

Review

## 식품 사기 취약성 평가 도구와 식품공급망별 적용 사례

이현수<sup>†</sup> · 박수빈<sup>†</sup> · 전향숙<sup>\*</sup>

중앙대학교 생명공학대학 식품공학과

### Food Fraud Vulnerability Assessment Tools and Their Applications to Selected Food Supply Chains

Hyeon Soo Lee<sup>†</sup>, Su Been Park<sup>†</sup>, Hyang Sook Chun<sup>\*</sup>

School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong, Korea

(Received November 8, 2024/Revised December 5, 2024/Accepted December 5, 2024)

**ABSTRACT** - Food fraud poses a significant threat to the global food supply chain by affecting both economic stability and public health. This review first examines food fraud vulnerability assessments (FFVAs), highlighting the need for standardized methodologies through unified definitions and classifications from various organizations. Four primary FFVA tools ‘food fraud mitigation guidance’, ‘standard product fraud’, ‘food fraud vulnerability assessment tool’, and ‘criticality, accessibility, recuperability, vulnerability, effect, and recognizability plus shock (CARVER+Shock) tool’ were evaluated for their effectiveness in identifying vulnerabilities in diverse food supply chains and facilitating prevention strategies. Case studies of the supply chains of milk, spices, oils, organic foods, meat, seafood, and alcohol illustrate the methodology and vulnerability assessment outcomes of the tool. The findings indicate that counterfeiting-related questions are excluded when raw materials or products are less susceptible to brand or trademark counterfeiting. Additionally, the results show that technical fraud thresholds, corporate ethics, and monitoring systems significantly affect vulnerability to food fraud. Although the current tools provide valuable frameworks, our findings underscore the need for more integrated and adaptable approaches to address the evolving nature of food fraud. This review concludes with recommendations for improving FFVA methodologies and encouraging collaboration among industries, regulatory bodies, and the academia to establish robust global standards for food fraud prevention.

**Key words:** Food fraud, Vulnerability assessment, Global supply chains, Standardization, Prevention strategies

2000년대 이후 공중 식품 보건에 대한 인식이 커지면서 ‘식품 방어’와 ‘식품 사기’라는 개념이 기존의 ‘식품 안전’에 추가로 등장했다. 국제식품안전협회(Global Food Safety Initiative, GFSI)에 따르면, 식품 방어는 “이념적 동기에 의해 발생할 수 있는 공격을 포함하여 모든 고의적이고 악의적인 오염 행위로부터 식품과 음료의 안전을 보장하는 과정”으로 정의된다<sup>1)</sup>. 한편, 식품 사기는 “경제적 이익을

목적으로 식품, 식품 성분, 또는 포장에 대해 고의적으로 대체(substitution), 추가(addition), 조작(tampering), 허위표시(misrepresentation)를 하는 등 소비자에게 오해를 일으킬 수 있는 행위”로 설명된다<sup>2)</sup>. 이 용어는 2011년 Spink 등<sup>3)</sup>에 의해 처음 정의되었으며, 이후 GFSI, 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius, 이하 Codex), 유럽표준화기구(European Committee for Standardization, CEN) 등 여러 기관과 학계에서 ‘경제적 이익’과 ‘고의성’을 강조하는 정의를 제안하였다. 그러나 아직도 통일된 정의가 없으며, 이를 위한 국제적 조화 노력이 진행 중이다.

식품 사기의 유형 또한 아직 통일되어 있지 않다<sup>4)</sup>. Spink 등<sup>3)</sup>은 식품 사기의 유형을 처음으로 변조(adulteration), 조작(tampering), 모방(simulation), 위조(counterfeiting), 과잉생산(over-run), 절도(theft), 전용(diversion)으로 분류하였다. 2023년 Codex토의문서에서는 추가, 대체, 허위표시, 위조, 희석(dilution), 및 은폐(concealment)를 유형으로 포함시켰

<sup>†</sup>These authors contributed equally to this work.

<sup>\*</sup>Correspondence to: Hyang Sook Chun, School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong 17546, Republic of Korea.

Tel: +82-31-670-3290, Fax: +82-31-670-4853

E-mail: [hschun@cau.ac.kr](mailto:hschun@cau.ac.kr)

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으나<sup>5)</sup>, 유럽연합위원회(European Commission, EC)<sup>6)</sup>, 식품 보호방어연구소(Food Protection and Defense Institute, FPDI)<sup>7)</sup>, GFSI, 국제추천표준(International Featured Standards, IFS)<sup>8)</sup>, 국제 표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)<sup>9)</sup>, 영국 식품범죄수사단(National Food Crime Unit, NFCU)<sup>10)</sup>, 안전하고 합리적인 가격의 식품 글로벌공급협회(Safe Supply of Affordable Food Everywhere, SSAFE)<sup>11)</sup> 등은 조금씩 다른 유형으로 분류하고 있다(Table 1).

식품 사기(food fraud)는 고대부터 현재까지 지속되어 왔으며<sup>12,13)</sup>, 국제 무역 증가로 식품 공급망의 투명성이 떨어지면서 더욱 증가하고 있다<sup>14)</sup>. 대표적인 사례로는 2002년 노르웨이의 메탄올 혼입 주류 사건, 2008년 중국 멜라민 분유 사건, 2013년 유럽 말고기 스캔들이 있으며<sup>15-17)</sup>, 이들 사건으로 인해 소비자 신뢰가 감소하고 식품 사기에 대한 경각심이 높아졌다<sup>18,19)</sup>. 식품 사기는 식품 산업과 공급망에 경제적 영향을 미칠 뿐만 아니라 멜라민 등 유해 물질의 섭취나 원래 제품에 포함되어 있지 않은 알러지 성분이 혼입됨으로써 소비자 건강에도 악영향을 미칠 수 있다<sup>20,23)</sup>.

식품 사기로 인한 경제적 손실에 대해 여러 기관에서 추산하였다. 2010년 미국 식료품 제조업체 협회(Grocery Manufacturers Association, GMA)는 식품 사기로 인한 연간 경제적 손실이 100-150억 달러에 달한다고 했으며<sup>24)</sup>, 2013년 영국 식품표준청(Food Standard Agency, FSA)은 식품의 최대 10%가 사기에 노출될 수 있다고 발표했다<sup>25,26)</sup>. 2016년 프라이스워터하우스쿠퍼스(PricewaterhouseCoopers, PwC)는 연간 손실이 약 400억 달러에 달한다고 보고하였다<sup>27,28)</sup>.

더불어, 식품 사기는 규제기관에 대한 소비자 신뢰에도 악영향을 미치며<sup>20,29)</sup>, 이를 해결하기 위한 체계적인 대응 프로세스가 필요하게 되었다. 그러나 기존의 식품 안전 관리 시스템인 Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)은 품질과 위생에 초점을 맞추고 있어 고의적 사기를 방지하는 데 한계가 있다. 취약성 평가 도구는 이러한 공급망의 복잡성을 고려해 사기 가능성이 높은 지점을 사전에 식별하는 데 중점을 두기 때문에 사전에 문제를 예측하고 사기를 방지할 수 있는 방법으로 사용되기 시작했다<sup>30)</sup>.

본 리뷰는 주요 취약성 평가 도구의 특징과 한계를 검토하여 향후 발전된 도구 개발에 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다. 이와 관련하여 식품 사기 취약성 평가를 수행한 연구 사례를 탐색한 결과, SSAFE에서 개발한 취약성 평가 도구를 활용한 연구가 비교적 많은 것을 확인하였다. SSAFE 도구는 범죄학 개념을 바탕으로 취약성 평가를 수행함으로써 사기 가능성을 효과적으로 파악할 수 있으며, 다양한 제품, 기업 규모, 지역에 맞게 기본으로 제공되는 질문지의 양식을 유연하게 적용할 수 있다는 이점이 있다. 해당 도구를 통해 식별할 수 있는 주된 취약성의 예로는 제조 공정에서의 취약 지점, 개인의 경제적 동기, 국가의 부패수준, 기업 내 윤리 문화 등 다양한 요인들이 있으며<sup>31)</sup>, 이러한 유연성과 체계성으로 인해 주로 활용되는 것으로 판단된다. 따라서 여러 연구자들이 SSAFE 도구를 실제 공급망에 적용한 사례들을 검토하여, 식품 공급망의 사기 취약성을 파악하고 이를 바탕으로 향후 예방 전략 개발 방향을 제시하는 데 목적을 두었다.

**Table 1.** Comparative classification of food fraud types by various organizations based on Codex

Codex alimentarius (2023)						Other additional types	References
Addition	Substitution	Dilution	Concealment	Misrepresentation	Counterfeiting		
●	●	●	-	○	●	Gray market	EC (2020) <sup>6)</sup>
-	●	●	-	○	●	Theft and resale, trans-shipment and origin masking	FPDI (2017) <sup>7)</sup>
○	●	●	●	○	●	Grey market production/theft/diversion	GFSI (2017) <sup>2)</sup>
-	●	-	-	○	●	Gray market/theft/over-run	IFS (2018) <sup>8)</sup>
○	●	●	●	○	○	Gray market or parallel trade, simulation, smuggling, theft, production over-run	ISO (2018) <sup>9)</sup>
○	●	-	-	●	●	Gray market/ theft/ waste, diversion, illegal processing, document fraud	NFCU (2019) <sup>10)</sup>
○	-	-	●	-	●	Simulation, over-run/theft/diversion	Spink and Moyer (2011) <sup>3)</sup>
○	●	●	●	○	●	Gray market/ theft/ over-run	SSAFE (2015) <sup>11)</sup>

● Indicate cases where the classification aligns with both the name and the concept as defined by the Codex.

○ Indicate cases where the classification represents similar or equivalent actions, but the terminology differs from that defined by the Codex.

## 식품 사기와 취약성 평가

식품 사기는 단순히 사후적으로 문제를 해결하는 방식으로는 효과적으로 대처하기 어려운 복잡한 문제다. Spink 등<sup>30)</sup>은 식품 사기의 결과를 사후적으로 해결하는 것만으로는 충분하지 않으며, 공급망 내 취약성을 줄여 사기행위 발생을 감소 또는 제거하는 것이 중요하다고 강조하였다. 이러한 사전 예방적 접근을 위해서는 취약성을 정확하게 식별하는 것이 필수적이며, 이를 위해 여러 기관에서 제시하는 취약성의 정의를 조사하여 Table 2에 나타내었다(Table 2).

먼저, ‘취약성’이라는 용어는 ISO가 제정한 정보보안경영시스템(ISO 27002:2022)에서 ‘하나 이상의 위협(threat)에 의해 잠재적으로 악용될 수 있는 자산 또는 통제 조치의 약점’으로 정의되며<sup>32)</sup>, 미국 국립 표준기술원(National Institute of Standards and Technology, NIST)의 SP 800-30에서는 ‘정보 시스템, 시스템 보안 절차, 내부 통제 수단 또는 구현상의 결점으로 인해 위협 주체에 의해 악용될 수 있는 지점’이라고 하였다<sup>33)</sup>. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 ‘개인, 공동체, 자산 또는 시스템이 재해의 영향을 더 쉽게 받도록 만드는 신체적, 사회적, 경제적 및 환경적 요인에 의해 결정되는 조건들’이라고 정의한다<sup>34)</sup>. 특히, GFSI는 ‘식품 사기 취약성’이라고 언급하며 ‘해결되지 않을 경우 소비자 건강에 위협을 초래할 수 있는 격차(gap) 또는 결함(deficiency)’으로 정의하고 있다<sup>2)</sup>. 그리고 Havrilla<sup>35)</sup>는 그의 문헌에서 취약성은 개인, 집단, 공동체, 또는 인구 집단이 내적 및 외적 자원을 활용하여 공동체와 개인적 요인에 대응할 수 있는 동적 개방성과 기회의 상태를 의미하며, 이는 질병(억압)에서 건강(성장)으로 이어지는 연속선 상에서 긍정적(회복력) 또는 부정적(위험) 방식으로 나타날 수 있다고 하였다. 이러한 정의들을 종합해보면, 취약성은 특정 시스템 내에서 발생한 잠재적 위험 요소를 식별하는 데 초점을 맞추고 있다. 이는 식품 사기와 같은 문제를 해결하기 위해 취약성 평가를 통한 사전예방적 접근이 필요함을 시사한다.

사전 예방적 접근의 맥락에서 ‘취약성’이라는 개념은 범죄학 이론에 기반을 둔다. Felson과 Cohen의 일상활동이론은 범죄가 발생하기 위해 세 가지 요소, 즉 범죄자의 시간 및 장소, 적절한 범죄 대상(suitable targets), 효과적인 관리자의 부재(absence of effective guardians)가 충족되어야 한다고 설명하며, 이는 식품 사기 발생 조건을 설명하는 데 적합하다<sup>36,37)</sup>. 여기서 관리자(guardians)는 제품을 모니터링하거나 보호하는 회사 내 시스템 뿐만 아니라 세관, 규제 기관, 사법 기관, 무역 협회, 비정부단체 등 유관 기관들을 포함할 수 있다<sup>3)</sup>. 이 일상활동이론을 식품 사기에 적용하면, 경제적 이익을 추구하는 개인 또는 조직(범죄자의 시간 및 장소), 사기행위가 일어날 수 있는 식품(적절한 범죄 대상), 적절한 관리감독 및 내부통제의 부족(관리자의 부재)이 존재하는 환경에 놓이게 되면 해당 식품회사는 식품 사기에 취약해질 수 있음을 시사한다<sup>37)</sup>. 이에 따라 식품 사기 예방을 위한 접근법이 요구되며 Manning과 Soon<sup>31)</sup> 및 Robson 등<sup>38)</sup>은 식품 사기 취약성 평가를 통해 잠재적인 약점을 파악하여 예방 전략을 수립하는 과정이 필요하다고 하였다. 또한, van Ruth 등<sup>39)</sup>은 경제적 이익을 추구하는 개인 또는 조직, 사기행위가 일어날 수 있는 식품, 적절한 관리감독 및 내부통제와 관련된 각 세 가지 요소를 기회, 동기, 통제조치로 정의할 수 있다고 하였으며, 이는 다음 섹션에서 설명할 SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구의 개발로 이어졌다.

식품 사기의 사전예방을 위해서는 식품 안전 관리 시스템인 HACCP과 차별화되는 식품 사기관리시스템(Vulnerability Assessment Critical Control Point, VACCP)의 구축이 요구된다(Fig. 1). 이를 위해 식품공급망 전반에 걸쳐 경제적 동기로 인한 식품 사기의 취약성을 정확하게 식별하는 것이 우선되어야 하기 때문에 식품 사기 취약성평가가 먼저 이루어져야 한다.

## 식품 사기 취약성을 평가하기 위한 다양한 도구

여러 식품 공급망에서 발생하는 식품 사기를 예방하기

**Table 2.** Definitions of vulnerability across various sources

Source (Year)	Definition of vulnerability
Havrilla (2017) <sup>35)</sup>	A state of dynamic openness and opportunity for individuals, groups, communities, or populations to respond to community and individual factors through the use of internal and external resources in a positive (resilient) or negative (risk) manner along a continuum of illness (oppression) to health (growth)
GFSI (2017) <sup>2)</sup>	The susceptibility or exposure to a food fraud risk, which is regarded as a gap or deficiency that could place consumer health at risk if not addressed
ISO 27002(2022) <sup>32)</sup>	A weakness of an asset or control that could potentially be exploited by one or more threats
NIST SP 800-30 (2012) <sup>33)</sup>	Weakness in an information system, system security procedures, internal controls, or implementation that could be exploited or triggered by a threat source
WHO (2022) <sup>34)</sup>	The conditions determined by physical, social, economic, and environmental factors or processes which increase the susceptibility of an individual, a community, assets, or systems to the impacts of hazards

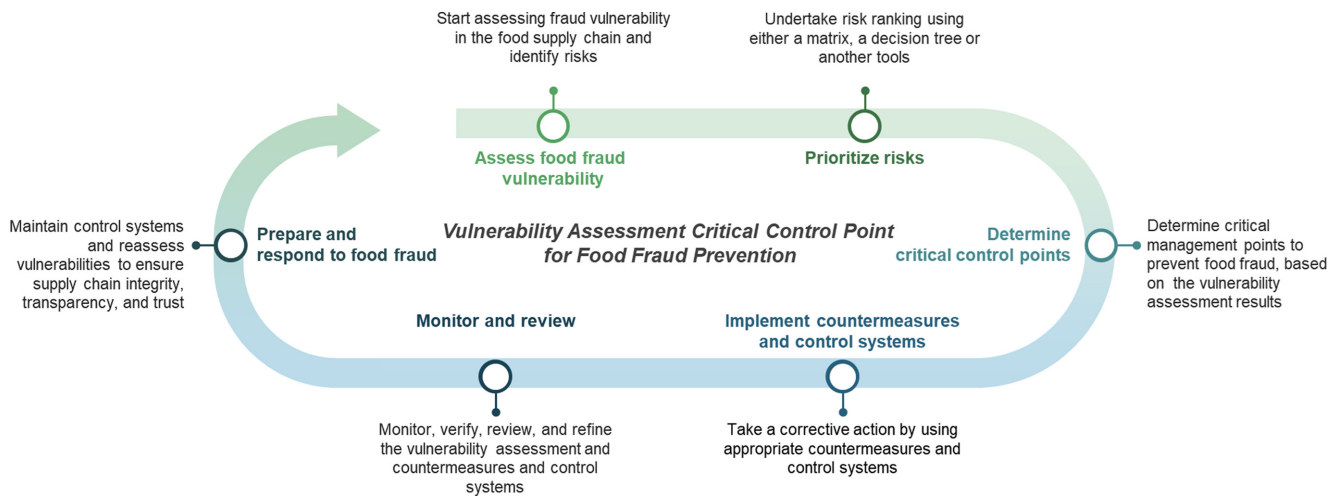


Fig. 1. Food fraud vulnerability assessment for food fraud prevention.

위해 취약성을 평가하는 다양한 도구들이 개발되었다. 대표적으로 미국약전(United States Pharmacopeia, USP)이 개발한 식품 사기 완화 지침, IFS가 개발한 식품 사기 표준, SSAFE가 개발한 식품 사기 취약성 평가도구, 미국 식품의약품안전청(Food and Drug Administration, FDA) 및 농무부(United States Department of Agriculture, USDA)가 개발한 CARVER+Shock (criticality, accessibility, recuperability, vulnerability, effect, and recognizability plus shock) 도구가 알려져 있으며, 이들은 공급망 내 취약성을 식별하고 사기 발생 가능성을 평가하는 데 중점을 둔다. 이 섹션에서는 각 도구의 핵심적인 특징과 한계를 전반적으로 살펴보았다.

USP의 식품 사기 완화 지침은 기여 요인(contributing factors)과 잠재적 영향 요인(potential impact factors)에 대한 평가를 통해 위험 수준을 다섯 단계(낮음, 중간 낮음, 중간, 중간 높음, 높음)로 분류하는 일차 매트릭스 접근법을 제시한다<sup>29</sup>. 이를 통해 사용자는 추가적인 통제조치의 필요 여부를 결정할 수 있다. 그러나 이 도구는 복잡한 제품 및 원재료에 적용하기 어려울 수 있으며, 수치화 된 매트릭스 시스템이 부족하다는 한계가 있다.

IFS의 식품 사기 표준은 제품과 공급업체의 위험 요인에 대해 평가를 수행하며, 이차 매트릭스 접근법을 사용하여 각각 1-5점으로 평가되는 발생 가능성과 탐지 가능성을 결합하여 총 25단계의 점수 척도로 분류한다<sup>8</sup>. 다만, 원재료와 제품을 그룹화하는 구체적인 지침이 부족하여 효율적인 적용에 한계가 있을 수 있다.

SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구는 ‘기회’, ‘동기’, ‘통제조치’라는 세 가지 주요 요인을 중심으로 취약성을 평가한다<sup>11</sup>. 이 도구는 적용성이 넓어 다양한 식품 원료 및 제품에 국가 또는 기업 수준에서 취약성을 평가할 수 있다. 하지만, 제품 및 원재료의 복잡성에 따른 그룹화 방법과 완화 전략에 대한 구체적 지침이 부족하다는 단점이 있다.

CARVER+Shock 도구는 원래 군사적 사보타주(sabotage) 평가에 사용되던 CARVER 도구를 기반으로, 식품 공급망의 취약성을 평가하기 위해 미국 FDA와 USDA가 ‘Shock’ 요소를 추가하여 개발하였다<sup>40</sup>. 그러나 이 도구는 위의 세 가지 도구들과 달리, 소비자에게 해를 입힐 목적으로 발생하는 악의적인 식품 변조(adulteration) 또는 공격으로부터 식품 시설 및 공정 수준에서 식품 방어 계획을 수립하기 위한 취약성 평가 도구로 사용되고 있다<sup>41,42</sup>. 평가 단계는 다섯 가지로 구성되며, 식품 사기 방지 계획 수립에 직접적인 가이드를 제공하지 않는다는 점에서 한계를 보인다.

이처럼 각 도구는 서로 다른 접근법을 통해 공급망 내 취약성을 평가한다. 그러나 Barrere 등<sup>25</sup>은 SSAFE 도구에서 강조되는 범죄학 개념인 기회, 동기, 통제조치 부족과 관련된 요인이 USP 및 IFS의 지침에도 내재되어 있다고 하였다. 한편, 이들 도구는 사용성과 적용성 측면에서 일부 한계를 보이기도 한다. 식품 사기 취약성 평가를 할 경우에 각 평가 도구들의 이해를 바탕으로 특정 식품 사기 유형에 맞는 도구를 선택하거나, 여러 도구를 병행하여 사용하는 방식으로 보완하는 것도 효과적일 수 있다. 따라서 향후 각 이러한 한계점을 개선한다면 향후 도구들이 효율적인 식품 사기 예방에 더욱 기여할 수 있을 것이다.

### SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구를 적용한 사례들

2015년 SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구가 개발된 이후, GFSI와 같은 글로벌 식품안전인증에서도 이를 활용하도록 권장하고 있다<sup>31</sup>. 이는 SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구가 범죄학적 요소에 바탕을 둔 ‘기회’, ‘동기’, ‘통제조치’라는 세 가지 주요 요인을 중심으로 취약성을 평가하기 때문에 경제적 동기나 외부 환경에서 비롯된 사기 가능성을 효과적으로 포착할 수 있어 다양한 식품공급망

**Table 3.** Assessment factors and characteristics of the SSAFE food fraud vulnerability assessment tool, USP food fraud mitigation guidance, IFS Standards product fraud and CARVER+Shock software

Criteria	SSAFE Food fraud vulnerability assessment tool <sup>11)</sup>	USP Food fraud mitigation guidance <sup>29)</sup>	IFS Standards product fraud <sup>8)</sup>	CARVER+Shock software <sup>40)</sup>
Developer	SSAFE, Wageningen University, Vrije Universiteit University Amsterdam	USP	IFS	FDA and USDA
Assessment factors	<p><b>Opportunities factors</b> 11 indicators related to product and process characteristics, features of the chain/industry network, and historical evidence of fraud with particular food products and ingredients</p> <p><b>Motivations factors</b> 20 indicators for organizational aspects such as business culture, historical offenses, and economic conditions of the company, suppliers and customers</p> <p><b>Controls factors</b> 19 indicators for mitigation and contingency control measures</p>	<p><b>Contributing factors</b> The factors known to be helpful in predicting fraud occurrence; supply chain, audit strategy, supplier relationship, history of supplier regulatory, quality or safety issues, susceptibility of quality assurance (QA) methods and specifications, testing frequency, geopolitical considerations, fraud history, economic anomalies</p> <p><b>Potential factors</b> The factors for developing an approach to assess each of the impact areas for potential severity ; public health impact, economic impact</p>	<p><b>Product risk factors</b> The factors to evaluate the degree to which a product is vulnerable to fraud ; history of product fraud, Economic factors, ease of fraudulent activity, supply chain complexity, current control measures for detecting fraud</p> <p><b>Supplier risk factors</b> The factors to evaluate the reliability of the company to the supplier; economic stability and legal status, history of business, commercial relationships, technical relationships, technical compliance performance, country of supply regulatory infrastructure and control, country and business ethics</p>	<p><b>CARVER factors</b> An acronym for the following six attributes; criticality, accessibility, recuperability, vulnerability, effect, recognizability</p> <p><b>Shock factor</b> A seventh attribute, the combined health, economic, and psychological impacts; shock</p>
Approach for the evaluation	Questionnaire-based interview and spider web	Assessment matrices	Assessment matrices	Worksheet for scale calculation by each factor
Measure of evaluation for each factor	<b>3 scales</b> (score 1-3)	<b>5 scales (primary matrix)</b> (low, medium-low, medium, medium-high, high)	<b>25 scales (second-order matrix)</b> (likelihood of occurrence (5 scores)× likelihood of current detection (5 scores))	<b>10 scales</b> (score 1-10)
Classification of assessment outcome	Low; medium; high	New controls optional; new controls should be considered; new controls strongly suggested	Retaining current conditions; modifying current conditions; discontinuation of the product or supplier	The ranking of aggregate scores of each node
Materials provided to assist in the assessment	Links to information to help answer questions & decision tree to help determine the scope of the assessment,	Specific descriptions with cases of actual events for each factor & a variety of graphics, such as tables and figures, to support each step-by-step evaluation matrix	Detailed and visualized examples of how the matrix is used & guidelines for the implementation and monitoring of the food fraud mitigation plan	Tables that help to sum up scores and summarize the results
Limitations of assessment performance	Lack of how to group ingredients or products in advance for efficient assessment and guidance on mitigation strategies	Lack of how to group ingredients or products in advance for efficient assessment and a clear numerical system of a matrix	Lack of how to group ingredients or products in advance for efficient assessment	Lack of contents about mitigation and prevention plans and difficulties in applying when there is no public health impact

**Table 4.** Overall results of vulnerability assessments across multiple supply chains

Food category	Supply chain (Country)	Reason for changes	Changes by each factor			Evaluation results			Ref. <sup>10)</sup>
			Opp. <sup>4)</sup>	Mot. <sup>5)</sup>	Ctrl. <sup>6)</sup>	Opp.	Mot.	Ctrl.	
Dairy products	Milk (Netherlands)	Counterfeiting was not considered relevant for the dairy supply chain	Counterfeiting related questions deleted	-	-	M	L <sup>7)-M<sup>8)</sup></sup>	M	44)
	Milk (China)	<sup>1)</sup> Counterfeiting was not considered relevant for the milk production chain	<sup>1)</sup> Counterfeiting related questions deleted	<sup>2)</sup> Raw material related questions deleted (farmers and retailers only)	-	M-H <sup>9)</sup>	L-M	L	45)
		<sup>2)</sup> This study did not take into account the raw materials on the farm, i.e., feed	<sup>2,3)</sup> Raw material related questions deleted (farmers and retailers only)						
		<sup>3)</sup> Retailers are not related to raw materials and do not engage in production activities	<sup>3)</sup> Production activity related questions deleted (retailers only)						
Edible fats and oils	Extra virgin olive oil	<sup>1)</sup> Counterfeiting is not a common type of fraud in Extra virgin olive Oil	<sup>1)</sup> Counterfeiting related questions deleted	<sup>2)</sup> Direct supplier related questions were changed to 'direct customer' questions	<sup>2)</sup> Direct supplier' related questions were changed to 'direct customer' questions	H	L	H	47)
	Olive oil	<sup>2)</sup> B2B companies and retailers only act as an intermediary to transfer EVOO to their consumers	<sup>2)</sup> Questions related to raw materials and processing are deleted (B2Bs and retailers only)	<sup>2)</sup> Raw material related questions deleted (B2Bs and retailers only)					
			<sup>3)</sup> Some olive oil producers produce olives themselves						
	Edible vegetable oil	Counterfeiting was not considered relevant for the commodity chains	Counterfeiting related questions deleted	-	-	M-H	L-M	H	49)
		Retailers do not engage in production and processing activities	Questions related to raw materials and production processes deleted	Questions related to the customer's criminal history deleted	Questions related to raw materials and production processes deleted	M-H	M	L	48)
Spices	Spices (European countries)	The original questionnaire is not modified	-	-	-	M-H	L-M	M-H	46)
	Spices (Netherlands)	Counterfeiting was not considered relevant for the commodity chains	Counterfeiting related questions deleted	-	-	M-H	L-M	H	49)
Meats	Meat (Netherlands)	Counterfeiting was not considered relevant for the commodity chains	Counterfeiting related questions deleted	-	-	H	L	M	49)
Seafoods	Cod, prawns, salmon (UK)	Counterfeiting is irrelevant to the businesses interviewed	Counterfeiting related questions deleted	-	-	M	L-M	M	
	Fish (Netherlands)	Counterfeiting was not considered relevant for the commodity chains	Counterfeiting related questions deleted	-	-	M	L-M	H	
Organic foods	bananas, olive oil, eggs, pork (European countries)	Counterfeiting was not considered relevant for the commodity chains	Counterfeiting related questions deleted	-	-	L-M	M-H	L-M	51)
	Organic bananas (Netherlands)	Counterfeiting was not considered relevant for the commodity chains	Counterfeiting related questions deleted	-	-	M	L	L-M	
Alcohol beverages	Baijiu (China)	-	Final product adulteration technology and knowledge accessibility related question deleted	National corruption levels of the enterprise/Supplier and price differences as a result of regulatory differences across countries related questions deleted	National food policy related questions deleted	M	L-M	L	24)

<sup>1-3)</sup> In the "Changes by each factor in the questionnaire" column, superscript numbers (<sup>1-3)</sup> refer to corresponding points (<sup>1-3)</sup> in the "Reason for changes of questionnaire" column.

<sup>4-6)</sup> Opp.: opportunity; Mot.: motivation; Ctrl.: controls.

<sup>7-9)</sup> L, M, H represent levels of vulnerability: low, medium, and high, respectively.

<sup>10)</sup> Ref. : references.

에 맞게 쉽게 조정할 수 있다는 데서 기인된다고 본다. 그렇기 때문에 여러 연구자들이 이를 다양한 식품 공급망에 적용하여 식품 사기 취약성을 평가하였다. 이 연구들은 우유, 유지, 육류 제품, 주류, 유기농 식품, 향신료 등 사기 발생 가능성이 높은 식품 및 성분의 공급망을 대상으로 하여<sup>43)</sup> 취약성 평가를 진행하였다. 각 연구는 해당 공급망 및 내부 행위자의 특성에 따라 SSAFE 도구의 질문지를 일부 수정하여 평가에 적용하였으며, 본 섹션에서는 그 주요 적용 방법론과 세가지 요인별 평가 결과를 요약하였다.

### 1. 식품공급망별 취약성 평가 방법

식품공급망별 취약성평가는 공급망 내 각 단계의 역할과 식품의 특성을 고려하여 평가 질문을 조정하여, 보다 효율적이고 타당성이 부여되도록 수행되었다. 중국과 네덜란드의 우유 공급망에서는 위조 관련 질문을 삭제하였다<sup>44,45)</sup>. 이는 우유는 생산과 유통 과정에서 쉽게 식별 가능한 특성이 있어 위조보다는 다른 외부 물질의 혼입, 희석, 대체와 같은 다른 사기 유형에 초점을 맞춰 취약성을 평가하는 것이 더 적합하다고 판단되어 관련 질문이 생략된 것으로 보인다. 또한 우유 공급망 평가에서 소매업체에 대해서는 실제로 제품을 생산하거나 가공하지 않기 때문에 생산 및 가공 과정 관련 질문이 생략되었다. 또한, 네덜란드에서는 유기농장과 비유기농장의 단계별 취약성이 다르게 나타날 수 있어 이를 구분하여 평가가 진행되었다<sup>44,45)</sup>. 향신료 공급망에서는 원 질문지를 그대로 사용하여 무역업체, 수입업체, B2B/B2C (Business to Business/Business to Consumer) 업체가 참여하였다<sup>46)</sup>. 엑스트라버진 올리브유(extra virgin olive oil) 공급망의 경우 주로 낮은 품질의 올리브유를 혼합하거나 희석하여 엑스트라버진 등급으로 판매하는 경우가 많기 때문에 위조보다는 대체나 희석과 관련된 사기 유형에 대한 취약성 평가가 더 적합하여 위조 관련 평가 항목은 삭제되었다. 마찬가지로 B2B 및 소매업체의 경우 별도의 가공 없이 유통과 판매만 담당하기 때문에 가공 과정에 관한 질문이 제외되었다<sup>47)</sup>. 식용 식물성 오일 공급망에서도 소매업체에 대한 질문에서 가공 관련 문항을 삭제하여 질문 수를 42개로 줄였다<sup>48)</sup>. Van Ruth 등은 육류, 생선, 우유, 올리브유 등 다양한 식품 공급망의 취약성을 연구하며, 위조 관련 질문을 삭제하고 평가를 수행하였다<sup>49)</sup>. 유기농 식품 공급망은 유기농 바나나, 계란, 올리브유, 돼지고기를 대상으로 위조 관련 질문을 삭제하여 평가를 진행하였고<sup>50)</sup>, 해산물(대구, 새우, 연어) 공급망에서도 위조 관련 질문을 삭제한 후 평가를 실시하였다<sup>51)</sup>. 전반적으로 대부분의 식품공급망의 취약성 평가에서 위조 관련 평가 항목이 제외된 경우가 많았는데, 식품 사기에서 위조는 주로 상표나 브랜드를 불법으로 도용하거나 완전히 가짜 제품으로 만들어 판매하는 경우를 의미하므로 실제 상황에서 주로 발생하기 쉬운 사기 방식

에 더 중점을 두어 평가가 이루어진 것으로 보인다. 한편, 주류(중국 백주) 공급망에서도 총 10개의 문항이 삭제되어 평가된 것으로 나타나 이는 백주 공급망 특성이 반영되어 항목이 조정된 것으로 보인다<sup>24)</sup>(Table 4).

### 2. 다양한 공급망에 대한 요인별 취약성 평가 주요 결과

SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구는 범죄학적 요소에 바탕을 둔 ‘기회’, ‘동기’, ‘통제조치’라는 세 가지 주요 요인을 중심으로 취약성을 평가하기 때문에 경제적 동기나 외부 환경에서 비롯된 사기 가능성을 효과적으로 포착할 수 있다. 이에 따른 질문지는 다양한 식품공급망에 맞게 쉽게 조정이 가능하여 이 도구는 다양한 식품공급망의 취약성을 평가하는데 적용되었다<sup>39)</sup>. 이 섹션에서는 SSAFE 식품 사기 취약성 평가도구의 세 가지 요인별로 여러 식품 공급망에 대한 취약성 평가결과를 살펴보았다.

**기회 요인:** 우유 공급망의 경우 기술적 탐지의 어려움으로 인해 중국과 네덜란드 모두 기회요인이 중간에서 높은 정도의 취약성을 보였고, 특히 유기농 우유는 변조 위험이 더 크다고 인식되었다<sup>44,45)</sup>. 향신료 공급망에서는 혼합이 쉬운 특성으로 인해 중간에서 높은 취약성이 관찰되었다. 실제 향신료 공급망에서는 과거에 수단레드(sudan red) 사건과 커민(cumin) 사건이 발생하였다<sup>46)</sup>. 엑스트라버진 올리브유 공급망은 액체 상태의 혼합이 쉬워 기회 요인의 취약성이 높게 평가되었으며<sup>46)</sup>, 식용 식물성 오일 공급망은 품질이 낮거나 곰팡이 핀 원재료의 혼입 시, 이에 대한 탐지가 어려워 기술적 기회 요인의 취약성이 높은 것으로 평가되었다<sup>48)</sup>. 해산물 공급망은 유사한 종의 혼입과 이를 탐지하는 기술의 한계로 인해 기술적 기회 요인이 높은 취약성으로 평가되었으나, 공급업체와의 오랜 거래 관계와 낮은 접근성으로 인해 시간 및 장소 관련 기회 요인은 낮게 평가되었다<sup>51)</sup>. 중국 백주 공급망은 위조 행위의 용이성과 탐지의 어려움으로 인해 기술적 기회 요인이 중간 수준의 취약성으로 평가되었고, 높은 투명성으로 인해 시간 및 장소 관련 기회 요인은 낮게 평가되었다<sup>24)</sup>.

**동기 요인:** 우유 공급망에서는 가격 변동성과 높은 경쟁으로 인해 경제적 동기가 높은 취약성으로 평가되었다. 우유 산업 내 경쟁과 관련하여 중국과 네덜란드에서 모두에서 다소 높은 취약성을 보인 이유는 국제 무역의 증가와 함께 국가 간에 존재하는 다양한 유제품 가격 정책과 관련이 있는 것으로 보인다. 특히 중국의 경우에는 멜라민 사건 이후 자국에서 생산되는 우유의 신뢰도의 하락으로 수입 우유 의존도가 증가하면서 업계 경쟁이 심화되었다<sup>44,45)</sup>. 향신료 공급망은 높은 가치와 시장 경쟁으로 경제적 동기가 높은 취약성을 보였으나, 기업 내 윤리적 문화가 잘 구축되어 문화적 동기는 낮게 평가되었다<sup>46)</sup>. 엑스트라버진 올리브유 공급망의 경우 일부 경제적 동기 요인이 높은 취약성을 보였으나, 문화적 동기는 낮은 수

준으로 평가되었다<sup>47)</sup>. 식용 식물성 오일 공급망에서는 원재료의 높은 가치와 경쟁이 경제적 동기에 기여하였으며, 국가 부패와 관련된 요인은 높은 취약성으로 나타났다<sup>47)</sup>. 해산물 공급망은 높은 해산물 가치와 국가 간 규제 차이로 인해 경제적 동기가 높은 취약성을 보였으나, 윤리적 문화가 잘 구축된 기업에서는 문화적 동기 요인이 낮게 평가되기도 하였다<sup>51)</sup>. 주류 공급망에서는 원재료 가격 변동이 경제적 동기의 주요 취약성을 야기했으나, 대부분의 기업이 윤리적 문화와 우호적인 조직 전략을 갖추고 있어 문화적 동기는 낮게 평가되었다<sup>24)</sup>.

**통제조치 요인:** 우유 공급망에서 네덜란드는 사기 모니터링 시스템과 비상 계획 부족으로 인해 중간 수준의 취약성을 보였으나, 중국은 공급망 내 정보 교환과 협력이 원활하지 않은 문제로 인해 높은 취약성을 나타냈다<sup>44,45)</sup>. 향신료 공급망에서는 소규모 기업들이 대형 기업에 비해 사기 예방 시스템이 부족해 높은 취약성을 보였고, 국가 통제 시스템에 대한 인식이 낮아 취약성이 높은 것으로 평가되었다<sup>46)</sup>. 엑스트라버진 올리브유 공급망에서는 대부분의 기업이 소규모로 운영되어 사기 예방 시스템이 부족해 통제조치 요인에서 높은 취약성을 보였다<sup>47)</sup>. 식용 식물성 오일 공급망은 사기 모니터링 시스템과 비상 계획의 미흡으로 인해 높은 취약성을 나타냈고<sup>48)</sup>, 생선과 향신료 공급망에서도 통제조치 요인이 높은 취약성을 보였다<sup>49)</sup>. 유기농 식품 공급망에서는 올리브유와 돼지고기가 중간에서 높은 취약성을 보였으며<sup>50)</sup>, 해산물 공급망에서는 사기 모니터링 시스템의 부족과 국가 식품 사기 정책에 대한 인식 부족으로 관리적 통제조치 요인이 높은 취약성을 나타냈다<sup>51)</sup>. 주류 공급망에서는 통제조치가 전반적으로 잘 구축되어 낮은 취약성을 보였으나, 일부 항목에서는 내부 고발 시스템 부재로 인해 높은 취약성이 드러났다<sup>24)</sup>.

## 결론 및 제언

본 리뷰는 식품 사기 예방을 위한 취약성 평가 도구들을 분석하고, SSAFE 도구의 적용 사례를 종합하여 검토하였다. 현재 국제적으로 식품 사기의 정의 및 유형 분류가 통일되지 않았기 때문에, 모든 취약성 평가 도구가 일관되게 모든 사기 유형에 대해 명확하게 평가할 수 있는 것은 아니다. 이로 인해 각 도구는 자체적으로 정의하는 사기 유형과 평가 기준에 따라 취약성을 분석하며, 이 때문에 각 도구 간 평가 결과와 범위가 다를 수 있다. 여러 유관 기관과 조직에서 제시하는 식품 사기 정의와 분류의 공통점은, 식품 사기가 경제적 이익을 목적으로 첨가, 대체, 희석, 허위표시 등 다양한 형태로 나타난다는 점이다. 향후, 이러한 유형 분류의 표준화와 국제적으로 통용되는 정의의 정립을 통해, 식품 사기에 체계적으로 대응할 수 있는 기반을 마련해야 할 것이다.

현재 사용 가능한 주요 취약성 평가 도구(SSAFE, USP,

IFS, CARVER+Shock)는 각각의 방법론을 통해 식품 공급망 내 사기 위험을 평가하고 예방 전략을 수립하는 데 도움을 준다. USP나 IFS는 보다 구체적인 사기 행위 유형(예: 대체, 희석)에 초점을 맞추어 평가하며 CARVER+Shock 도구는 고의적 공격과 관련된 사기 유형을 중점적으로 평가한다. 반면, SSAFE 도구는 범죄학적 이론에 기반하여 ‘기회’, ‘동기’, ‘통제 조치’라는 세 가지 핵심 요인을 중심으로 식품 사기의 잠재적 위험을 체계적으로 평가하도록 설계되었다. 이와 같이 도구들은 각기 다른 방식과 기준으로 사기 취약성을 평가하기 때문에, 특정 사기 유형에 맞는 도구를 선택하거나, 여러 도구를 병행하여 사용해야 하는 경우도 있을 것이다.

SSAFE 취약성 평가 도구는 경제적 동기나 외부 환경에서 비롯된 사기 가능성을 효과적으로 포착할 수 있어 다양한 식품공급망에 맞게 쉽게 조정할 수 있기 때문에 우유, 향신료, 유지, 육류, 유기농 식품, 해산물, 주류 등 다양한 공급망에 적용되고 있다. 본 고에서는 각 연구 사례의 방법론과 결과를 종합하여 해당 식품의 특성이나 공급망 내 특정 행위자(예: 1차 생산자, 가공업체, 소매업체 등)의 역할에 따라 질문지가 변경된 사항을 중심으로, 각 핵심 요인(기회, 동기, 통제 조치)별 주요 취약성 평가 결과를 정리하였다. 이를 통해 대부분의 연구에서, 위조행위가 특정 제품 및 원재료와 관련성이 낮아 질문지에서 제외되었음을 확인하였다. 또한, 사기 행위의 기술적 탐지 난이도, 기업의 윤리적 문화, 모니터링 시스템 구축 등이 식품 사기의 취약성에 영향을 미친다는 점도 발견할 수 있었다.

본 리뷰를 통해 식품 사기의 사전예방을 위해서는 VACCP의 구축이 요구되는데 이를 위해 우선적으로 요구되는 취약성평가 도구에 대해 살펴보았다. 그 결과, 기존 취약성 평가 도구보다 더 포괄적이고 표준화된 도구의 개발 필요성을 인식하였으며, 이를 위해 업계 이해관계자, 유관 기관, 연구자 간의 협력 강화가 필수적이라는 결론에 도달하였다. 이해당사자간 협력을 통하여 기존 도구를 개선하고 변화하는 국제 식품 공급망의 특성에 적용할 수 있는 대응 방안을 마련하여, 식품 사기에 더욱 효과적으로 대응할 수 있는 VACCP을 구축할 수 있을 것이다. 이를 통해 궁극적으로 식품 안전을 보장하고 소비자 신뢰를 유지할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 식품 사기 대응 노력은, 세계화된 복잡한 식품 시스템에서 사기 행위에 영향을 미치는 다양한 요인을 포괄할 수 있는 방법론 개선을 목표로 해야 할 것이다.

## Acknowledgments

본 연구는 2024년도 식품의약품안전처의 연구개발비(22193MFDS471, 21153MFDS605)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.



## 국문 요약

식품 사기는 글로벌 식품 공급망에 상당한 위협을 가하며 경제적 안정성과 공중 보건에 영향을 미친다. 이 리뷰에서는 먼저 식품 사기 취약성 평가(food fraud vulnerability assessment, FFVA)를 조사하여 다양한 기관의 통합된 정의와 분류를 통한 표준화된 방법론의 필요성이 강조되었다. 네 가지 주요 FFVA 도구인 ‘United States Pharmacopeia (USP) 식품 사기 완화 지침’, ‘International Featured Standards (IFS) 표준 제품 사기’, ‘SSAFE 식품 사기 취약성 평가 도구’, ‘미국 Food and Drug Administration (FDA)와 United States Department of Agriculture (USDA) criticality, accessibility, recuperability, vulnerability, effect, and recognizability plus shock (CARVER+Shock) 도구’의 주요 특징과 한계점 등을 살펴보았다. 또한 Safe Supply of Affordable Food Everywhere (SSAFE)의 식품 사기 취약성 평가 도구를 적용하여 우유, 향신료, 오일, 유기농 식품, 육류, 해산물 및 알코올의 공급망에 대한 취약성 평가 사례를 살펴보았다. 그 결과, 취약성을 평가할 때 원자재나 제품이 브랜드 또는 상표 위조에 덜 취약한 경우 평가 설문에서 위조 관련 질문을 제외하는 등 식품 공급망 특성이나 조사 대상에 따라 평가 항목이 조정되었다. 또한 식품 사기 행위의 기술적 탐지 난이도, 기업의 윤리적 문화, 모니터링 시스템의 구축 정도가 식품 사기 취약성에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 현재 이러한 평가 도구들은 귀중한 프레임워크를 제공하지만, 식품 사기의 진화하는 본질을 해결하기 위해 보다 통합적이고 적용 가능한 접근 방식이 필요하다는 점이 시사되었다. 식품 사기 예방을 위한 강력하고 글로벌한 표준을 수립하기 위해서는 향후 FFVA 방법론을 개선하고 산업, 규제 기관 및 학계 간의 협력이 보다 강화되어야 할 것이다.

## Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

## ORCID

Hyeon Soo Lee <https://orcid.org/0009-0001-2901-6191>  
 Su Been Park <https://orcid.org/0000-0002-9661-7886>  
 Hyang Sook Chun <https://orcid.org/0000-0003-2522-4847>

## References

1. McCain Foods, (2024, July 5). GFSI guidance document. Retrieved from <https://www.mccain.com/media/1407/gfsi-guidance-document.pdf>
2. Global Food Safety Initiative (GFSI), (2024, July 3). Food

- fraud – GFSI technical document. Retrieved from <https://mygfsi.com/wp-content/uploads/2019/09/food-fraud-gfsi-technical-document.pdf>
3. Spink, J., Moyer, D.C., Defining the public health threat of food fraud. *J. Food Sci.*, **76**, 157-163 (2011).
4. Wisniewski, A., Buschulte, A., How to tackle food fraud in official food control authorities in Germany. *J. Consum. Prot. Food Saf.*, **14**, 319-328 (2019).
5. Food and Agriculture Organization (FAO), (2024, August 5). Codex Alimentarius meeting document. Retrieved from [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ru?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-733-26%252FWorking%2BDocuments%252Ffc26\\_06e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/ru?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-733-26%252FWorking%2BDocuments%252Ffc26_06e.pdf)
6. European Commission, (2024, May 12). Food fraud. Retrieved from [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/food-fraud-quality/topic/food-fraud\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/food-fraud-quality/topic/food-fraud_en)
7. FoodAuthenticity, (2024, June 11). Review of economically motivated adulteration and its implications for public health. Retrieved from <https://www.foodauthenticity.global/blog/review-of-economically-motivated-adulteration-and-its-implication>
8. International Featured Standards (IFS), (2024, April 13). IFS product fraud mitigation guideline v3. Retrieved from [https://www.ifs-certification.com/images/ifs\\_documents/IFS\\_Product\\_Fraud\\_Mitigation\\_guideline\\_v3\\_EN.pdf](https://www.ifs-certification.com/images/ifs_documents/IFS_Product_Fraud_Mitigation_guideline_v3_EN.pdf)
9. World Trade Organization (WTO), (2024, July 11). Illicit trade in food and food fraud. Retrieved from [https://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/illicit\\_trade\\_in\\_food\\_and\\_food\\_fraud\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/illicit_trade_in_food_and_food_fraud_e.pdf)
10. Food Standards Agency, (2024, July 11). Food crime. Retrieved from <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/FSA-Food%20Crime%20Strategy%202024.pdf>
11. SSAFE, (2024, November 3). Introduction to SSAFE food fraud vulnerability assessment tool. Retrieved from <https://mayacert.com/documents/en/Introduction-to-SSAFE-Food-Fraud-Vulnerability-Assessment-tool.pdf>
12. Shears, P., Food fraud—a current issue but an old problem. *Br. Food J.*, **112**, 198-213 (2010).
13. Sumar, S., Ismail, H., Adulteration of foods—past and present. *Nutr. Food Sci.*, **95**, 11-15 (1995).
14. Esteki, M., Regueiro, J., Simal?Gándara, J., Tackling fraudsters with global strategies to expose fraud in the food chain. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **18**, 425-440 (2019).
15. Ellis, D.I., Muhamadali, H., Haughey, S.A., Elliott, C.T., Goodacre, R., Point-and-shoot: rapid quantitative detection methods for on-site food fraud analysis—moving out of the laboratory and into the food supply chain. *Anal. Methods*, **7**, 9401-9414 (2015).
16. Zhang, W., Xue, J., Economically motivated food fraud and adulteration in China: an analysis based on 1553 media reports. *Food Control.*, **67**, 192-198 (2016).
17. Giannakas, K., Yiannaka, A., Food fraud: causes, consequences, and deterrence strategies. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, **15**, 85-104 (2023).
18. Xiaojing, L., The cause and effect analysis of the melamine incident in China. *Asian J. Agric. Res.*, **5**, 176-185 (2011).
19. FAIRR, (2024, July 30). Europe horse meat scandal 2013.

- Retrieved from <https://www.fairr.org/news-events/insights/europe-horse-meat-scandal-2013>
20. Yiannaka, A., Food Fraud: a persistent problem that demands a comprehensive approach. *J. Consum. Prot. Food Saf.*, **18**, 359-360 (2023).
  21. Sammut, J., Gopi, K., Saintilan, N., Mazumder, D., 2021. Facing the challenges of food fraud in the global food system. 1st ed., Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 35-63.
  22. Moyer, D.C., DeVries, J.W., Spink, J., The economics of a food fraud incident—Case studies and examples including Melamine in Wheat Gluten. *Food Control*, **71**, 358-364 (2017).
  23. Hellberg, R.S., Everstine, K., Sklare, S.A., 2021. Food fraud: a global threat with public health and economic consequences. 1st ed., Academic Press, San Diego, CA, USA, pp. 9-22
  24. Wang, Y., Liu, J., Xiong, Y., Liu, X., Wen, X., Food fraud vulnerability assessment in the Chinese Baijiu supply chain. *Foods*, **12**, 516 (2023).
  25. Barrere, V., Everstine, K., Théolier, J., Godefroy, S., Food fraud vulnerability assessment: towards a global consensus on procedures to manage and mitigate food fraud. *Trends Food Sci. Technol.*, **100**, 131-137 (2020)
  26. Everstine, K., Spink, J., Kennedy, S., Economically motivated adulteration (EMA) of food: common characteristics of EMA incidents. *J. Food Prot.*, **76**, 723-735 (2013).
  27. Onyeaka, H., Ukwuru, M., Anumudu, C., Anyogu, A., Food fraud in insecure times: challenges and opportunities for reducing food fraud in Africa. *Trends Food Sci. Technol.*, **125**, 26-32 (2022).
  28. PwC Malaysia, (2024, July 3). Fighting \$40bn food fraud to protect food supply. Retrieved from <https://www.pwc.com/my/en/press/160127-fighting-40bn-food-fraud-to-protect-food-supply.html>
  29. United States Pharmacopeia (USP), (2024, May 12). Food fraud mitigation guidance. Retrieved from <https://www.usp.org/sites/default/files/usp/document/our-work/Foods/food-fraud-mitigation-guidance.pdf>
  30. Spink, J., Ortega, D.L., Chen, C., Wu, F., Food fraud prevention shifts the food risk focus to vulnerability. *Trends Food Sci. Technol.*, **62**, 215-220 (2017).
  31. Manning, L., Soon, J.M., Food fraud vulnerability assessment: Reliable data sources and effective assessment approaches. *Trends Food Sci. Technol.*, **91**, 159-168 (2019).
  32. Nucleus Security, (2024, August 3). What is a vulnerability?. Retrieved from <https://nucleussec.com/knowledge/what-is-a-vulnerability/>
  33. National Institute of Standards and Technology (NIST), (2024, October 3). Vulnerability. Retrieved from <https://csrc.nist.gov/glossary/term/vulnerability>
  34. World Health Organization (WHO), 2022. Disaster risk factors. 3rd ed., WHO, Geneva, Switzerland, pp. 157-158.
  35. Havrilla, E., Defining Vulnerability. *Madridge J. Nurs.*, **2**, 63-68 (2017).
  36. Felson, M., Cohen, L.E., Human ecology and crime: a routine activity approach. *Hum. Ecol.*, **8**, 389-406 (1980).
  37. Felson, M., 2016. The routine activity approach, 2nd ed., Routledge, Milton Park, UK, pp. 87-97.
  38. Robson, K., Dean, M., Haughey, S., Elliott, C., A comprehensive review of food fraud terminologies and food fraud mitigation guides. *Food Control.*, **120**, 107516 (2021).
  39. van Ruth, S.M., Huisman, W., Luning, P.A., Food fraud vulnerability and its key factors. *Trends Food Sci. Technol.*, **67**, 70-75 (2017).
  40. Yadav, V., Sharma, A., A free software for food industries to ensure food safety: CARVER+ Shock. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **10**, 109-117 (2011).
  41. Manning, L., Soon, J.M., Food safety, food fraud, and food defense: a fast evolving literature. *J. Food Sci.*, **81**, R823-R834 (2016).
  42. Wysokińska-Senkus, A., Górna, J., Kaźmierczak, M., Mielcarek, P., Senkus, P., CARVER+shock and business process management in improving food safety of primary production. *Agriculture*, **12**, 1018 (2022).
  43. Hong, E., Lee, S.Y., Jeong, J.Y., Park, J.M., Kim, B.H., Kwon, K., Chun, H.S., Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. *J. Sci. Food Agric.*, **97**, 3877-3896 (2017).
  44. Yang, Y., Huisman, W., Hettinga, K.A., Liu, N., Heck, J., Schrijver, G.H., Gaiardoni, L., van Ruth, S.M., Fraud vulnerability in the Dutch milk supply chain: assessments of farmers, processors and retailers. *Food Control*, **95**, 308-317 (2019).
  45. Yang, Y., Huisman, W., Hettinga, K.A., Zhang, L., Van Ruth, S.M., The Chinese milk supply chain: a fraud perspective. *Food Control*, **113**, 107211 (2020).
  46. Silvis, I.C.J., van Ruth, S.M., van der Fels-Klerx, H.J., Luning, P.A., Assessment of food fraud vulnerability in the spices chain: an explorative study. *Food Control*, **81**, 80-87 (2017).
  47. Yan, J., Erasmus, S.W., Toro, M.A., Huang, H., van Ruth, S.M., Food fraud: Assessing fraud vulnerability in the extra virgin olive oil supply chain. *Food Control*, **111**, 107081 (2020).
  48. Yang, Z., Zhou, Q., Wu, W., Zhang, D., Mo, L., Liu, J., Yang, X., Food fraud vulnerability assessment in the edible vegetable oil supply chain: A perspective of Chinese enterprises. *Food Control*, **138**, 109005 (2022).
  49. van Ruth, S.M., Luning, P.A., Silvis, I.C.J., Yang, Y., Huisman, W., Differences in fraud vulnerability in various food supply chains and their tiers. *Food Control*, **84**, 375-381 (2018).
  50. van Ruth, S.M., de Pagter de Witte, L., Integrity of organic foods and their suppliers: Fraud vulnerability across chains. *Foods*, **9**, 188 (2020).
  51. Lawrence, S., Elliott, C., Huisman, W., Dean, M., van Ruth, S., Food fraud threats in UK post-harvest seafood supply chains: an assessment of current vulnerabilities. *npj Sci. Food*, **8**, 30 (2024).