatum* and *Fusarium poae* at 23-30°C. *J Sci Food Agric*, 93, 895-901 (2013)
- Wen J, Kong W, Wang J, Yang M. Simultaneous determination of four aflatoxins and ochratoxin A in ginger and related products by HPLC with fluorescence detection after immunoaffinity column clean-up and postcolumn photochemical derivatization. *J Sep Sci*, 36, 3709-3716 (2013)
- Wen J, Kong W, Hu Y, Wang J, Yang M. Multi-mycotoxins analysis in ginger and related products by UHPLC-FLR detection and LC-MS/MS confirmation. *Food Control*, 43, 82-87 (2014)
- Wu F. Perspective: Time to face the fungal threat. *Nature*, 516, S7 (2014)
- Yang X, Gao J, Liu Q, Yang D. Co-occurrence of mycotoxins in maize and maize-derived food in China and estimation of dietary intake. *Food Addit Contam Part B Surveill*, 12, 124-134 (2019)
- Yang Y, Wen J, Kong W, Liu Q, Luo H, Wang J, Yang M. Simultaneous determination of four aflatoxins and ochratoxin A in ginger after inoculation with fungi by ultra-fast liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Sci Food Agric*, 96, 4160-4167 (2016)
- Zhang Y, Pei F, Fang Y, Li P, Xia J, Sun L, Zou Y, Shen F. Interactions among fungal community, *Fusarium* mycotoxins, and components of harvested wheat under simulated storage. *J Agric Food Chem*, 67, 8411-8418 (2019)
- Zinedine A, Brera C, Elakhdari S, Catano C, Debegnach F, Angelini S, De Santis B, Faid M, Benlemlih M, Minardi V, Miraglia M. Natural occurrence of mycotoxins in cereals and spices commercialized in Morocco. *Food Control*, 17, 868-874 (2006)