COVID-19과 식품 안전: SARS-CoV2의 영향과 비활성화 전략

COVID-19 pandemic crisis and food safety: Implication and inactivation strategy of SARS-CoV2

한상하[1], 변계환[1], 로이 판투 쿠마르[1], 이크발 호사인[1], 최창순[2], 하상도[1*]
Sangha Han[1], Kye-Hwan Byun[1], Pantu Kumar Roy[1], Md, Iqbal Hossain[1], Changsun Choi[2], Sang-Do Ha[1*]

[1]중앙대학교 식품공학과, [2]중앙대학교 식품영양학과
[1]School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong, Gyeonggi, 17546, Republic of Korea
[2]Department of Food and Nutrition, School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong, Gyeonggi, 17546, Republic of Korea

서론

현재까지 전세계적인 관심이 집중되고 있는 COVID-19은 중국 우한에서 발생해 전세계로 급속히 확산되었다. 세계보건기구(WHO)는 바이러스성 폐렴을 유발하는 새로운 그룹 2B 베타 코로나바이러스를 확인한 후 이 바이러스를 COVID-19으로 명명하였고, 2020년 3월 11일에 Pandemic을 선포하였다. 동시에 이 신종 코로나바이러스는 ICTV(International Committee on Taxonomy of Viruses)에 의해 SARS-CoV-2로 명명되었다.

이 바이러스는 지난 20년 동안 출현한 두 가지 다른 코로나바이러스인 중동호흡기증후군(MERS)과 중증 급성호흡기증후군(SARS)과 매우 유사한 것으로 밝혀졌는데, COVID-19의 사망률은 SARS보다 낮지만 전파율은 더 높으며, 이는 SARS-CoV-2의 수용체 결합 도메인(RBD)에 있는 S-단백질에서 돌연변이 및 유전자 재조합으로 설명될 수 있다. 2021년 2월 19일 현재까지 COVID-19 대유행으로 인해 218개 이상의 국가에서 약 1억 1천만 명의 확진자가 발생하였고 2,426,833 명이 넘는 사람이 사망하였다 (그림1). 또한 세계의 많은 국가들이 COVID-19 감염으로 인해 경제에 부정적인 영향을 받고 있으며 식품 공급체계 및 마케팅 문제 등으로 큰 피해를 입고 있다.

현재까지 COVID-19의 정확한 원인은 알려지지 않았으나, 여러 연구에 따르면 SARS-CoV와 96% 상동성을 갖는 박쥐가 SARS-CoV-2의 고유 숙주라고 추측되고 있다. 그러나 종의 장벽을 넘어 사람을 감염시킬 수 있는 바이러스의 중간 숙주는 아직 확인되지 않았다. 이 바이러스 감염의 주요 경로는 호흡기 비말이지만 최근에 밝혀진 중요한 사실은 오염된 물체 및 표면을 통해 대면접촉에 의해서도 쉽게 전염될 수 있다는 사실이다. 세계보건기구와 질병통제예방센터(CDC)는 식품과 물을 통한 SARS-CoV-2의 전염 및 직접 오염에 대한 가능성은 없다고 단언했으나, 오염된 표면을 통한 감염을 무시할 수 없으므로 이에 대한 지속적 연구가 필요할 것으로 사료된다. 실제로

* Corresponding author: Sang-Do Ha,
Department of Food Science and Technology, Advanced Food Safety Research Group,
Chung-Ang University, Ansung 17546, Korea
Tel: +82-31-670-4831 Fax: +82-31-675-4853 E-mail: sangdoha@cau.ac.kr

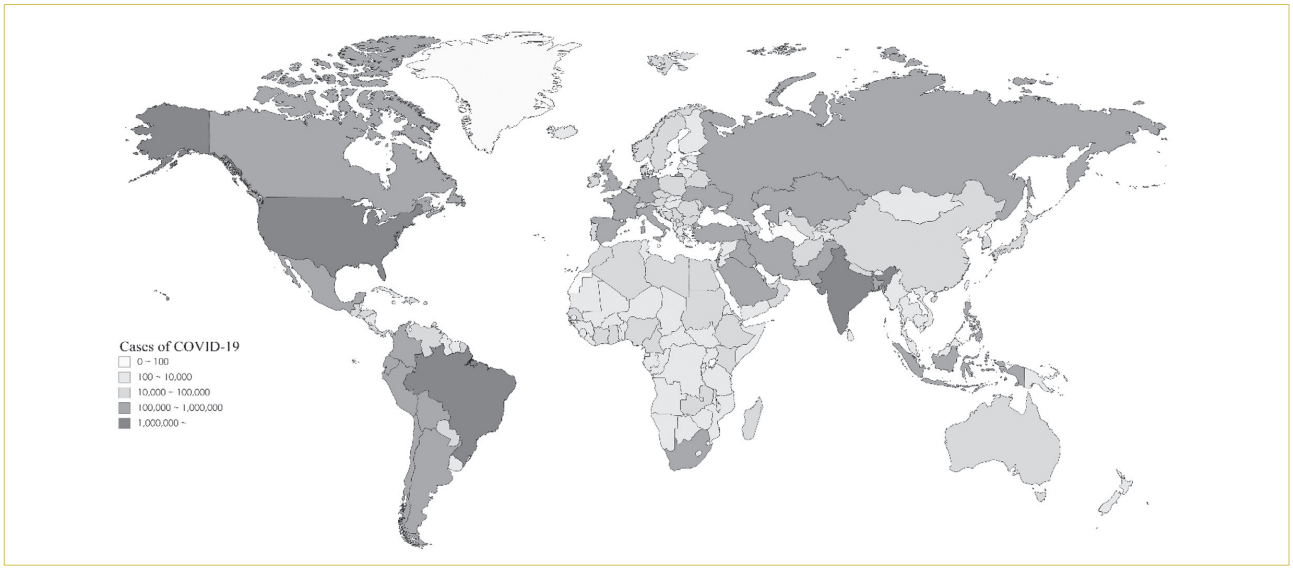

그림 1. COVID-19 outbreak.

2020년 1월 싱가포르에서 회의 중 신체 접촉과 식품 공유로 인해 COVID-19에 감염된 사례가 보고되었고 이는 식품이 감염의 잠재적 매개체가 될 수도 있음을 시사하였다. 따라서 과학적 증거와 함께 식품을 통한 잠재적 감염을 포함한 모든 전파의 정확한 경로를 이해하는 것이 중요하다. 이 리뷰는 SARS-CoV-2의 역학과 전파를 포함한 COVID-19의 전반적인 정보를 제시하고 환경과 식품을 통한 잠재적 전파 경로를 탐색하여, SARS-CoV-2를 비활성화하기 위한 전략을 논의하고자 한다. 또한 COVID-19 대유행 위기가 식량 공급시스템에 미치는 영향 및 COVID-19 이후의 시대를 준비하는 전략을 식품안전의 측면에서 논의하였다.

2. SARS-CoV-2의 역학 및 전파 경로

코로나바이러스는 코로나바이러스과(단일 가닥의 RNA 게놈으로 둘러싸인 positive-sense 바이러스)의 아과로, 바이러스 외부 표면에 왕관 모양의 스파이크를 가진 Nidovirales에 속한다. 전체 길이 게놈 시퀀스를 기반으로 분석한 결과, COVID-19가 발생한 중국 우한의 후안 해산물시장에서 수집된 샘플은 새로운 유형의 베타코로나바이러스에 대해 99.98% 이상의 뉴클레오티드 서열 유사성을 가지며 양성반응을 보였다(Zhou et al., 2020). 비록 SARS-CoV-2의 정확한 기원은 아직 밝혀지지 않았지만, 전체 게놈 수준에서 뉴클레오티드 서열 96%의 유사성을 가지고 있는 중국 말발굽박쥐(관박쥐과족)의 SARS-CoV 바이러스와 밀접한 유전적 관계가 있다. 아직 SARS-CoV-2의 중간 동물 숙주 역시 정확히 확인되지 않았지만, 이 바이러스가 천산갑 SARS-CoV(Lam et al., 2020)와 99%의 유전적 유사성을 공유하고 있어 천산갑이 유력한 후보로 알려지고 있다.

중국에서 폐렴에 걸린 SARS-CoV-2 감염 환자들이 살아있는 동물이 팔리고 있는 해산물 시장을 방문해 감염된 동물이나 새를 식용으로 사용했을 가능성이 있다는 초기 조사결과가 있었으나, 추가 조사결과, 바이러스에 감염된 일부는 수산시장을 방문하지 않은 것으로 밝혀졌으며, 기침과 재채기를 통해 배출된 보이지 않는 호흡기 비말 및 에어로졸이 코와 입을 통해 흡입되어 바이러스가 퍼진 것으로 추측된다 (Wan et al., 2020).

COVID-19 감염에서 식품 및 접촉표면의 관계에 대한 정보는 매우 제한적이지만, 최근의 연구는 식품 및 일반적으로 접촉하는 감염 매개물을 포함한 환경 표면에서

SARS-CoV-2 바이러스의 잠재적 전파 가능성을 제안하였다(Garraturo et al., 2020). 표면은 감염된 사람의 비말이 직접 접촉함으로써 다양한 바이러스에 오염될 수 있으며, 그 후 특정 바이러스의 생존은 바이러스 변이, 표면 유형, 온도 및 상대습도에 따라 몇 시간에서 몇 일까지 매우 가변적일 수 있다(Kampf et al., 2020). 또한, 배설물-구강 전염과 같은 SARS-CoV-2의 다른 잠재적 감염 경로가 제안되었다. 최근 연구에서는 실험실에서 확인된 COVID-19 환자의 소변 및 대변 샘플에서 SARS-CoV-2가 검출되었음을 보고하였다(Wu et al., 2020).

COVID-19 감염의 증상은 일반적으로 인플루엔자(예: 발열 및 기침)와 유사하며, 기타 증상으로는 두통, 호흡곤란, 가래 생성, 객혈 등이 있다(Carlos et al., 2020). 심각한 경우, 대규모 폐포의 손상과 진행성 호흡기 장애로 사망할 수 있으며, 세계적으로 확진된 환자가 66,567명에 이르렀을 때 사망률은 2%였다(Chan et al., 2020). SARS-CoV-2의 평균 잠복기는 우한의 첫 번째 사례 보고에 근거했을 때 약 3-7일로 추정된다(Li et al., 2020). 무증상자의 바이러스 전염을 막기 위해서는 정확한 잠복기를 기준으로 격리시간을 조정하는 것이 중요하다. 또한 노년층(≥ 60세)과 면역 결핍자는 심각한 염증 때문에 어린이보다 SARS-CoV-2에 의한 감염에 더 취약하며 이는 개인의 면역 체계가 감염과 사망에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

3. COVID-19 전염병 위기가 식품 공급 시스템에 미치는 영향

식품시스템은 포괄적이고, 다면적이며, 고도로 상호간 연결되어 있으며 식량 안보, 안전, 영양, 품질문제를 광범위하게 포함한다. 식량농업기구(FAO, 2020)는 COVID-19가 식량 안보와 직접적으로 관련된 식량의 공급과 수요 측면에서 두 가지 중요한 방식으로 농업에 영향을 미치고 있다고 밝혔다. 식품 공급망은 생산, 포장, 분배, 저장과 관련된 과정들을 통해 농장시스템에서 소비자의 식탁으로 연결되는 고리이다. 식품 공급망의 모든 카테고리들은 신선한 야채, 과일, 베이커리 품목, 곡물 등을 포함하며 COVID-19의 대유행 동안 이들의 공급은 극히 제한되어 왔다. 그림 2는 COVID-19 대유행 동안 농장에서부터 소비자까지 식품공급의 시스템에서 식품안전 조치를 요약한 것이다.

식품 종사자는 환경, 위생, 표면 살균, 작업 환경의 청

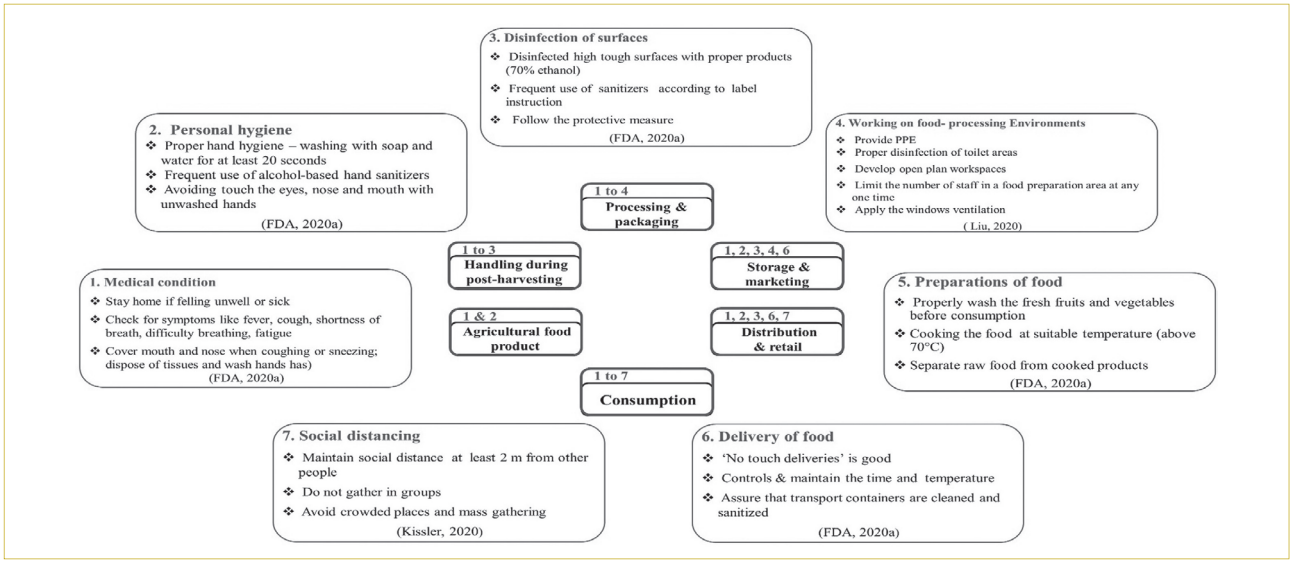

그림 2. Safety guideline during COVID-19 pandemic for the food sector at each step of the food chain.

결, 식품의 준비와 배달, 사회적 거리 등으로 그룹화된다. 식품 공정의 각 단계에서 시행된 모든 안전기준에도 불구하고, 마지막 단계(소비단계)는 명백하게 감염의 주요 원인으로 소비자의 수준에서 가장 많은 안전에 대한 고려가 필요하다. 또한, 식품 소비 전(주로 식품의 준비단계)에 수행하는 예방법이 있다. 예를 들어, COVID-19 초기에는 SARS-CoV-2의 식품을 매개로 한 전파의 과학적 증거가 없음에도 불구하고 Central Europe의 보건당국은 많은 레스토랑, 카페에서 바이러스와 병원균에 대한 일반적인 예방책으로서 익지 않은 스테이크, 육류 등을 제공하지 못하도록 제한하였고, 미국의 일부 기업(육류 가공업체)은 COVID-19 기간 동안 생산을 완전히 중단하기도 하였다. 또한 이 기간동안 실제로 온라인에서의 식품 수요가 증가하였는데, 이처럼 물류 활동이 제한되는 기간에는 식량 부족은 불가피하다.

COVID-19 대유행으로 세계의 많은 국가들이 COVID-19로 인한 식량 불안감의 증가로 인한 상황에 직면하고 있는데, 특히 취약계층과 저소득층은 이러한 상황에 더 심각하게 영향을 받고 있다. 식품안전은 모든 사람들이 그들의 기본 요구를 충족시킬 수 있는 안정적인 식품 공급을 의미한다. 현재 약 8억 2천만 명이 만성적인 기아를 겪는 취약계층이고 이 그룹의 사람들은 COVID-19 대유행과 같은 상황으로 인해 식량에 대한 제한된 공급으로 생계에 위협을 느낄 수 있으며, 제한된 의료시스템을 가진 국가에서 바이러스가 퍼지게 된다면 결과적으로 심각한 영향을 미칠 수 있다. 또다른 취약계층인 농민들은 그들의 땅에서 생산활동이 제한되거나 유통 등의 문제로 인해 시장으로의 접근이 제한될 수 있다. 세 번째 취약계층은 주로 사회 프로그램에 의해 제공되는 식품으로 양육되는 저소득층 자녀이다. 유행병으로 인한 사회 프로그램의 중단은 그들의 식품안전과 영양문제를 일으키고 결과적으로 그들이 질병에 대처할 수 있는 능력을 제한한다. 따라서 모든 국가는 세계적인 식품 공급망을 가동시켜 식품의 안전하고 충분한 공급과 함께 식품 시스템에 대한 전염병의 영향력을 줄이기 위한 다양한 대책을 찾아야만 한다.

4. 다양한 환경에서 SARS-CoV-2의 지속성

4.1. 식품 및 식품-접촉 표면

WHO는 식품이 COVID-19(WHO, 2020)의 전염 경로가 아니라고 밝혔지만 미국 식품의약청(FDA, 2020) 및 유럽 식품안전청(EFSA 2020)은 식품에서 바이러스의 잠재적인 생존성과 관련된 정보를 계속해서 수집하고 이 바이러스의 정확한 중간 숙주를 추적하고 있다. 식품에서 코로나바이러스의 지속성에 대한 연구는 매우 제한적이다. Van Doremalen 등(2014)은 낙타 우유에서 MERS-CoV의 생존을 조사한 결과, 낙타 우유에서 바이러스는 4℃에서 72시간 동안 생존한 반면 22℃에서는 48시간 후에 사멸하였다고 보고하였다. Mullis 등(2012)은 잠재적인 식품 매개의 바이러스 전파를 조사하기 위해 냉장 보관된 로메인 상추 잎에 대한 코로나바이러스의 안정성을 연구한 결과, 바이러스가 낮은 온도와 상대습도에서 더 안정된 상태로 최소 14일 동안 검출 가능하다는 것을 발견했고 오염된 야채는 인간에게 코로나바이러스를 전파하는 잠재적인 경로가 될 수 있음을 시사했다. 인간 코로나바이러스(HuCoV 229E)에 관하여 4℃에 보관된 상추에 대한 유사한 결과가 보고되었는데 바이러스 입자는 2일 후에 0.2 $\log_{10}$ 만큼 감소하였고 4일 후에 불활성화 되었다. 이러한 연구는 바이러스를 불활성화하기 위해 열처리를 적용할 수 없는 신선 농산물을 통한 잠재적인 감염 전파를 보고한 것으로, 코로나바이러스가 일반적인 냉장 보관온도에서 며칠 동안 신선한 농산물에서 생존할 수 있음을 보여주기 때문에 특히 중요하다. 최근, Dai 등(2020)은 낮은 온도에서 연어에 존재하는 SAS-CoV-2의 생존이 장기화되었다고 보고했다. 연어에서의 SARS-CoV-2는 4℃에서 8일 동안 생존하였고 25℃에서 2일 동안 생존하여 SARS-CoV-2의 감염성이 온도와 관련이 있음을 확인했으며, 냉장 보관 및 운반되는 생선이나 해산물에 의한 감염의 잠재적 위험성을 암시했다.

SARS-CoV-2가 식품 또는 식품접촉표면에서 생존할 수 있는 기간에 대한 다양한 논문이 발표되고 있다. 이 단

계에서 식품을 통한 바이러스 전염은 입증되지 않았지만, 손 씻기 및 안전한 폐기물 관리 등을 포함하여 적절하고 지속적인 개인위생을 유지하는 것이 SARS-CoV-2의 인간 대 인간 전염을 방지하는 가장 좋은 방법이 될 수 있다. 또한 저온 보관된 육류, 가금류, 해산물 등 다양한 식품에 대한 지속적인 모니터링으로 SARS-CoV-2에 대한 식품 안전성을 확보해야 한다.

4.2. 환경 표면

최근 오염된 표면을 통한 SARS-CoV-2 전파의 중요성이 시사되었다. SARS-CoV 및 MERS-CoV를 포함한 많은 바이러스는 플라스틱, 금속, 목재 및 스테인리스 스틸과 같은 다양한 비생물학적 표면에서 몇 시간 또는 몇 달 동안 생존할 수 있는 것으로 조사되어 다양한 식품의 표면이 비위생적인 조건에 노출될 경우 바이러스 전파의 매개체가 될 수 있음이 알려졌다(Mullis et al., 2012).

COVID-19는 사람과 사람의 접촉을 통해 전염되기 때문에 전염성이 높다. 이 바이러스를 전파하는 한 가지 주요 메커니즘은 오염된 건조한 표면을 통한 코, 눈 또는 입의 점막에의 자가 접종이다(Otter et al., 2016). 바이러스는 혈액, 타액, 비강액, 소변 및 대변을 포함한 인체 분비물을 통해 대량으로 배출될 수 있으며, 결과적으로 감염된 사람이 무생물 표면이나 물체를 만질 경우 바이러스 입자는 감염되지 않은 개인의 안면 점막으로 옮겨질 수 있다. 다양한 환경 표면에서 코로나 바이러스의 지속성은 표 1에 요약되어 있다. Van Doremalen 등(2020)은 플라스틱, 스테인리스 스틸, 구리 및 판지를 포함한 에어로졸 및 표면에서 SARS-CoV-2의 지속성을 분석하고 그 결과를 인간 코로나바이러스와 가장 밀접하게 관련된 SARS-CoV와 비교하였다. SARS-CoV-2는 공기 1L에 3시간 동안 에어로졸 상태로 지속되면서 감염성 입자가 $10^{3.5}$에서 $10^{2.7}$ $TCID_{50}$으로 감소되었다. 또한 SARS-CoV-2는 플라스틱과 스테인리스 스틸에서 각각 72시간과 48시간 동안 생존하였지만, 구리와 판지에서 각각 4시간과 24시간 생존 가능하였다. SARS-CoV의 안정성은 실험환경에서 SARS-CoV-2와 유사했으며, 이는 상부 호흡기의 바이러스의 양과 잠재적인 감염원으로부터의 유출과 같은 다른 요인이 바이러스의 역학 특성과 관련이 있음을 나타낸다. Alex 등(2020)은 서로 다른 표면에서 SARS-CoV-2의 안정성을 조사하였는데, 인쇄물이나 휴지에서 3시간 노출 후, 그리고 나무와 천에서 2일 노출 후 바이러스가 비활성화되었다. 그러나 SARS-CoV-2는 유리와 지폐에서는 4일, 스테인리스 스틸과 플라스틱에서는 7일 동안 살아남았다. 또한 다른 연구에서 접종 7일 후 외과용 마스크의 바깥층에 상당한 바이러스 역가(2.79 ± 0.46 log $TCID_{50}$/mL)가 여전히 남아 있음을 발견하여 마스크를 착용하거나 폐기할 때 추가적인 예방 조치를 제안하였다. Kampf 등(2020)은 다양한 유형의 무생물 표면에서 HuCoV의 지속성을 분석하고 최소 2시간에서 최대 9일까지 다양한 감염 기간을 밝혀냈다. 저자는 또한 온도 및 습도와 같은 특정 환경 조건이 바이러스의 생존력에 영향을 미칠 수 있음을 발견했다. 무생물 표면에서 높은 온도(30 또는 40℃)는 코로나 바이러스의 생존 기간을 감소시킨 반면 4℃에서는 최대 9일 동안 생존할 수 있었다. 위에서 서술한 문헌으로부터의 정보는 매개물 및 다른 기타 물체와의 빈번한 접촉이 바이러스 전파의 잠재적 원인임을 분명히 나타낸다.

5. 식품 시스템에서 SARS-CoV-2 바이러스의 활성화 및 제어 조치

식품산업은 SARS-CoV-2가 식품 생산과 유통에 관여할 수 있다는 점에서 큰 불확실성에 직면하고 있다. 현재 SARS-CoV-2에 대해 몇 가지 승인된 특정 백신이 발표되었고 몇몇 나라에서 백신접종이 시작되기는 하였으나, 여전히 바이러스의 예방은 환경과 식품접촉표면의 적절한 소독과 사회적 거리두기를 포함한 개인위생에 의존하고 있다.

Table 1. 여러 가지 표면에서 코로나바이러스의 지속성

Type of surface	Virus	Inoculum	Temperature (℃)	Persistence	Log reduction	Reference
Steel	SARS-CoV-2	$10^{3.7}$	NG	3-4days	3.2	van Doremalen et al., 2020
	SARS-CoV-2	$10^{5.8}$	22℃	7days	5.8	Chin et al., 2020
	HCoV 229E	10^{3}	21℃	〉5days	2	Warnes et al., 2015
Copper	SARS-CoV-2	$10^{3.2}$	NG	4-8h	1.7	van Doremalen et al., 2020
Glass	SARS-CoV Strain P9	10^{6}	RT	4days	6	Duan et al., 2003
	HCoV 229E	10^{3}	21℃	〉5days	2.5	Warnes et al., 2015
	SARS-CoV-2	$10^{5.8}$	22℃	4days	5.8	Chin et al., 2020
Aluminum	HCoV 229E	5.5×10^{5}	21℃	〈8h	3	Sizun et al., 2000
	HCoV OC43	5.15×10^{5}	21℃	〈2h	3	
Wood	SARS-CoV Strain P9	10^{6}	RT	4days	6	Duan et al., 2003
	SARS-CoV-2	$10^{5.6}$	22℃	1-2days	5.6	Chin et al., 2020
	HCoV OC43	5.15×10^{5}	21℃	〈1h	3	
Paper	SARS-CoV strain GVU6109	10^{4}	RT	〈5min	~1.7	Lai et al., 2005
	SARS-CoV strain GVU6109	10^{5}	RT	3h	~2.7	
	SARS-CoV strain GVU6109	10^{6}	RT	24h	~3.7	
	SARS-CoV Strain P9	10^{6}	RT	4-5days	6	Duan et al., 2003
	SARS-CoV-2	$10^{4.8}$	22℃	3h	4.8	Chin et al., 2020
Tissue paper	SARS-CoV-2	$10^{7.8}$	22℃	30min	5.5	
Banknote paper	SARS-CoV-2	$10^{7.8}$	22℃	2d	6	
Cardboard	SARS-CoV-2	$10^{2.5}$	NG	24h	2	van Doremalen et al., 2020
Cotton	SARS-CoV strain GVU6109	10^{4}	RT	5min	~1.7	Lai et al., 2005
	SARS-CoV strain GVU6109	10^{5}	RT	1h	~2.7	
	SARS-CoV strain GVU6109	10^{6}	RT	24h	~3.7	
Silicon rubber	HCoV 229E	10^{3}	21℃	3days	3	Warnes et al., 2015
Ceramic	HCoV 229E	10^{3}	21℃	〉5days	2	
Teflon	HCoV 229E	10^{3}	21℃	〉5days	2.5	
PVC	HCoV 229E	10^{3}	21℃	〉5days	2	

Type of surface		Virus	Inoculum	Tempera-ture (℃)	Persistence	Log reduction	Reference
Plastic		SARS-CoV Strain HKU39849	10^7	22-25℃	5-28days	5	Chan et al., 2011
		SARS-CoV Strain P9	10^6	RT	4days	6	Duan et al., 2003
		SARS-CoV strain FFM-1	10^7	RT	6-9days	~5	Rabenau et al., 2005
		HCoV 229E	10^7	RT	2-6days	~5	
		SARS-CoV-2	$10^{3.7}$	NG	3-4days	3.2	van Doremalen et al., 2020
		SARS-CoV-2	$10^{5.8}$	22℃	7days	5.8	Chin et al., 2020
Metal		SARS-CoV Strain P9	10^6	RT	5days	NG	Duan et al., 2003
Brass	95-100% Cu	HCoV 229E	10^3	21℃	10min	3	Warnes et al., 2015
	85% Cu	HCoV 229E	10^3	21℃	50min	3	
	60% Cu	HCoV 229E	10^3	21℃	2h	2.5	
Copper nickel	90% Cu	HCoV 229E	10^3	21℃	20min	3	
	79% Cu	HCoV 229E	10^3	21℃	30min	3	
	70% Cu	HCoV 229E	10^3	21℃	4h	3	
Cloth		SARS-CoV-2	$10^{7.8}$	22℃	1d	4.8	Chin et al., 2020
Surgical Mask	Outer layer	SARS-CoV-2	$10^{7.8}$	22℃	7d	5.8	
	Inner layer	SARS-CoV-2	$10^{7.8}$	22℃	4d	5.8	

HCoV: Human coronavirus, NG: Not Given, RT: Room Temperature (20 – 25℃)

5.1. 화학적 소독제

SARS-CoV-2를 포함한 코로나 바이러스의 불활성화는 광범위하게 연구되어 왔으며, 표면살균제의 사용은 바이러스의 확산을 줄이는데 효과적이다. COVID-19가 시작된 이후, 환경 표면에서 SARS-CoV-2를 제거하기 위한 상당한 노력이 이루어졌지만, 식품 표면에서 바이러스 제어에 대한 데이터는 매우 제한적이다. 이 시점에서 소독은 COVID-19 감염의 확산을 줄이기 위한 지역사회 및 가정환경에서 최선의 방법이다. 다양한 종류의 소독제는 일반적으로 비용이 효율적이고, 사용하기 쉬우며, 일반적으로 접촉되는 표면에 사용 가능하기에 소독의 목적으로 사용이 가능하다. SARS-CoV-2를 포함한 코로나바이러스는 염소와 염소기반 소독제 및 에탄올과 같은 특정 살균제에 민감하고 쉽게 비활성화되는 것으로 알려져 있다 (Quevedo-Leon et al., 2020).

Zuber와 Brüssow(2020)는 에탄올 62-71%, 과산화수소 0.5%, 또는 차아염소산나트륨 0.1%로 소독할 경우 1분 이내에 코로나바이러스를 불활성화 할 수 있다고 보고하였다. 표 2는 코로나 바이러스에 대한 다양한 화학 소독제의 효과를 보여준다. Kampf 등(2020)은 다양한 표면에서 SARS-CoV-2의 효과적인 비활성화를 확인하였고, 바이러스가 단단한 표면보다 매끄러운 표면에서 더 강한 내성을 보인다고 보고하였다. 62-71% 에탄올은 1분 이내에 SARS-CoV-2 감염성을 2.0 - 4.0 $\log_{10}$ 까지 감소시켰으며, 0.1 - 0.5% 차아염소산나트륨 또는 2% 글루타르디알데히드도 효과적이었다. Alex 등(2020)은 다양한 환경 조건 하에서 SARS-CoV-2에 대한 다양한 소독제의 바이러스소독 효과를 평가했다. 가정용 표백제, 에

Table 2. 코로나바이러스에 대한 소독제의 효능

Disinfectant	Type of assay	Concentration	Exposure time	Virus	Reduction of viral infectivity	Reference
Ethanol	suspension test	80%	30s	SARS-CoV strain FFM-1	≥4.25	Rabenau et al., 2005
		85%	30s	SARS-CoV strain FFM-1	≥5.5	
		95%	30s	SARS-CoV strain FFM-1	≥5.5	
		70%	10min	MHV-2	〉4.20	Saknimit et al., 1988
		70%	10min	MHV-N	〉3.91	
		70%	10min	CCV strain I-71	〉3.28	
		78%	30s	SARS-CoV strain FFM-1	≥5.01	Rabenau et al., 2005
		20%	30s	SARS-CoV-2	1.08	Yin et al., 2020
		20%	1min	SARS-CoV-2	1.33	
		20%	3min	SARS-CoV-2	1.75	
		20%	5min	SARS-CoV-2	1.92	
		30%	30s	SARS-CoV-2	4.42	
		30%	1min, 3min, 5min	SARS-CoV-2	≥4.75	
		40, 50, 60, 75%	30s, 1min, 3min, 5min	SARS-CoV-2	≥4.75	
	QCT with stainless steel	70%	1min	HCoV 229E	≥3.0	Satter et al., 1989
		62%	1min	MHV	2.66	Hulkower et al., 2011
		70%	1min	MHV	3.92	
		71%	1min	MHV	1.98	
		62%	1min	TGEV	4.04	
		70%	1min	TGEV	3.19	
		71%	1min	TGEV	3.51	
Sodium Hypochlorite	suspension test	0.001%	10min	MHV-2	0.57	Saknimit et al., 1988
		0.001%	10min	MHV-N	0.26	
		0.001%	10min	CCV strain I-71	0.90	
		0.01%	10min	MHV-2	2.82	
		0.01%	10min	MHV-N	2.26	
		0.01%	10min	CCV strain I-71	1.05	
		0.21%	30s	MHV-1	≥4.0	Dellanno et al., 2009
	QCT with stainless steel	0.06%	1min	MHV	0.62	Hulkower et al., 2011
		0.06%	1min	TGEV	0.35	
		0.01%	1min	HCoV 229E	〈3.0	Satter et al., 1989
		0.1%	1min	HCoV 229E	〉3.0	
		0.5%	1min	HCoV 229E	〉3.0	
Hydrogen Peroxide	suspension test	0.5%	1min	HCoV 229E	〉4.0	Omidbakhsh & Sattar, 2006

MHV: Murine coronavirus, CCV: Canine coronavirus, HCoV: Human coronavirus, TGEV: A coronavirus which infects pigs

탄올(70%), 포비돈-오딘, 클로로옥시레놀(0.05%), 클로로헥시딘(0.05%), 염화 벤잘코늄(0.01%)을 5분 처리했을 때 감염이 가능한 수준의 바이러스 입자가 검출되지 않았다. Yoshimoto 등(2020)은 아세트산과 식초의 SARS-CoV-2 불활성화 효과를 평가하였는데 4%와 6%에서 각각 5분 처리 후 4 $\log_{10}$ 이상의 바이러스를 효과적으로 감소시켰다. WHO는 COVID-19 감염을 줄이기 위해 병원 사용 수준의 소독제[(최종농도 0.05%(500 ppm) 차아염소산나트륨 등의 표백제 또는 과산화수소 0.5%(5000 ppm)]로 환경표면을 세척 및 소독할 것을 권고하였다. 앞서 WHO는 표면에서 바이러스의 불활성화를 위해 70% 에탄올을 권장했다. 그러나 이러한 화학적 소독제는 환경과 인간의 건강에 안전하지 않을 수 있으며, 특히 사람들이 섭취하는 식품과 물에 대해 안전한 적용을 위해서는 지속적인 모니터링이 필요하다. 따라서 식품 표면에 직접 사용할 수 있는 적절한 소독제를 찾고 SARS-CoV-2 감염 위험을 줄이기 위한 적절한 용량 및 방법을 설정하는 것이 필수적이다.

5.2. 열

많은 연구에서 코로나바이러스의 지속성은 다양한 환경 조건, 특히 온도와 상대 습도에 의해 영향을 받는다고 보고하였다. 일반적으로, 온도의 상승은 코로나 바이러스 역가의 감소와 관련이 있으며 상대 습도의 감소는 감염성을 줄일 수 있다고 알려져 있다(Aboubakr et al., 2020). Alex 등(2020)은 70℃에서 5분간의 열처리에 의해 SARS-CoV-2가 억제되었다고 발표하였다. 또한 Henwood(2020)는 SARS-CoV-2를 불활성화하는 데 56-67℃에서 60-90분 동안 처리하면 충분하다고 보고했다. 이러한 결과는 식품이 일반적인 조리온도(70℃)에서 열처리되었을 때 SARS-CoV-2로부터 안전하다는 것을 시사한다.

그러나 SARS-CoV-2가 열에 불안정하지만, SARS-CoV-2의 불활성화에 열처리를 사용하는 데는 여전히 한계가 있을 수 있다. SARS-COV-2와 식품 간의 관계에 대한 매우 제한된 정보 때문에, 바이러스 비활성화에 대한 많은 연구는 다른 코로나바이러스에 대한 이전 연구의 데이터에 의존해왔다. 게다가, 열처리에 의한 불활성화는 많은 신선식품에 적용될 수 없다. 예로, 냉동은 다양한 신선식품을 보존하기 위한 전통적인 방법이자, 바이러스를 옮길 수 있는 매개이지만, 열처리가 불가능하다. 따라서, 신선식품을 통해 바이러스 전염의 위험을 줄일 수 있는 효과적인 대체 수단을 찾는 것이 필요하다.

5.3. 자외선(UV) 처리

WHO는 COVID-19에 대한 지원 치료와 의료장비의 수명 연장 및 포마이트 소독 전략과 함께 입자, 접촉 및 공기 전염과 관련된 감염, 예방 및 제어(IPC) 전략에 대한 지침을 발표했다. 이러한 전략에는 자외선을 기반으로 한 저감화 기술, 병실에서의 로봇 제어를 이용한 UV 표면 소독, 식품 안전에서의 미생물 불활성화 등이 포함된다.

바이러스는 DNA 분자의 최대 흡수 파장이 약 260nm이기 때문에 특히 253.7nm(UVC 범위)에 가까운 파장에서 UV에 취약한 것으로 알려져 있다. 현재 코로나 바이러스에 대한 UV 비활성화 능력에 대한 데이터는 거의 없다(표 3). Darnell 등(2004)은 254nm의 자외선 노출로 SARS-CoV를 불활성화시켰다. 최대 6분까지 효율을 높이는 과정에서 1분에서 부분적인 비활성화를 보였는데, 이때 바이러스가 400배 감소한 것으로 나타났다. UV에 의한 더 큰 비활성화는 UVC 광의 강도가 높거나 광원에 근접했을 때 발생한다. 비록 자외선에 대한 바이러스 간의 민감도는 크게 다를 수 있지만 SARS-CoV와 SARS-CoV-2는 구조적으로 유사하기 때문에 SARS-CoV와 SARS-CoV-2는 자외선으로 인해 유사한 비활성화 효과를 보일 것으로 추정된다. 대부분의 UV 기반 불활성화 연구는 물에 떠 있는 표적 바이러스를 대상으로 수행되었으므로, 이 방법은 물 기반의 식품 및 환경 샘플에 적합할 수 있다. 불활성화 선량은 일반적으로 고체 표면보다 물에서 높은 것으로 알려져 있으며, 공기의 상대습도 및 온도뿐만 아니라 표면의 유형과 구조 등 다양한 요인이 바이러

Table 3. 코로나바이러스에 대한 UV의 효능

Virus		Waves	Intensity of UV	Notes	Reference
SARS-CoV-2	MOI 0.05	254nm	3.7mJ/cm^2	SARS-CoV-2 replication was completely inactivated at UV-C dose of 3.7mJ/cm^2 after 6 days	Bianco et al., 2020
	MOI 5		3.7mJ/cm^2	The UV-C dose of 3.7mJ/cm2 was effective in a reduction of viral replication (3 log reduction after 24 hours).	
	MOI 1000		16.9mJ/cm^2	Viral replication was totally inactivated at a dose 16.9mJ/cm^2.	
SARS-CoV		BSC's UV lamp	134μW/cm^2	After 15min UV exposure, the titer of virus went down to 1.8×10^2 $TCID_{50}$/mL (initial titer was 3.8×10^7 $TCID_{50}$/mL). But, the virus was not completely inactivated (18.8 $TCID_{50}$/mL), even after 60min of irradiation.	Kariwa et al., 2006
SARS-CoV strain P9		260nm	〉90μW/cm^2	After 15 min UV exposure, the CPE of SARS-CoV was reduced from 51~75% to less than 25% and dropped to an undetectable level after 60 min irradiation.	Duan et al., 2003
SARS-CoV		365nm (UV-A)	2133μW/cm^2	For more than 15min, UV-A exposure didn't have significant effects on virus inactivation.	Darnell., 2004
		254nm (UV-C)	4016μW/cm^2	UV-C exposure to virus showed increasing efficiency up to 6min (resulting in a 400-fold decrease in infectious virus). And there was no additional inactivation from 6 to 1 min.	

MOI 0.05: Low-level concentration observed in closed environments (e.g. hospital rooms)
MOI 5: Intermediate-level concentration corresponds to the average concentration found in the sputum of COVID-19 infected patients
MOI 1000: High-level concentration corresponds to that observed in terminally diseased COVID-19 patients
BSC's UV lamp: Biosafety Cabinet's UV lamp (typically 254nm)

스를 비활성화시킬 수 있는 자외선 선량에 영향을 미칠 수 있다.

최근, Bianco 등(2020)은 다양한 UV 선량과 바이러스 농도(1,000, 5, 0.5 MOI)에 대해 물에서 SARS-CoV-2에 대한 UVC 방사선 조사의 영향을 신뢰성 있게 평가했으며, UVC 처리는 254nm, 3.7mJ cm^{2}에서 모든 바이러스 입자를 감소시켰다. Inagaki 등(2020)은 280nm에서 약 38mJ cm^2 선량의 deep UV light-emitting diodes(DUV-LED)를 사용하여 3 $\log_{10}$ SARS-CoV-2의 오염을 제어하였다. 이러한 결과는 COVID-19 확산을 줄이기 위한 효율적인 UV 기반 기술 개발이 필요함을 시사한다. 추가적으로 UV 기반 비활성화 연구는 세균성 UV 기반 방법을 대규모로 적용하기 전에 확실한 유효성 검증뿐만 아니라 정량화를 위한 노출시간과 선량에 관한 중요한 세부 정보 확립에 대한 연구가 필요하다.

6. 코로나 19 이후 식품산업에 대한 전망

6.1. 식량 안보 및 안전에 대한 과제

COVID-19 이후 시대에 대한 식품안전 문제는 매우 중요하다. COVID-19 위기는 식량안보의 위험에 대한 불안감을 일으켰고 이를 해결하기 위한 당국의 관심을 집중시키고 일반 대중 및 민간 식품 부문과의 의사소통을 개선하기 시작했다.

COVID-19 사태의 대응은 정부, 농식품 산업, 규제 당국, 소비자를 포함한 모든 이해 관계자들 사이에서 식품안

전을 추구해 나가는 것이며, 그러한 요구를 촉진하는 것은 식품안전 비용, 성능 평가 및 위해정보교류에 대한 향후 연구에 달려 있다(Roy, 2020). 비록 SARS-CoV-2의 전염과 식품 간의 연관성을 입증하는 정보는 제한적이지만 식품이 잠재적 전파 매개체가 될 가능성을 배제할 수 없으므로 전 세계적으로 COVID-19의 확산을 통제하기 위해 EFSA 및 미국 FDA와 같은 많은 당국에서 식품과 바이러스의 관계에 대해 집중적으로 연구하고 있다.

6.2. COVID-19 이후 식품안전에 대한 한계 및 향후 연구 제안

SARS-CoV-2로 인한 COVID-19 전염병은 전 세계의 모든 분야와 일상 생활의 다양한 측면에 변화를 가져왔다. COVID-19 대유행 기간 및 향후 다가올 기간 동안 식품산업은 식품안전관리 시스템(FSMS)을 엄격하게 따라야 하며 식품안전관리인증(HACCP) 원칙을 기반으로 식품오염 방지를 위해 모든 단계에서의 식품 가공, 제조, 포장 및 마케팅 프로세스 등의 관리지침을 따라야 한다. 비록 코로나 바이러스는 식품에서 증식할 수 없지만 육류, 생선, 새우, 계란과 같은 날 음식을 취급할 때 위험요인을 관리하기 위해 더 많은 연구가 필요하다. 또한 바이러스에 안전한 식품 포장재의 개발 및 교차오염 방지 방법을 찾기 위한 집중적인 연구도 필요하다

유행병 이후 식품시스템의 회복성에 대한 검토 또한 중요한 과제이며, 이는 지속 가능성, 순환 경제, 에너지 및 물의 효율성, 제품 및 공정의 기후 친화적 관행 등을 포함한다. 또한 위기 계획의 가장 큰 과제 중 하나는 기능을 계속할 수 있을 만큼 충분히 탄력적인 식량시스템을 개발하는 것이다. 도시 식량시스템의 복원력을 강화하기 위한 도시 및 지방 정부의 노력이 필요하며, 이를 위해 비상 계획, 직원 교육, 충분한 식량 공급, 식품 공급업체의 인프라, 위치, 서비스 제공 업체, 보험 및 이벤트 후 학습 등 식량 공급망에서 조직 수준의 복원력에 기여하는 다양한 요소를 고려해야 한다. 식품안전을 위해 보다 탄력적인 미래를 향한 변화를 구현하려면 산업, 정책 입안자, 정부 및 소비자를 포함한 주요 이해 관계자가 모두 적극적인 역할을 해야 한다. 농식품 시스템은 지역에서 생산된 식품을 더 많이 사용할 수 있는 이점을 가진 변화의 기회로 이용할 수 있으며 이것은 제3자에 의한 장거리 운송 및 유통에 대한 부담을 줄일 수 있을 것이다.

COVID-19 대유행 기간 동안 습득되고 개발된 안전 기준에 따라 안전한 식품을 위한 패러다임의 변화를 강화해야 한다. 식품과학 및 기술 커뮤니티는 다른 협력 분야 및 이해 관계자와 협업하여 식품부문의 회복을 전략적으로 계획하고 기여해야 하며, 이를 기반으로 식품 공급망이 미래의 다른 전염병에 대응할 준비가 되었는지 확인하는 절차도 필요할 것이다. COVID-19의 위험은 오래 지속될 수 있으므로 식품안전을 보장하기 위해 식품표면 및 주변 환경에서 SARS-CoV-2에 대한 정확하고 빠른 검출 방법을 개발하는 것 또한 중요하다. COVID-19 이후 시대로 넘어가면서 식품산업과 안전한 식품 공급은 식품산업 종사자들 사이의 위생 및 사회적 거리 유지를 포함한 규칙 및 규정과 함께 관련된 바이러스 정확한 분석 개발에 더욱 의존하게 될 것이다.

7. 결론

COVID-19의 위기는 식품산업에서의 새로운 시대를 시작하게 했다. 지금 현재에도 전 세계는 SARS-CoV-2의 발병을 줄이기 위해 싸우고 있다. COVID-19의 역학관계를 이해하고 바이러스의 정확한 전파 경로를 조사하는 것은 매우 어려운 일이다. 식품안전의 측면에서 현재까지 SARS-CoV-2가 오염된 식품과 물의 섭취를 통해 전파된다는 증거는 없다. 그러나 SARS-CoV-2의 다양한 환경 조건 하에서의 안정성과 식품접촉표면을 포함하여 일반적인 접촉 표면에서의 지속성 문제로 인한 의문은 여전히 남아있다. 그러므로 이 바이러스가 식품안전에 미치는 잠재적인 영향을 평가하는 것은 전 세계의 정부와 식품산업 및 소비자들에게 매우 중요한 문제이다. 그러므로 COVID-19 시대 또는 그 이후의 식품안전을 보장하고

SARS-CoV-2를 비활성화하기 위한 적절한 전략을 세우기 위한 다양한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 식품의약품안전처 연구개발비(20162MFDS039)로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Aboubakr, H. A., Sharafeldin, T. A., & Goyal, S. M. (2020). Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: A review. Transboundary and Emerging Diseases, 133 (1510), 6. https://doi.org/10.1111/tbed.13707

2. Alex Chin, J. C., Perera, M., Hui, K., Yen, H. L., Chan, M., & Poon, L. (2020). Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. medRxiv http://doi.org/ 10.1101/2020.03.15.20036673.

3. Chen, S., Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., & Aliakbarian, B. (2020). The role of smart packaging system in food supply chain. Journal of Food Science, 85(3), 517-525. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15046

4. Darnell, M. E. R., Subbarao, K., Feinstone, S. M., & Taylor, D. R. (2004). Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. Journal of Virological Methods, 121(1), 85-91. https://doi.org/10.1016/j.viromet.2004.06.006

5. Dai, M., Li, H., Yan, N., Huang, J., Zhao, L., Xu, et al. (2020). Long-term survival of salmon-attached SARS-CoV-2 at 4℃ as a potential source of transmission in seafood markets. bioRxiv preprint http://doi.org/10.1101/2020.09.06.284695.

6. Das, U. N. (2020). Can bioactive lipids inactivate coronavirus (COVID-19)? Archives of Medical Research, 51(3), 282-286. https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2020.03.004

7. Food and Agriculture Organization. (2020). Urban food systems and COVID-19: The role of cities and local governments in responding to the emergency. https://doi.org/10.4060/ca8600en. (Accessed 2 August 2020).

8. Garraturo, F., del Guidice, C., Morelli, M., Cerullo, V., Libralato, G., Galdiero, E., et al. (2020). Persistence of SARs-CoV-2 in the environment and COVID-19 transmission risk from environmental matrices and surfaces. Environmental Pollution, 265, Article 115010. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115010

9. Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S., & Steinmann, E. (2020). Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. Journal of Hospital Infection, 104(3), 246-251. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.01.022

10. Inagaki, H., Saito, A., Sugiyama, H., Okabayashi, T., & Fujimoto, S. (2020). Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation. Emerging Microbes & Infections, 9(1), 1744-1747. https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1796529

11. Lam, T. T. Y., Jia, N., Zhang, Y. W., Shum, M. H., Jiang, J. F., Zhu, H. C., et al. (2020). Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. Nature, 583, 282-285. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0

12. Mullis, L., Saif, L. J., Zhang, Y., Zhang, X., & Azevedo, M. S. (2012). Stability of bovine coronavirus on lettuce surfaces under household refrigeration conditions. Food Microbiology, 30(1), 180-186. https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.009

13. Otter, J. A., Donskey, C., Yezli, S., Douthwaite, S., Goldenberg, S. D., & Weber, D. J. (2016). Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: The possible role of dry surface contamination. Journal of Hospital Infection, 92(3), 235-250. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2015.08.0276

14. Quevedo-Leon, R., Bastías-Montes, J. M., Espinoza-Tellez, T., Ronceros, B., Balic, I., & Munoz, O. (2020). Inactivation of coronaviruses in food industry: The use of inorganic and organic disinfectants, ozone, and UV radiation. Scientia Agropecuaria, 11(2), 257-266. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.14

15. US Food and Drug Administration Agency. (2020). Food safety and the coronavirus disease 2019 (COVID-

19). https://www.fda.gov/food/food-safety-during-emergencies/food-safety-and-coronavirus-disease-2019-covid-19/. (Accessed 2 September 2020).

16. Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Karesh, W. B., & Munster, V. J. (2014). Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus in milk. Emerging Infectious Diseases, 20(7), 1263 - 1264. https://doi.org/10.3201/eid2007.140500

17. World Health Organization. (2020b). COVID-19 and food safety: Guidance for food businesses. http://www.who.int/publications-detail/covid-19-and-food-safety-guid ance-for-ffod-businesses. (Accessed 11 February 2020).

18. Yoshimoto, J., Ono, C., Tsuchiya, Y., Kabuto, S., Kishi, M., & Matsuura, Y. (2020). Virucidal effect of acetic acid and vinegar on SARS-CoV-2. Preprints https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-37750/v1.

19. Zhou, P., Yang, X., Wang, X., Hu, B., Zhang, L., Zhang, W., et al. (2020). A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. Nature, 579 (7798), 270 - 273. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7

20. Wang, W., Tang, J., & Wei, F. (2020). Updated understanding of the outbreak of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in Wuhan, China. Journal of Medical Virology, 92(4), 441 - 447. https://doi.org/10.1002/jmv.25689

21. Wu, Y., Guo, C., Tang, L., Hong, Z., Zhou, J., Dong, X., et al. (2020). Prolonged persistence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples. The Lancet Gastroenterology & Hepatology, 5(5), 434 - 435. https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30083-2