



Research Article

Analysis of sugars and mycotoxin contents in commercial fermented vinegars

국내 발효식초류의 당류 및 곰팡이독소 함량 분석

Hyun-Jeong Kim¹, Ji-Eun Kim¹, Subi Lee^{1,2}, Bae-Hwan Kim³, Sam-Pin Lee^{1,2*}

김현정¹ · 김지은¹ · 이수비^{1,2} · 김배환³ · 이삼빈^{1,2*}

¹The Center for Traditional Microorganism Resource, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

²Department of Food Science and Technology, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

³Department of Public Health, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

¹계명대학교 전통미생물자원개발 및 산업화연구센터, ²계명대학교 식품가공학 전공,

³계명대학교 공중보건학 전공

Abstract This study investigated the levels of sugars and mycotoxins in 41 commercially available fermented vinegars. The validity of the analytical methods was confirmed through evaluation of the limits of detection, limits of quantification, linearity, and recovery rates for both sugars and mycotoxins. The sugar content of the fermented vinegar products showed large differences by region. Among the sugars, glucose and fructose were high predominant. In contrast, sucrose, lactose and maltose were present in smaller amounts, while raffinose and rhamnose were not detected. Among the fermented vinegars, apple vinegar showed a total sugar content that was 5.7 times higher than brown rice vinegar and 7.1 times higher than persimmon vinegar. Regarding mycotoxins, none of the 41 fermented vinegar samples showed detectable levels of aflatoxins B₁ · B₂ · G₁ · G₂, ochratoxin A, fumonisin B₂, deoxynivalenol and zearalenone. However, fumonisin B₁ was detected at a trace level of 1.84±0.03 µg/kg in one apple vinegar sample (V15), which is significantly lower than the maximum limit specified in the Korean Food Code. Therefore, this study provides important data on the sugar and mycotoxin contents of fermented vinegar distributed commercially in Korea.

Keywords commercial fermented vinegar, sugars, mycotoxin contents



OPEN ACCESS

Citation: Kim HJ, Kim JE, Lee S, Kim BH, Lee SP. Analysis of sugars and mycotoxin contents in commercial fermented vinegars. Food Sci. Preserv., 32(6), 1156-1166 (2025)

Received: July 29, 2025

Revised: October 27, 2025

Accepted: October 28, 2025

***Corresponding author**

Sam-Pin Lee
Tel: +82-53-580-6445
E-mail: spllee@kmu.ac.kr

Copyright © 2025 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.

1. 서론

발효식품은 주로 원재료와 주변 환경에서 유래한 미생물에 의해 자연적으로 이루어져 외부 환경 조건에 따라 발효 제품의 맛, 기능성 성분 등에 영향을 주거나 곰팡이독소, 바이오제닉 아민 등과 같은 독성을 생성하여 제품의 품질에 큰 영향을 미칠 수 있다(Tak 등, 2024).

발효식품 중 발효식초는 곡류나 과일을 원료로 하여 효모에 의해 당이 알코올로 발효되고 초산균에 의해 알코올이 초산으로 전환되는 발효 공정을 통해 제조되며, 발효과정에서 생성되는 초산과 같은 유기산, 당류, 아미노산, ester 등을 함유하여 독특한 방향과 신맛을 가지는 조미식품으로 널리 사용되고 있다(Choi 등, 2018; Jeong과 Lee, 2000). 특히 발효식초 제조 시 첨가하는 원료에 따라 생성되는 초산 이외에 다양한 성분과 기능성 물질들이 노화 방지, 당노 및 동맥경화 예방, 피부 미용 개선, 체지방 감소 효과 등 다양한 생리활성이 보고되어 발효식초는 건강식품으로 소비자들의 관심도 증가하고 있다(Hwang 등, 2016; Jeong 등, 2016; Ting Xia 등, 2020). 이러한 식초에 대한 소비자의

인식이 웰빙 기능성 음료로 변화하면서 발효식초의 수요가 꾸준히 증가하여, 2021년 식초 생산량 중 발효식초가 95.8%를 차지하고 2017년에 비해 13.5% 증가하기도 하였다(FIS, 2022). 또한 식초 시장에서는 감, 사과, 레몬, 석류, 포도, 파인애플, 머루, 복분자, 오미자 등의 과일을 사용한 과실식초가 주를 이루고, 나아가 지역 특산물을 활용한 프리미엄 자연 발효식초나 유기농 원료 및 첨가물이 없는 건강한 식초에 대한 수요 증가로 인한 제품의 고급화 및 다양화되려는 경향도 증가하였다(Choi 등, 2018; Song, 2020).

이런 발효식초 소비의 증가에 관한 관심에 비해 국내에서 유통되고 있는 발효식초 제품류에 관한 당류 함량에 대한 분석은 아직도 미흡한 실정이다. 특히 세계보건기구(WHO)에서는 당류의 섭취를 1일 필요 에너지의 10% 미만으로 섭취하도록 권고하고 있으며(WHO, 2015), 우리나라에서도 총당류의 섭취를 총에너지 섭취량의 10-20%로 제한하고 있다(KNS, 2020). 이처럼 일상적으로 널리 섭취, 소비가 증가하고 있는 발효식초류에 대한 당류의 정보 제공은 국민건강 측면에서도 의의가 있다고 생각된다.

한편 곰팡이에 의해 생성되는 대사물질 중 곰팡이독소는 독성을 나타내어 인체에 위해하며 제품의 품질에도 큰 영향을 미칠 수 있다(Nan 등, 2022). 다양한 식품에서 생성되는 곰팡이독소는 주로 *Aspergillus*속, *Fusarium*속 그리고 *Penicillium*속 등에 의해 생성되는 2차 대사산물로, 환경에서 유래하거나 식품의 제조, 가공 과정 즉 발효과정에서도 생성될 수 있다(Wan 등, 2020). 우리나라에서는 곡류 중 보리와 쌀 등에서 데옥시니발레놀과 제랄레논이 가장 많이 검출되는 독소로 보고되고 있다(Kim 등, 2013; Lee 등, 2022). 그중 아플라톡신은 *Aspergillus flavus*, 오크라톡신 A는 *Aspergillus ochraceus* 등, 데옥시니발레놀과 제랄레논 등은 붉은곰팡이(*Fusarium graminearum* 종 복합체), 푸모니신은 *F. verticillioides* 등이 주요 곰팡이다(Desjardins, 2006).

대부분 곰팡이독소는 화학적으로 안정하여 분해나 제거가 매우 어렵고, 소화기 장애, 면역력 저하, 간암 유발 등 다양한 급·만성의 증독증을 일으킬 수 있어, 곰팡이독소에 대한 발생 빈도와 위해성으로 인하여 국내외에서 허용기준을 설정하여 관리하는 실정이다(Han 등, 2012; MFDS, 2022). 이에 국내에서 유통되고 있는 발효식초에 대한 곰팡이독소 중 가장 잘 알려진 아플라톡신, 오크라톡신 A, 데옥시니발레놀, 제랄레논, 푸모니신에 대해 정량분석이 필요하다.

발효식초의 곰팡이독소에 대한 연구에서 Majerus 등(2000)은 와인 식초 38개 중 19개에서 오크라톡신이 검출되고, 그중 발사믹 식초에서 오크라톡신이 가장 높게 검출되며, Markaki 등(2001)도 식초 시료 15개에서 오크라톡신이 함유되고 그중 발사믹 식초 3개에서 오크라톡신이 가장 높다고 보고하였다. 또한 포도 식초에서 아플라톡신 함량이 검출되고, 특히 식초의

제조 중 알코올발효 및 초산발효 과정이 아플라톡신 함량 감소에 관여한다고 보고되었다(Heshmati 등, 2021; Kumar 등, 2017). 최근에는 가내 수제 식초에서 파툴린과 오크라톡신 함량이 높게 검출되고(Dilek 등, 2023), 호기성 조건에서 수제 식초를 생산하는 방법으로 인해 곰팡이독소 생성이 일어난다고 알려지기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 발효과정에서 생성될 수 있는 발효 대사체 중에서 맛이나 위해 물질의 변화를 검토하고자, 국내에서 유통되고 있는 발효식초류 41종 즉 사과식초 15종, 감식초 11종 및 현미식초 15종에 대해 7종의 당류 및 9종의 곰팡이독소를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에 사용된 시료는 국립농업과학원에서 5대 권역별(강원도 5종, 서울/경기도 2종, 경상도/제주 13종, 전라도 10종, 충청도 11종)로 유통되고 있는 발효식초류를 2023년 4월 수거하여 제공하였다. 발효식초류는 총 41종으로 사과식초류 15종, 감식초류 11종, 현미식초류 15종으로 각 3병씩 공급받았으며, 분석할 때까지 냉장 보관하면서 사용하였다.

당류 표준품인 과당(fructose), 포도당(glucose), 서당(sucrose), 맥아당(maltose), 유당(lactose), 라피노스(raffinose) 및 람노스(rhamnose)는 Sigma Aldrich사(St. Louis, MO, USA) 제품을 사용하였고, 곰팡이독소 표준품 중 아플라톡신 Mix(aflatoxin Mix) 및 푸모니신 Mix(fumonisin Mix)는 Supelco사(Bellefonte, PA, USA) 제품, 제랄레논(zeralenone), 데옥시니발레놀(deoxynivalenol) 및 오크라톡신 A(ochratoxin A)는 Sigma Aldrich사 제품을 사용하였다. 그 외 전계 용매 등으로 기기분석에 사용한 시약인 acetonitrile(ACN), methanol 등은 HPLC 급 이상의 특급 시약을 사용하였고, 시료 추출에 사용된 용매는 normal-grade 시약을 사용하였다. 시료를 여과하기 위해 0.45 μm 멤브레인 필터(MF-Millipore, Sigma Aldrich)를 사용하였으며, 실린지 필터는 0.2 μm 의 13 mm 실린지 디스크 필터(Minisart RC, Sartorius Minisart RC, Göttingen, Germany)를 사용하였고, 분석물질 정제용 칼럼은 Isolute Myco(60 mg/3 mL, Biotage, Cardiff, UK)를 사용하였다.

2.2. 유효성 검증

당류 및 곰팡이독소의 각 표준용액을 5단계 농도로 조제하여 검량선을 작성하였으며, 그리고 당류 및 곰팡이독소가 검출되지 않은 식초를 이용하여 시료 전처리방법에 따라 시험용액을 만든 후 검량선 작성에 필요한 최저농도의 2배를 첨가한 후, 7회 분석하여 얻어진 표준편차와 기울기를 바탕으로 검출한계

와 정량한계를 구하고 회수율을 산출하였다. 이때 검출한계 (limit of detection, LOD)와 정량한계(limit of quantitation, LOQ)는 실험에서 얻어진 chromatogram으로부터 각 분석물질 주변 peak의 신호/잡음(signal/noise, S/N)의 비율이 3.3에 해당하는 각각의 농도를 검출한계로 하였으며, S/N비 10에 해당하는 각각의 농도를 정량한계로 계산하였다(ICH Steering Committee, 2005).

2.3. 당류 분석

당류 함량은 식품공전 중 기기분석법에 의한 당류의 정량(MFDS, 2021b)에 따라 분석하였다. 먼저 시료 5 g을 정밀히 달아 증류수 25 mL를 가하여 85°C 수조에서 25분간 가온하여 당류를 추출한 다음, 냉각하여 0.45 µm 멤브레인 필터로 여과하여 시험용액으로 사용하였고, 당류 분석은 RI 검출기가 부착된 HPLC(Waters, Miliford, MA, USA)로 분석하였다. Column으로 Luna® Omega 3 µm SUGAR 100 Å(4.6×250 mm, Phenomenex, Inc., Torrance, CA, USA)을 장착하여 온도를 35°C로 설정하고, 이동상(75% ACN)은 0.8 mL/min의 유속으로 흘려주고 시험용액 20 µL를 주입하였다. 또한 당류 분석을 위하여 먼저 7종 당류(과당, 포도당, 서당, 맥아당, 유당, 라피노스 및 람노스) 표준품의 표준원액(100 mg/mL)을 각각 제조한 후, 혼합하여 증류수로 희석하고, 적정 농도별로 제조하여 당류의 표준품으로 사용하였다. 그리고 모든 시료는 3회 반복 분석하였다.

2.4. 곰팡이독소 분석

곰팡이독소 중 테옥시니발레놀은 식품공전에 따라 분석하였다(MFDS, 2021b). 시료 20 g에 증류수 100 mL를 가하고 5분간 균질화한 후 원심분리(10,000 ×g, 20분)하고 상등액을 여과, 정제하여 아세트니트릴 3 mL로 용출시킨 다음 50°C에서 질소로 건조하였다. 건조물에 이동상 1 mL를 가하여 녹인 후 0.45 µm 멤브레인 필터로 여과하여 HPLC로 분석하였다. 즉 UV 220 nm에서 column으로 C₁₈(Capcell pack C18, UG120, 4.6 mm×250 mm, 5 µm, Osaka soda, Japan)을 사용하여, 이동상 (ACN: Water=17:83, v/v)을 1.0 mL/min 유속으로 흘려주었으며 준비된 시험액 50 µL를 주입하여 분석하였다. 이때 테옥시니발레놀은 이동상으로 용해한 후 적정 농도로 희석하여 검량선을 작성하였다.

그 외 곰팡이독소는 식품공전 중 아플라톡신(B₁, B₂, G₁, G₂), 오크라톡신 A, 제랄레논, 푸모니신(B₁, B₂) 동시분석법(MFDS, 2021b)으로 시료를 전처리하여 LC-MS/MS로 분석하였다. 즉 균질화한 시료 2-5 g에 추출용액 20 mL를 가하고, 30분간 추출한 후 3,700 ×g에서 10분간 원심분리하고, 상등액을 여과, 정제하여 0.1% 개미산을 함유한 아세트니트릴 용액 2 mL, 메탄올 4 mL로 용출시킨 후 50°C에서 질소로 건조하였다. 이 건

고물에 0.1% 개미산을 함유한 50% 메탄올 용액 1 mL가 되도록 용해시킨 후 여과하여 LC-MS/MS(High Performance Liquid Chromatography Mass Spectrometry, ultra100-triple QUAD 4500, AB-Sciex Instruments, Framingham, MA, USA)로 동시 분석하였다. 이때 분석조건은 Table 1과 같고, 이 곰팡이독소 표준품은 메탄올 또는 아세트니트릴로 용해한 다음, 0.1% 개미산을 함유한 50% 메탄올 용액으로 각각 0.05-10 µg/mL로 조제하여 적당한 농도로 희석하여 검량선을 작성하였다. 또한 모든 시료의 곰팡이독소도 3회 반복 분석하였다.

2.5. 통계처리

실험 결과는 Statistical Package for the Social Science (SPSS, Version 25.0, SPSS Inc., IBM, Armonk, NY, USA)를

Table 1. Analytical conditions of LC-MS/MS for the determination of aflatoxins, ochratoxin A, zeralnenone and fumonisins

Instrument		Condition			
HPLC	Column	C ₁₈ (Capcell core C18, 2.1×150 mm, 1.7 µm, Osaka soda)			
	Column temperature	40°C			
	Mobile phase	A: 5 mM ammonium formate, 0.1% formic acid in distilled water			
		B: 5 mM ammonium formate, 0.1% formic acid in methanol			
		Gradient			
		Min	Flow rate	A (%)	B (%)
		0-0.5	0.4	95	5
		2	0.4	60	40
		9-11.5	0.4	0	100
		12-50	0.7	0	100
Flow rate		0.4 mL/min			
Injection volume		20 µL			
MS/MS	Ionization	ESI Positive, Negative mode			
	Ion spray voltage	4,500			
	Ion source temperature	500°C			
	Collision energy (V)	9-30			
	Ion source gas 1	50			
	Ion source gas 2	50			
	Gas	N ₂			

이용하여 평균과 표준편차(mean±SD)를 구하였으며, 각 집단 간 평균치 차이를 검정하기 위하여 one way-ANOVA 및 Duncan's multiple range test를 적용하였다. 통계적 유의차는 $p < 0.05$ 의 수준에서 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 당류 및 곰팡이독소 분석을 위한 유효성 검증

당류와 곰팡이독소의 유효성 검증은 Table 2와 같이, 검출한계, 정량한계, 직선성 및 회수율로 확인하였다. 먼저 당류 7종인 과당, 포도당, 서당, 맥아당, 유당, 라피노스 및 람노스에 대한 LOD 및 LOQ는 각각 0.035-0.087 g/100 g 및 0.107-0.264 g/100 g으로 나타났으며, 이들 당류 검량선의 결정계수(R^2)는 0.9995 이상으로 아주 양호한 직선성을 나타내었고, 97.7-102.1%의 회수율을 나타내었다.

그리고 곰팡이독소 9종인 아플라톡신(B_1 , B_2 , G_1 , G_2), 오크라톡신 A, 제랄레논, 푸모니신(B_1 , B_2) 및 데옥시니발레놀에 대한 LOD 및 LOQ는 각각 0.045-0.173 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 및 0.136-0.523 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 나타났으며, 이들 곰팡이독소의 각 검량선의 결정계수(R^2)는 0.9987 이상의 직선성을 나타내었고, 99.7-104.1%의 양호한 회수율을 나타냄을 확인하였다. 당류 중 과당, 포도당,

서당 및 유당에 대한 LOD는 0.001-0.016 g/100 g, LOQ는 0.001-0.017 g/100 g이고, 회수율은 95.6-102.3%라는 보고(Won 등, 2016)보다 이들 당류에 대한 검출한계 및 정량한계의 범위는 높고 회수율 범위는 유사하였다. 반면 곰팡이독소 중 아플라톡신 B_1 , B_2 , G_1 , G_2 , 오크라톡신 A, 푸모니신 B_1 , B_2 , 제랄레논 및 데옥시니발레놀에 대한 LOD는 0.1-3.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, LOQ는 0.3-10.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 회수율은 70.45-111.11%라는 보고(Kim 등, 2013)보다 검출한계 및 정량한계의 범위가 낮고 회수율 범위가 더 양호하였다.

3.2. 발효식초류의 당류 함량

일반적으로 식품에서 당류의 함량은 총당류를 의미하며, 식품에 천연으로 내재하거나 가공할 때 첨가하는 당류를 모두 합한 값으로 단당류인 과당, 포도당과 이당류인 서당, 맥아당, 유당을 포함한다(WHO and FAO, 1998). 이에 발효식초류의 당류 분석은 이들 5종의 당을 기본으로 라피노스 및 람노스를 추가한 총 7종을 분석하였다.

먼저 시판되고 있는 발효식초류를 5대 권역별 즉 강원도, 서울/경기도, 경상도/제주, 전라도 및 충청도 지역으로 구분하여 천연과실 및 곡류를 원료로 알코올발효와 초산발효로 제조된 총 41종을 선정하였고, 이들 발효식초는 15종의 사과식초, 11

Table 2. Analytical method validation for sugars and mycotoxins

Compound		LOD ¹⁾	LOQ ²⁾	Linearity (R^2)	Recovery (mean±SD, %)
Sugar (g/100g)	Fructose	0.067	0.202	0.9999	101.3±0.2
	Glucose	0.066	0.201	0.9998	101.4±0.4
	Sucrose	0.087	0.264	0.9998	99.7±1.1
	Lactose	0.055	0.166	0.9999	100.2±0.4
	Maltose	0.041	0.123	0.9995	99.9±0.9
	Raffinose	0.043	0.129	0.9998	97.7±0.8
	Rhamnose	0.035	0.107	0.9998	102.1±0.3
	Mycotoxin ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Aflatoxin B_1	0.050	0.151	0.9996
Aflatoxin B_2		0.045	0.136	0.9999	99.7±1.0
Aflatoxin G_1		0.084	0.256	0.9987	102.8±1.1
Aflatoxin G_2		0.056	0.170	0.9988	104.1±1.6
Ochratoxin A		0.127	0.385	0.9997	101.1±2.8
Zeranolone		0.173	0.523	0.9998	100.5±2.2
Fumonisin B_1		0.101	0.307	0.9998	101.5±1.2
Fumonisin B_2		0.123	0.372	0.9997	101.6±1.9
Deoxynivalenol		0.151	0.459	0.9999	101.2±2.7

¹⁾LOD, limit of detection.

²⁾LOQ, limit of quantitation.

종의 감식초 및 15종의 현미식초로 구분하여 분석하였다.

그 결과 Table 3과 같이, 권역별에 따른 발효식초 내 당류 함량의 차이는 강원(KW)지역을 제외하고 크게 나타났다. 발효식초 중 사과식초 15종의 당 함량 평균값은 3.86 ± 1.10 g/100 g, 현미식초 15종의 당 함량 평균값은 0.67 ± 0.23 g/100 g, 감식초 11종의 당 함량 평균값은 0.54 ± 0.14 g/100 g으로 나타났다. 이처럼 국내 5개 권역에서 생산되는 사과식초, 현미식초 및 감식초 중에서 사과식초가 가장 높은 당 함량을 나타내었고, 특히 사과식초는 현미식초보다 5.7배, 감식초보다는 7.1배 이상의 높은 당 함량을 나타내었다. 이는 식초 제조 시 첨가한 원료에 따른 당 함량의 차이로 생각되었다.

발효식초별 당 함량을 비교해보면, 사과식초 15종 중 1종을 제외한 14종에서 당이 검출되었으며, 이 중 3종인 시료(V6) 12.41 g/100 g, 시료(V4) 13.35 g/100 g, 시료(V12) 16.20 g/100 g으로 높은 당 함량을 나타내었다. 사과식초에서는 당류 중 과당 2.07 ± 0.04 g/100 g 및 포도당 1.75 ± 0.03 g/100 g으로 높게 나타났고, 서당 및 맥아당은 $0.00-0.04$ g/100 g으로 소량 함유되었으며, 유당, 라피노스 및 램노스는 전혀 검출되지 않았다.

또한 사과식초류 15종 중 2종에서 과당이 검출되지 않았으나, 13종에서는 과당이 $0.11-7.13$ g/100 g 수준으로 함유되었으며, 7종에서 포도당이 $0.28-9.07$ g/100 g 함유되었으며, 그 외 8종에서는 포도당이 불검출되었다. 사과식초류에서 서당은 3종에서만 $0.03-0.31$ g/100 g을 보였으며, 맥아당은 1종에서 0.04 ± 0.00 g/100 g 검출되었다. 특히 15종 사과식초류에서 이당류인 유당과 삼탄당인 라피노스 및 단당류인 램노스는 전혀 검출되지 않았다. 따라서 사과식초류는 다른 식초류에 비해 과당 및 포도당이 가장 많이 존재하여 높은 감미를 나타내고, 사과식초 제품에 따라 과당과 포도당의 함량 차이가 크게 나타났다.

반면 감식초 11종 중 7종 감식초에서 라피노스와 램노스를 제외한 5종의 당류가 검출되었으며, 이중 시료(V22)가 2.30 g/100 g으로 가장 높은 당 함량을 나타내었다. 감식초류 중 포도당은 6종에서는 불검출이었고, 5종에서만 검출되었으며 평균 0.28 ± 0.01 g/100 g 함량이 검출되었다. 또한 과당은 7종에서만 검출되었고 평균 0.24 ± 0.01 g/100 g이 함유되었으며 자당은 2종에서 그리고 맥아당과 유당은 각 1종 제품에서 0.01 ± 0.00 g/100 g 이내로 아주 미량이 검출되었다. 반면에 라피노스 및 램노스는 감식초 11종 모두 검출되지 않았다. 즉 감식초 내 포도당과 과당이 가장 많이 함유되고 서당도 소량 함유됨을 알 수 있었다. 시판 과일식초에서는 과당, 포도당이 가장 높게 함유되었다는(Kim 등, 2013) 보고와 유사한 경향으로 감식초에서도 과당, 포도당이 가장 높게 함유되었으나, 사과식초에 비해 과당 및 포도당 함량이 9-12배 정도 낮게 함유되어 약간 낮은 감미를 나타냄을 알 수 있었다.

한편 현미식초 15종 중 3종을 제외한 12종에서 당이 검출되었으며, 이중 시료(V31)가 4.09 g/100 g으로서 가장 높은 당 함

량을 보였다. 현미식초 내 평균 포도당은 0.55 ± 0.00 g/100 g, 과당은 0.09 ± 0.00 g/100 g, 서당은 0.02 ± 0.00 g/100 g, 유당 및 맥아당은 0.01 ± 0.00 g/100 g으로 나타났으나, 라피노스 및 램노스는 검출되지 않았다. 즉 현미식초는 포도당이 가장 많이 함유되었으나, 사과식초보다는 적게, 감식초보다는 많게 존재하였다. 또한 현미식초류 15종 중 10종에서 포도당이 $0.05-3.91$ g/100 g으로 함량에 큰 차이를 보였고, 현미식초 4종에서 서당이 $0.02-0.11$ g/100 g으로 나타났으며, 현미식초 3종에서 과당이 $0.05-0.70$ g/100 g을 보였다. 그리고 2종에서 맥아당 및 유당이 미량 검출되었다. 즉 사과식초 및 감식초와 다르게 현미식초에서는 포도당이 가장 많은 제품에서 검출되고 가장 높게 함유되었다. 이는 과일에 다량 존재하는 과당 및 포도당으로 인해 사과식초 및 감식초에서 이들 성분이 가장 많았으나(Pinu 등, 2016), 현미식초에서는 포도당이 가장 많이 함유됨을 알 수 있었다. 이러한 당 함량의 차이는 식초 제조 시에 첨가한 주된 원료인 현미로 인해 분해 산물로서 포도당이 많고, 발효가 진행되면서 당 함량에서 차이를 나타낼 수 있다는 보고(Na 등, 2013)와 유사한 경향으로 생각되었다. 그리고 감식초 1종 및 현미식초 2종에서 유당이 $0.05-0.13$ g/100 g으로 아주 미량이 검출되었다. 일반적으로 식초의 최종 제품에는 유당이 거의 함유되지 않거나 보고되지 않았는데, 이는 발효식초에 대한 당류 분석이 주로 포도당, 과당, 서당 및 맥아당에 대한 분석으로 이루어져 유당 함량에 대한 자료가 부족한 실정에 기인한다. 또한 발효식초류 제품에 대한 지역별 식초 제조과정에서의 원료 혼합이나 식초의 발효 숙성 중의 혼합 가능성에 관한 확인이 필요하다고 사료된다.

한편 램노스는 단당류로 주로 과일이나 다른 식물성 물질에 함유되어 감식초, 수수식초에서 미량 검출되기도 하고(Kim 등, 2016; Li 등, 2014), 라피노스는 갈락토스, 포도당, 과당으로 구성된 삼탄당으로 콩, 배추, 브로콜리 등의 채소류와 곡류에서 주로 발견되며, 현미식초에서 미량 검출되었다고 보고(Kim 등, 2009)되었으나, 발효식초류 41종에서는 라피노스 및 램노스가 모두 불검출되어 이들 보고와는 차이를 나타내었다. 또한 사과식초 1종과 감식초 4종 및 현미식초 3종에서는 7종의 당류가 모두 검출되지 않았는데, 이는 식초 제조 시 발효성 당이 모두 이용되었다고 판단되며, 필요시에 대체당이 첨가되었거나 당류 분석에 사용된 7당 이외의 다른 당류가 존재하여 식초의 맛에는 영향을 주었으나 분석과정에서는 검출되지 않은 것으로 생각되었다(Cho 등, 2024).

따라서 발효식초류의 당 함량은 권역별에 따른 차이가 크게 나타났으며, 발효식초류 41종에서 8종을 제외한 식초에서 당이 존재하였고, 사과식초, 현미식초 및 감식초 순으로 당 함량이 높음을 알 수 있었다.

3.3. 발효식초류의 곰팡이독소 함량

발효식초류 41종에 대한 곰팡이독소 9종(아플라톡신 B₁, B₂,

Table 3. Sugar contents in commercial fermented vinegars (unit: g/100 g)

Samples			Content (RSD %)							
Type (n)	No	Region ¹⁾	Total sugar	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Lactose	Raffinose	Rhamnose
Apple vinegar (15)	V1	GW	0.18±0.00 ^c	0.18±0.00 ^{2)cd3)} (0.5)	ND ⁴⁾	ND	ND	ND	ND	ND
	V2		0.26±0.00 ^f	0.26±0.00 ^{ef} (1.2)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V3		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V4	SG	13.35±0.24 ^v	6.23±0.17 ^p (2.7)	6.86±0.07 ^o (1.1)	0.26±0.01 ^h (1.8)	ND	ND	ND	ND
	V5	GS	1.35±0.02 ⁿ	1.06±0.02 ^k (1.7)	0.28±0.01 ^{cd} (1.8)	ND	ND	ND	ND	ND
	V6		12.41±0.19 ^u	6.76±0.03 ^q (0.4)	5.65±0.16 ⁿ (2.8)	ND	ND	ND	ND	ND
	V7		0.51±0.01 ^j	0.51±0.01 ^h (1.0)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V8		4.36±0.09 ^t	2.39±0.05 ^o (2.2)	1.66±0.03 ^l (2.0)	0.31±0.00 ⁱ (1.0)	ND	ND	ND	ND
	V9	JL	1.39±0.05 ⁿ	1.39±0.05 ⁿ (3.3)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V10		0.11±0.00 ^d	0.11±0.00 ^b (2.4)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V11		2.95±0.07 ^s	1.40±0.05 ⁿ (3.5)	1.55±0.02 ^k (1.3)	ND	ND	ND	ND	ND
	V12	CC	16.20±0.18 ^w	7.13±0.09 ^r (1.2)	9.07±0.09 ^p (1.0)	ND	ND	ND	ND	ND
	V13		2.43±0.06 ^f	1.26±0.05 ^m (3.6)	1.18±0.02 ^j (1.6)	ND	ND	ND	ND	ND
	V14		2.40±0.04 ^f	2.40±0.04 ^o (1.4)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V15		0.07±0.00 ^{bc}	ND	ND	0.03±0.00 ^d (3.4)	0.04±0.00 ^c (1.6)	ND	ND	ND
Total average			3.86±1.10	2.07±0.04	1.75±0.03	0.04±0.00	0.00±0.00	ND	ND	ND
Persimmon vinegar (11)	V16	GS	0.12±0.00 ^d	0.12±0.00 ^{bc} (0.9)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V17		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V18		1.07±0.04 ^m	0.34±0.01 ^g (2.2)	0.67±0.03 ^f (4.2)	ND	ND	0.05±0.00 ^b (5.5)	ND	ND
	V19		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V20	JL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V21		0.31±0.00 ^h	0.31±0.00 ^{fg} (0.5)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V22		2.30±0.10 ^q	1.18±0.04 ⁱ (3.1)	0.98±0.06 ^h (6.5)	0.14±0.00 ^g (0.7)	ND	ND	ND	ND
	V23		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(continued)

Samples			Content (RSD %)							
Type (n)	No	Region ¹⁾	Total sugar	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Lactose	Raffinose	Rhamnose
Persimmon vinegar (11)	V24	CC	1.58±0.04 ^o	0.31±0.00 ^{fg} (0.8)	1.26±0.03 ^j (2.6)	0.01±0.00 ^b (7.1)	ND	ND	ND	ND
	V25		0.26±0.02 ^{fg}	0.13±0.01 ^{bc} (9.2)	0.08±0.01 ^b (7.6)	ND	0.06±0.00 ^d (0.0)	ND	ND	ND
	V26		0.28±0.01 ^g	0.21±0.00 ^{dc} (1.8)	0.07±0.00 ^b (5.8)	ND	ND	ND	ND	ND
	Total average			0.54±0.14	0.24±0.01	0.28±0.01	0.01±0.00	0.01±0.00	0.00±0.00	ND
Brown rice vinegar (15)	V27	GW	0.13±0.00 ^d	ND	0.05±0.00 ^{ab} (1.9)	ND	0.07±0.00 ^c (2.9)	ND	ND	ND
	V28		0.33±0.01 ⁱ	ND	0.24±0.01 ^c (3.2)	0.09±0.00 ^c (0.6)	ND	ND	ND	ND
	V29	SG	0.11±0.00 ^d	ND	ND	0.11±0.00 ^f (2.2)	ND	ND	ND	ND
	V30	GS	2.20±0.04 ^p	0.60±0.03 ⁱ (4.8)	1.54±0.00 ^k (0.3)	ND	ND	0.06±0.00 ^c (6.4)	ND	ND
	V31	GS	4.09±0.02 ^z	0.05±0.00 ^a (2.4)	3.91±0.01 ^m (0.4)	ND	ND	0.13±0.00 ^d (1.6)	ND	ND
	V32		0.61±0.01 ^k	ND	0.61±0.01 ^c (1.0)	ND	ND	ND	ND	ND
	V33		0.03±0.00 ^a	ND	ND	0.03±0.00 ^d (5.4)	ND	ND	ND	ND
	V34		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V35	JL	1.55±0.02 ^o	0.70±0.01 ^j (1.5)	0.85±0.01 ^g (0.8)	ND	ND	ND	ND	ND
	V36		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V37		0.31±0.01 ^h	ND	0.31±0.01 ^d (1.5)	ND	ND	ND	ND	ND
	V38	CC	0.07±0.00 ^c	ND	0.05±0.00 ^{ab} (3.4)	ND	0.02±0.00 ^b (6.3)	ND	ND	ND
	V39		0.64±0.01 ^l	ND	0.62±0.01 ^{ef} (1.9)	0.02±0.00 ^c (3.1)	ND	ND	ND	ND
	V40		0.06±0.00 ^b	ND	0.06±0.00 ^{ab} (2.1)	ND	ND	ND	ND	ND
	V41		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total average			0.67±0.23	0.09±0.00	0.55±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	ND	ND

¹⁾GW, Gangwondo; SG, Seoul/Gyeonggido; GS, Gyeongsangdo/Jeju; JL, Jeollado; CC, Chungcheongdo.

²⁾All values are mean±SD (n=3).

³⁾Means with different superscript letters (^{a-w}) in the same column are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ND, not detected.

G₁, G₂), 오크라톡신 A, 푸모니신 B₁, B₂, 테옥시니발레놀, 제랄레논)의 분석 결과는 Table 4와 같다. 권역별로 생산된 사과식초류 15종에서는 아플라톡신 B₁, B₂, G₁ 및 G₂, 오크라톡신 A,

푸모니신 B₂, 테옥시니발레놀, 제랄레논을 포함한 8종의 곰팡이독소는 전혀 검출되지 않았으나, 사과식초 1종(V15)에서 푸모니신 B₁이 1.84±0.03 µg/kg 검출되었다. 과일 중에서 오렌

Table 4. Mycotoxin contents in commercial fermented vinegars (unit: $\mu\text{g}/\text{kg}$)

Type (n)	No	Region ¹⁾	Content (RSD, %)					
			Aflatoxin B ₁ · B ₂ · G ₁ · G ₂	Ochratoxin A	Fumonisin B ₁	Fumonisin B ₂	Deoxynivalenol	Zeranolone
Apple vinegar (15)	V1	GW	ND ²⁾	ND	ND	ND	ND	ND
	V2		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V3		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V4	SG	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V5	GS	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V6		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V7		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V8		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V9	JL	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V10		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V11		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V12	CC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V13		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V14		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V15		ND	ND	1.84±0.03 (1.6) ³⁾	ND	ND	ND
Persimmon vinegar (11)	V16	GS	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V17		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V18		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V19		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V20	JL	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V21		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V22		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V23		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V24	CC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V25		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V26		ND	ND	ND	ND	ND	ND
Brown rice vinegar (15)	V27	GW	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V28		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V29	SG	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V30	GS	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V31		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V32		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V33		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V34		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V35	JL	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V36		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V37		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V38	CC	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V39		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V40		ND	ND	ND	ND	ND	ND
	V41		ND	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾GW, Gangwondo; SG, Seoul/Gyeonggi-do; GS, Gyeongsang-do/Jeju; JL, Jeollado; CC, Chungcheong-do.

²⁾ND, not detected.

³⁾All values are mean±SD (n=3).

지, 사과, 사과주스에서 곰팡이독소인 아플라톡신 오염이 보고 되었으나(Fernández-Cruz 등, 2010), 15종의 사과식초에서는 아플라톡신은 검출되지 않았고, 오크라톡신 A, 데옥시니발레놀 및 제랄레논 함량도 전혀 검출되지 않았다. 그러나 사과와 사과로 만든 제품은 파툴린 또는 소량의 아플라톡신 B₁ 및 푸모니신에 오염될 수 있다는 보고(Carbonell-Rozas 등, 2024)와 유사하게, 사과식초에서 푸모니신 B₁이 미량 검출되었다. 푸모니신은 다양한 가공식품과 그 가공품을 오염시키며 전 세계 식품 오염의 70%를 차지하는 곰팡이독소로(Chen 등, 2021), 우리나라 식품공전에 의하면 옥수수 및 수수를 단순 처리한 것이 50% 이상 함유된 곡류가공품의 경우 푸모니신 기준(B₁, B₂의 합으로서)을 1 mg/kg 이하로 규정되어 관리하고 있다(MFDS, 2021a). 따라서 사과식초에서 검출된 푸모니신 B₁의 함량은 식품공전의 기준 보다 아주 미량임을 알 수 있었다.

그리고 감식초 11종 및 현미식초 15종에서는 곰팡이독소 9종이 전혀 검출되지 않았다. 이처럼 국내에서 생산된 41종의 발효식초는 이들 곰팡이독소가 거의 검출되지 않은 안전한 발효 제품임을 알 수 있었다.

따라서 본 연구는 5개 권역별로 구분하여 국내에서 유통되고 있는 41종의 발효식초류인 사과식초, 감식초 및 현미식초에 대한 7종의 당류 및 9종의 곰팡이독소 함량에 대한 정보 제공이라는 측면으로서 의의가 있으며, 나아가 발효과정에서 생성될 수 있는 발효 대사체로서 맛이나 위해 물질의 변화에 대한 정보 제공으로서 의의가 있다고 판단된다.

4. 요약

본 연구에서는 41종 시판 발효식초류인 사과식초 15종, 감식초 11종 및 현미식초 15종에 대해 당류 및 곰팡이독소 함량을 분석하였다. 당류와 곰팡이독소 중 데옥시니발레놀은 HPLC로 분석하며 그 외 곰팡이독소는 LC-MS/MS로 분석하였다. 당류와 곰팡이독소 분석은 검출한계, 정량한계, 직선성 및 회수율로 유효성을 검증하였다. 발효식초류의 당 함량은 권역별에 따른 큰 차이를 보였으며, 발효식초류 41종 중 8종을 제외한 식초에서 당이 존재하였고, 그중 포도당 및 과당이 주된 당이었으며, 자당, 유당, 맥아당 순으로 적은 양이 존재하였으나 라피노스와 람노스는 전혀 검출되지 않았다. 또한 발효식초 중 사과식초 3.86%, 현미식초 0.67% 및 감식초 0.54% 순으로 높은 당 함량을 보였으며, 사과식초의 경우 현미식초보다 5.7배, 감식초보다 7.1배 이상의 높은 총당 함량을 나타내었다. 특히 사과식초(V12)는 16.20%로 가장 높은 총당 함량을 보이고 현미식초(V31)와 감식초(V22)에서는 각각 4.09%와 2.30%의 가장 높은 총당 함량을 보였고, 사과식초와 감식초는 포도당과 과당이 많이 함유되었으나 현미식초는 포도당이 가장 많이 함유되었다. 반면 41종의 발효식초류 내 곰팡이독소인 아플라톡신 B₁,

B₂, G₁ 및 G₂, 오크라톡신 A, 푸모니신 B₂, 데옥시니발레놀, 제랄레논은 전혀 검출되지 않았으나, 사과식초 1종(V15)에서 푸모니신 B₁이 1.84±0.03 µg/kg으로 미량 검출되었으나 우리나라 식품공전의 기준보다 아주 미량임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구는 국내에서 유통되는 발효식초류에 대한 당류 및 곰팡이독소 함량에 대한 정보 제공 및 발효과정에서 생성되는 발효 대사체로서 맛이나 위해물질의 변화에 대한 정보 제공으로서 의의도 가진다고 하겠다.

Funding

This study was carried out with the support of “Project no. PJ01600603” from the Rural Development Administration.

Acknowledgements

None.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kim HJ, Lee SP. Methodology: Kim HJ, Lee S. Formal analysis: Lee S. Validation: Lee S, Kim BH. Writing - original draft: Kim HJ, Kim JE. Writing - review & editing: Kim HJ, Kim BH, Lee SP.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Hyun-Jeong Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-1609-3956>

Ji-Eun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5916-5518>

Subi Lee

<https://orcid.org/0000-0002-1643-3957>

Bae-Hwan Kim

<https://orcid.org/0000-0002-5898-0748>

Sam-Pin Lee (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-9413-2482>

References

Carbonell-Rozas L, Albasi V, Camardo Leggieri M, Dall’Asta C, Battilani P. Apple mycotoxins: From orchard to

- processed apple puree. *Fungal Biol*, 128, 2422-2430 (2024)
- Chen J, Wei Z, Wang Y, Long M, Wu W, Kuca K. Fumonisin B1: Mechanisms of toxicity and biological detoxification progress in animals. *Food Chem Toxicol*, 149, 111977 (2021)
- Cho YS, Jeong JA, Kwon HJ, Kim HT, Lee JY, Lim HW, Lee EB, Kim HJ, Lee WJ, Lee MJ. Monitoring of sugar and low-calorie sweetener content in alcoholic beverages. *J Food Hyg Saf*, 39, 281-287 (2024)
- Choi CY, Park EH, Ryu SJ, Shin WC, Kim MD. Metabolome analysis and aroma characteristics of fermented fruit vinegar. *Microbiol Biotechnol Lett*, 46, 416-424 (2018)
- Desjardins AE. *Fusarium* Mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology. APS Press, St. Paul, MN, USA, p 260 (2006)
- FAO/WHO. Carbohydrates in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO Expert Consultation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p 1-140 (1998)
- Fernández-Cruz ML, Mansilla ML, Tadeo JL. Mycotoxins in fruits and their processed products: Analysis, occurrence and health implications. *J Adv Res*, 1, 113-122 (2010)
- FIS. Vinegar 2022 Processed Food Segment Market Status. Report of Food Information Statistics System, Registration No. 11-154300-004225-01 (2022)
- 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)
- Heshmati A, Nili-Ahmadabadi FMA, Khaneghah AM. Changes in aflatoxin content during the processing of vinegar obtained from grape. *Avicenna J Environ Health Eng*, 8, 17-21 (2021)
- Hwang JY, Cho HY, Pyo YH. Effect of unpolished rice vinegar containing *Monascus*-fermented soybean on inhibitory activities of tyrosinase and elastase. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 45, 149-154 (2016)
- ICH Steering Committee. ICH Harmonised Tripartite Guideline-Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2(R1), Minneapolis, MN, USA, p 11-12 (2005)
- Jeong EJ, Park HJ, Cha YJ. Fermented production of onion vinegar and its biological activities. *Korean J Food Nutr*, 29, 962-970 (2016)
- Jeong YJ, Lee MH. A view and prospect of vinegar using Kyungpook special products (persimmon, apple, and vinegar). *Food Ind Nutr*, 5, 53-59 (2000)
- Kim DH, Jang HS, Choi GI, Kim HJ, Kim HJ, Kim HL. Occurrence of mycotoxins in Korean grains and their simultaneous analysis. *Korean J Food Sci Technol*, 45, 111-119 (2013)
- Kim GR, Yoon SR, Lee JH, Yeo SH, Kim TY, Jeong YJ, Yoon KY, Kwon JH. Quality comparison of commercial brown rice vinegar fermented with and without ethanol. *Korean J Food Preserv*, 16, 893-899 (2009)
- Kim H, Hong HD, Suh HJ, Shin KS. Structural and immunological feature of rhamnogalacturonan I-rich polysaccharide from Korean persimmon vinegar. *Int J Biol Macromol*, 89, 319-327 (2016)
- Kim KO, Kim SM, Kim SM, Kim DY, Jo DJ, Yeo SH, Jeong YJ, Kwon JH. Physicochemical properties of commercial fruit vinegars with different fermentation methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 42, 736-742 (2013)
- KNS. The Korean Nutrition Society. 2020 Dietary Reference Intakes for Koreans (KDRIs): Energy and Macronutrients, Registration No. 11-1352000-002852-01 (2020)
- Kumar S, Kocher GS, Bakshi DK. Fermentative production of vinegar from grapes and guava using adsorbed cells of *Acetobacter aceti*. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 6, 2005-2012 (2017)
- Lee T, Baek SG, Kim S, Paek JS, Park JJ, Choi J, Choi JH, Jang JY, Kim J. Trends in mycotoxin contamination of cereals and cereal products in Korea. *Res Plant Dis*, 28, 179-194 (2022)
- Li J, Yu G, Fan J. Alditols and monosaccharides from sorghum vinegar can attenuate platelet aggregation by inhibiting cyclooxygenase-1 and thromboxane-A2 synthase. *J Ethnopharmacol*, 155, 285-292 (2014)
- Majerus P, Bresch H, Otteneider H. Ochratoxin A in wines, fruit juices and seasonings. *Archiv fur Lebensmittelhygiene*, 51, 95-97 (2000)
- Markaki P, Delpont Binet C, Grosso F, Dragacci S. Determination of ochratoxin A in red wine and vinegar by immunoaffinity high-pressure liquid chromatography. *J Food Prot*, 64, 533-537 (2001)
- MFDS. Food Code, Common Standards and Specifications for General. Notification No. 2021-54. Ministry of Food and Drug Safety, Osong, Korea (2021a)
- MFDS. Food Code. General Testing Method. Notification No. 2021-54. Ministry of Food and Drug Safety, Osong, Korea (2021b)
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Risk assessment of mycotoxins. Available from: https://www.nifds.go.kr/brd/m_271/view.do?seq=12566. Accessed Apr. 5, 2022.
- Na HS, Choi GC, Yang SI, Lee JH, Cho JY, Ma SJ, Kim JY. Comparison of characteristics in commercial fermented vinegars made with different ingredients. *Food Sci Preserv*, 20, 482-487 (2013)
- Nan M, Xue H, Bi, Y. Contamination, detection and control of mycotoxins in fruits and vegetables. *Toxins*, 14, 309 (2022)

- Pinu F, de Carvalho-Silva S, Uetanabaro AP, Villas-Boas SG. Vinegar metabolomics: An explorative study of commercial balsamic vinegars using gas chromatography-mass spectrometry. *Metabolites*, 6, 22 (2016)
- Song NE. Market trends and research status of fermented vinegars. *Food Ind Nutr*, 25, 50-57 (2020)
- Tak HJ, Lee NR, Yang SW, Kim SY and Lee CH, Qualitative and quantitative metabolite comparison of Korean traditional alcoholic beverages: Takju, Yakju, and traditional-Soju. *Foods*, 13, 956 (2024)
- Wan J, Chen B, Rao J. Occurrence and preventive strategies to control mycotoxins in cereal-based food. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 19, 928-953 (2020)
- WHO. Guideline: Sugars Intake for Adults and Children. World Health Organization, Geneva, Switzerland (2015)
- Won SY, Seo JS, Kang HY, Lee YS, Choi YM, Lee HK, Park IT. Rapid quantitative analysis for sugars of agricultural products by HPLC. *Food Eng Prog*, 20, 406-410 (2016)
- Xia T, Zhang B, Duan W, Zhang J, Wang M. Nutrients and bioactive components from vinegar: A fermented and functional food. *J Funct Foods*, 64, 1-14 (2020)