

## 专家述评

## 新型冠状病毒经冷链食品经营活动引入和传播:现状与防控对策

李凤琴, 李宁

(国家食品安全风险评估中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室, 北京 100021)

**摘要:**新型冠状病毒肺炎严重影响人们的健康和生命安全。部分疫情发生于食品加工和销售场所,并在食品动物屠宰场和食品加工厂环境、食品及其内外包装表面涂抹等样品中检测到新冠病毒核酸,同时从工人搬运的进口冷冻食品外包装阳性样本中分离到活病毒,引发了国际社会对冷链食品可能作为载体传播新冠病毒的广泛关注。本文就冷链食品在新型冠状病毒传播中的作用以及冷链食品从业人群感染风险进行综述。

**关键词:**新型冠状病毒;新型冠状病毒肺炎;冷链食品;污染;污染物传播

**中图分类号:**R155 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-8456(2022)01-0001-06

**DOI:**10.13590/j.cjfh.2022.01.001

**Introduction and transmission of SARS-CoV-2 via producing and trading activities of cold chain food: current situation and countermeasures**

LI Fengqin, LI Ning

(National Center for Food Safety Risk Assessment, Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, Ministry of Health, Beijing 100021, China)

**Abstract:** The outbreak of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) caused by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) has significantly affected the people's health and life. The nucleic acid of SARS-CoV-2 in swabbing samples of the environments of food animal slaughterhouses, food processing plants, as well as foods and their inner or outer packaging has been detected. Particularly, the live virus being isolated from frozen foods has aroused the global public concern on whether cold chain foods can act as a carrier in transmission of SARS-CoV-2. In this article, the role of cold chain food in transmitting SARS-CoV-2 together with the risk of professional practice are reviewed

**Key words:** Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; Coronavirus Disease 2019; cold chain foods; contamination; fomite transmission

新型冠状病毒肺炎(Coronavirus Disease 2019, COVID-19,简称新冠肺炎)是由严重急性呼吸综合征冠状病毒2号(Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2,又称新型冠状病毒,简称新冠病毒)引起的一种严重呼吸系统疾病。自2020年初新冠肺炎疫情发生后,世界正在经历自1918年西班牙流感以来最严重的人畜共患呼吸道传染病大流行。虽然该病的主要传播途径为呼吸道飞沫传播和密切接触传播,但由于部分疫情暴发点起始于肉类、海产品等加工和销售场所,包括我国在内的许多国家也在多起进口冷链食品或其外包装表面检测到新冠病毒核酸,引起了国际社会对冷

链食品与新冠病毒传播关联性的广泛关注。本文就国内外与冷链食品相关新冠肺炎疫情暴发、与新冠病毒传播相关因素等进行综述及分析。

### 1 国外食品加工场所聚集性新冠肺炎疫情发生情况

新冠病毒感染者、被新冠病毒污染的冷链食品/食品包装材料一旦进入农贸批发市场、冷冻食品加工厂、食品生产车间等人员密集、通风不良、潮湿低温的场所,引起传播和扩散的风险较高、引发聚集性疫情的可能性较大。这些高风险场所一旦有新冠肺炎暴发,会在短时间内迅速影响大量人群。自2020年初新冠疫情暴发之后,多国在食品动物屠宰场、肉制品加工厂等场所等暴发聚集性新冠肺炎疫情,并从食品及其加工环境中检出新冠病毒核酸。截至2020年4月27日,美国19个州的115个肉类加工厂的13万员工中,已有4913人感染新冠病毒,其中20人死亡<sup>[1]</sup>。为了更好地了解新冠肺炎

收稿日期:2021-12-21

作者简介:李凤琴 女 研究员 研究方向为食品微生物

E-mail: lifengqin@cfsa.net.cn

通信作者:李宁 女 研究员 研究方向为毒理学

E-mail: lining\_65@163.com

对全美肉类和禽类加工人员的影响,2020年6月6日,美国疾病预防控制中心要求各州卫生部门报告截至2020年5月31日所有新冠肺炎涉疫肉类(包括牛肉、野牛肉、小牛肉、羊肉、猪肉、家禽及其他)加工厂工人的监测数据,结果有28个州(56%,28/50)做出了回应,其中23个州(82%)的239家工厂存在1例以上的新冠肺炎确诊病例,共计报告16233例新冠肺炎患者和86例(0.53%)与新冠肺炎相关的死亡病例。其中在上报了涉疫工厂员工总数的14个州、112616名工人中,平均有9.1%的员工被确诊为新冠肺炎(范围:3.1%~24.5%),每个州受影响工厂数量的中位数为7个(四分位距为3~14)<sup>[2]</sup>。最新数据显示,截至2021年3月11日,美国至少有1399家肉类和食品加工厂、388个农场和生产商共报告88203例新冠肺炎患者,其中376人死亡<sup>[3]</sup>。因缺乏涉疫工厂中不同种族人员的总数及相应人口统计学资料,无法获得肉类加工行业中不同种族、少数族裔群体新冠病毒感染率、感染后结局的差异资料。

鉴于德国肉类加工业偶有新冠病毒感染者,德国多个州政府于2020年5月对肉类加工厂全体员工进行新冠病毒核酸检测,其中就包括位于北莱茵威斯特法伦州、居特斯洛县、雷达-维登布吕克镇最大的一家从事食品动物屠宰、牛肉和猪肉精加工以及包装的肉类加工厂,以及位于下萨克森州、奥斯纳布吕克县迪森镇从事猪剔骨业务的加工厂。两个工厂中分别有94人(33.7%,94/279)和4人(0.06%,4/6289)新冠病毒核酸检测结果为阳性。继此次检测之后,6月第一个工厂不同工作区域的工人新冠肺炎感染者数量持续增加,6月17~23日期间已经发现了1400多例阳性感染者。流行病学溯源调查结果显示,在肉类加工厂封闭工作区工作的首个指示病例,之前曾与疑似新冠病毒感染者接触,密闭的工作环境使该病例将病毒传播给一起工作的近60%同事,从而引发包括1413名工人在内的后续感染<sup>[4]</sup>。

加拿大的肉类加工业是整个食品加工业GDP的最大贡献者,2020年的贡献率超过21%,远高于果蔬保鲜和特色食品加工(11%)及乳制品加工(11%)。而新冠疫情暴发以来,加拿大的多家大型肉类和家禽加工厂包括阿尔伯塔省和安大略省的嘉吉(Cargill)工厂、阿尔伯塔省的JBS工厂、安大略省的康尼斯托加(Conestoga)工厂、魁北克省和阿尔伯塔省的奥利梅尔(Olymel)工厂、阿尔伯塔省的和諧(Harmony)肉类加工厂等均暴发了新冠肺炎疫情。截至2020年2月,共有4500多名肉类加工厂

工人新冠病毒检测呈阳性。此后,在加拿大牛肉、猪肉和家禽以及其他劳动密集型加工厂也发生了数百名工人新冠病毒检测呈阳性<sup>[5-7]</sup>。由此导致肉类加工厂关闭或产能下降、肉类产品零售价格上涨,牲畜库存过剩、活畜价格下跌、养牛和生猪生产商损失惨重<sup>[8]</sup>。此外,在新冠疫情同样严重的英国、葡萄牙、爱尔兰、巴西等国家也有肉类加工厂内暴发新冠肺炎聚集性疫情的报道<sup>[9-10]</sup>。

造成上述肉类加工厂聚集性疫情暴发的主要原因是(1)工人在工作场所长时间聚集(每8-12h轮班一次);(2)工友们相互间长时间( $\geq 15$  min)密切(间隔距离 $< 1.8$  mm)接触;(3)处于同一个环境中,在工作空间上有密接机会;(4)屠宰场或肉类加工厂一般离市中心较远,上下班路上共享同一工厂班车或公共交通工具;(5)工人住集体宿舍,导致下班后同事间接触频繁。一旦有病例引入,上述因素极易导致厂内的大范围传播。

## 2 我国与冷链食品相关新冠肺炎疫情聚集性爆发情况

自武汉新冠疫情后,我国各地不断有聚集性疫情发生。2020年4月至2021年7月15日,我国共报告本土新冠肺炎疫情37起、感染者5741例。其中,7起是被新冠病毒污染的进口冷链产品及其外包装引发的关联性疫情,涉及感染者689例。溯源调查结果均显示引发疫情的病毒均来源于境外输入的冷链产品及其外包装。2020年6月北京发生的新冠肺炎疫情,共发现新冠病毒感染者368人。这些感染者均与新发地市场有直接或者间接关联,其中169人是新发地市场的工作人员,103人于5月30日至6月12日期间去过新发地市场,其余96人均均为上述人员的密切接触者,且未发现独立于该市场以外的早期传播链或独立传播链,提示新发地市场是此次疫情暴发的单一源头。从病例和环境样本中获得的病毒基因组序列分析表明,这些序列均具有8个特征性突变位点,且这些突变位点在我国之前的本土和输入病例中从未发现过。其中7个突变位点的病毒主要存在于欧洲。从病例、销售环境、供货商库存剩余的未开封三文鱼样品中获得的病毒基因组序列分析结果表明,该次疫情应为单一性的境外输入,可能为被病毒污染的进口冷冻三文鱼将病毒引入新发地批发市场引发了疫情,并在国际上首次提出被污染的冷链食品可能介导了新冠病毒传播这一新理念<sup>[11]</sup>。2020年7月22日辽宁大连疫情的源头是码头搬运工人接触被病毒污染的进口冷冻鳕鱼外包装而被感染,继而将病毒通

过其家属传入某海鲜加工车间并向外扩散引发的疫情<sup>[12]</sup>。然而由于北京和大连疫情未能从冷链食品相关样品中分离到活病毒,因此尚不能确证冷链食品污染的新冠病毒在新冠肺炎疫情传播中的作用。

2020年9月,山东青岛的2名码头工人因装卸污染的进口鳕鱼外包装而感染,并通过医院就医过程向外扩散引发疫情。2名无症状感染的码头工人均无疫情高风险区居住史、也无新冠肺炎患者和海外来访者的接触史,但都有在同一艘货轮的2个不同储存仓连续10h搬运进口冷冻鳕鱼的工作史,且2人在搬运冷冻鳕鱼期间都有摘下口罩吸烟、吸烟前未洗手、戴口罩不规范等行为,而同时参与搬运冷冻鳕鱼并在搬运过程中未吸烟的其他69位搬运工均未被感染,并首次从污染的鳕鱼外包装样本中成功分离到活的新冠病毒。病毒基因序列比对和分析结果显示,码头搬运工人感染的病毒是鳕鱼外包装阳性样本病毒分离株的子代病毒,进一步说明鳕鱼外包装污染的新冠病毒是引起青岛新冠肺炎疫情的源头<sup>[13]</sup>。

2020年11月天津滨海新区发生的两起新冠肺炎疫情均为冷链搬运工人在工作中接触被病毒污染的进口冷冻食品或环境后感染引发;2020年12月辽宁大连疫情源自码头工人搬运进口冷链货物造成感染,进而引发较大范围的社区传播;而引发2021年5月辽宁营口-安徽六安疫情的病毒序列与2020年7月22日大连疫情在进口鳕鱼中检测到的病毒序列高度同源。进一步调查发现,引起辽宁营口-安徽六安疫情的病毒源头均为2020年6月大连入境、并在2020年7月引起大连疫情的被病毒污染的进口鳕鱼。继2020年7月大连疫情后,该批被污染的冷冻鳕鱼在冷库内被封存近11个月,但仍引起了后续感染,说明冷冻条件下病毒可长时间存活并可感染人类。

我国上述多起与冷链食品相关的聚集性新冠肺炎疫情的暴发,说明:(1)食品及其包装材料表面污染的新冠病毒在低温条件下可以存活较长时间,-18℃冷冻条件下至少存活11个月,并保持其活性和感染力;(2)冷链食品可以作为新冠病毒远距离跨境传播的载体;(3)鉴于货船装卸工作机械化程度低,工人搬运冷链物品时需要肩扛背托、货物有紧贴脸部的行为,若搬运工人个人防护不到位,极易在工作中被感染,因此码头工人是高风险人群;(4)搬运工人在-20℃的冷库、冷冻货运船舱等特殊作业场所工作过程中,即使佩戴N95口罩、防护面屏或护目镜,由于劳动强度大,作业过程中因出

汗、产生的哈气等遇冷易结冰,给工作造成不便,造成工人工作过程中摘下防护用具的情况时有发生,导致自我防护难度加大,加之工作场所密闭不通风,搬运活动产生大量气溶胶,一旦冷冻物品外包装被新冠病毒污染,极易导致工人的感染。因此亟待加强冷冻环境作业人员个人防护用品的研发;(5)青岛疫情进一步佐证,人类直接、反复接触活的、有传染性的新冠病毒污染的冷链产品,可导致感染新冠病毒并引发疫情。

### 3 与新冠病毒传播相关因素研究

#### 3.1 食品动物在新冠病毒传播中的作用

目前对新冠病毒的传播途径尚未完全明了。最初怀疑源自蝙蝠<sup>[13-16]</sup>,即人类通过与中间宿主动物的直接接触而感染,其理由是武汉2019年底发生的急性肺炎暴发与武汉华南海鲜批发市场有关,该市场出售家禽、蝙蝠、蛇、青蛙、刺猬、土拨鼠等外来野生活体动物<sup>[17-20]</sup>。尽管有报道称SARS-CoV-2与严重急性呼吸综合征冠状病毒(Severe acute respiratory syndrome coronavirus, SARS-CoV)一样可通过细胞表面受体血管紧张素1转化酶2(Angiotensin converting enzyme 2, ACE2)进入细胞,提示SARS-CoV-2可能与SARS-CoV具有相同的宿主范围。这种由ACE2与S蛋白相互作用介导的病毒进入受感染细胞是SARSCoV-2跨种传播的前提条件。但对410种脊椎动物ACE2序列的计算机分析显示,只有哺乳动物的ACE2与SARS-CoV-2的S蛋白结合分数较高(得分范围:中级别到非常高级别),因此预测鸟类、鱼类、爬行动物和两栖动物的ACE2蛋白不太可能与SARS-CoV-2的S蛋白结合,这表明哺乳动物以外的脊椎动物类不太可能是SARS-CoV的中间宿主或宿主<sup>[21]</sup>,因此将SARS-CoV-2传播给人类的确切动物中间宿主仍不确定<sup>[22-24]</sup>。

新冠病毒是一种人畜共患病毒,可能具有广泛的哺乳动物宿主范围,可在养殖水貂、家猫、狗、圈养老虎、美洲狮和狮子间跨种传播并表现出反向人畜共患病特征。水貂因对新冠病毒高度敏感而备受关注。迄今为止,美国、荷兰、瑞典、意大利、丹麦、法国、加拿大、希腊、立陶宛、西班牙和波兰等均已报道人感染后可将病毒传给水貂,从而导致养殖水貂感染新冠病毒的情况<sup>[25]</sup>。到目前为止,已发现对新冠病毒易感的动物包括中国马蹄蝠(*Rhinolophus sinicus*)、喜马拉雅棕榈果子狸(*Paguma larvata*)、埃及果蝠(*Rousettus aegyptiacus*)、猫、养殖貂、雪貂、叙利亚仓鼠、浣熊、松鼠、兔子、羊、牛、马、鼬、臭鼬、猩猩、普通狨猴、穿山甲、猕猴(*Macaca fascicularis*和*Macaca mulatta*)、圈养

老虎、狮子和猿等。对新冠病毒不易感的动物包括家禽(鸡、鸭、火鸡、鹅、鸽子)、貉、刺猬、鸭嘴兽、豚鼠、大象、袋鼠、猫鼬、水生食品动物(鲭鱼、甲壳类、软体动物、两栖类)等。猪和狗对新冠病毒的易感性尚有争议。

### 3.2 新冠病毒的环境稳定性与传播风险

随着疫情的发展及全球范围内的大流行,人与人之间的直接接触传播被认为是主要传播途径,即通过密切接触直接人传人、污染物传播(Fomite transmission,即接触被污染的物体表面传播),但也不排除通过粪口途径传播的可能<sup>[26]</sup>。随后提出受污染的冷链食品可能作为载体成为新冠病毒在不同国家和地区间传播的假设<sup>[27]</sup>。

病毒在环境中的稳定性受温度、相对湿度、pH值和病毒特性(有、无包膜)等因素的影响。Taylor等研究了21℃~23℃、40%的相对湿度条件下,SARS-CoV-2和SARS-CoV在气溶胶和各种物体表面(不锈钢、铜和纸板)7d内的稳定性。结果显示,两种病毒在气溶胶中均可存活3h以上,在塑料和不锈钢表面可存活72h。SARS-CoV-2和SARS-CoV在纸板上可分别存活24和8h,在铜质物体表面可分别存活4和8h<sup>[28]</sup>。这些研究证明了气溶胶和污染物中的SARS-CoV-2的传播潜力。

除直接接触和污染物传播外,在包括粪便<sup>[29-32]</sup>、血液<sup>[33]</sup>、泪液<sup>[34]</sup>、唾液<sup>[35]</sup>、牛奶<sup>[36]</sup>、尿液<sup>[37]</sup>和精液<sup>[38]</sup>等非呼吸道体液样本中也检测到了SARS-CoV-2,这些生物材料在传播中的作用尚不确定,有待进一步研究。

### 3.3 食品表面新冠病毒污染与传播

DAI等<sup>[40]</sup>在4℃储存条件下对三文鱼片上污染SARS-CoV-2(剂量 $104.5 \log_{10} \text{TCID}_{50}/\text{mL}$ )的存活率进行了研究,结果显示,SARS-CoV-2在4℃和25℃条件下可分别存活8和2d并保持其感染力,这表明SARS-CoV-2在4℃冰箱或临时储存水产品的冷库内可存活1周以上。另一项研究在三文鱼、鸡肉和猪肉片中分别添加了剂量为 $10^6 \log_{10} \text{TCID}_{50}/\text{mL}$ 的SARS-CoV-2病毒,继而将3种食品分别在4℃、-20℃和-80℃条件下储存21d,结果显示,病毒滴度在3个温度条件下21d内均保持不变,既没有病毒复制也没有病毒死亡<sup>[39]</sup>。上述两项研究表明,国际贸易往来中的肉类、水产品等一旦被SARS-CoV-2污染,在其正常的低温储存温度下和运输时间内,病毒仍存活并保持其感染力,进一步支持了被病毒污染的冷链食品可能是引发北京和大连新冠肺炎疫情的推测。但未见进食食物与新冠病毒感染间的直接关系报道<sup>[41-42]</sup>。

### 3.4 食品基质与新冠病毒的互作

新冠病毒是一种有包膜的病毒,与无包膜的肠道病毒相比,在环境中的稳定性较差,因此安全正确的食品加工操作、适当的烹饪加热均可降低因接触受污染食品对健康带来的风险。虽然到目前为止国内外均无因进食受新冠病毒污染的食品而发生新冠肺炎的病例报道,但越来越多的证据表明新冠病毒可感染胃肠道<sup>[43-44]</sup>,尽管不能排除新冠肺炎经粪-口途径传播的可能,但有必要对新冠病毒在食品中的存活情况进行科学评价。

病毒在不同食品基质、不同存储时间和存储温度下的存活时间不一,这也和病毒本身的特性有关。每种病毒在不同基质食物上的稳定性各异,可能也与食物中的水分或蛋白质含量有关。DHAKAL等<sup>[45]</sup>将单纯疱疹病毒1(Herpes Simplex Virus 1, HSV-1)和新冠病毒接种于肉类(鸡肉、猪肉)、海产品(虾、三文鱼)、果蔬(蘑菇、菠菜和苹果)上,HSV-1的接种量为 $1 \times 10^6$  PFU,新冠病毒接种量为 $1 \times 10^5$  PFU。用漂洗和揉搓两种方法处理后,模拟冰箱储存温度于4℃条件下放置0、1和24h,测定处理液中具有感染性病毒的滴度及回收率,同时用PCR方法检测核酸。结果显示,不同基质的食品处理液中病毒回收率各异。鸡肉、三文鱼、虾和菠菜中新冠病毒在三个时间点的回收率范围为3.4~4.3 logPFU/mL,而病毒在苹果和蘑菇上的初始(0h)回收率明显低于禽肉和海鲜,且具有传染性病毒的回收率随着时间的延长而降低。苹果显示出明显的抗HSV-1病毒的作用,但却无抗SARS-CoV-2的作用。蘑菇也具有较强的抗病毒作用,24h内可使具有传染性的HSV-1病毒颗粒降低到不足10个,且作用1h可使新冠病毒完全检测不到。因此,某些食品或农产品成分中含有抗SARS-CoV-2的活性物质。鉴于食品中病毒基因组拷贝数与病毒的传染性间无关联,因此PCR方法只能作为一种衡量食品中是否有病毒污染的筛选,如需了解污染的病毒是否具有感染性,还必须进行活病毒传染性的验证。

不同温度下对与SARS-CoV-2同一个属内、特性相似的MERS-CoV在未消毒骆驼奶、山羊奶和牛奶中的稳定性研究显示<sup>[46]</sup>,牛奶中接种105.5/mL剂量的病毒后,在-80℃、4℃或22℃条件下放置0、8、24、48和72h,结果在4℃下放置72h后,病毒感染力降低了64%,降低的程度因牛奶类型而异。22℃时感染力的丧失比4℃时要快;山羊奶中的病毒在22℃下放置48h后,其感染力下降99%,63℃处理30min(巴氏杀菌条件)后,各种牛奶中

均未检测到有感染性的病毒,因此食品基质成分影响病毒的感染力。

#### 4 结语及展望

尽管新冠肺炎既不是食品安全问题,也不是食源性疾病,但疫情流行期间可影响食品安全。食品、食品包装材料表面一旦被新冠病毒严重污染,且在高湿、通风不良的环境下搬运、加工或销售,有可能作为病毒载体传播新冠肺炎。为了降低来自冷链食品传播的风险,国务院联防联控机制先后制定并颁布了“冷链食品生产经营新冠病毒防控技术指南和冷链食品生产经营过程新冠病毒防控消毒技术指南”(联防联控机制综发[2020]245号)、“新冠肺炎疫情防控冷链食品分级分类处置技术指南”(联防联控机制综发[2021]45号)等一系列与冷链食品防控相关的指导性文件,未来在加强食品加工和存储安全操作、持续的环境监测、加强食品加工零售场所个人防护宣教、防止食品意外污染的同时,应开展对冷链食品传播人类机制研究,并加强不同类别食品基质与新冠病毒的互作研究,以便有针对性采取防控措施,降低来自被污染冷链食品的风险。

#### 参考文献

- [ 1 ] DYAL J W, GRANT M P, BROADWATER K, et al. COVID-19 among workers in meat and poultry processing facilities-19 states, April 2020[J]. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2020, 69(18): 557-561.
- [ 2 ] WALTENBURG M A, VICTOROFF T, ROSE C E, et al. Update: COVID-19 among workers in meat and poultry processing facilities-United States, April-may 2020[J]. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2020, 69(27): 887-892.
- [ 3 ] LEAH DOUGALAS. Mapping Covid-19 Outbreaks in the Food System[J/OL]. *Food & Environment Reporting Network*. (2020-04-22) [2021-11-01]. <https://thefern.org/2020/04/mapping-covid-19-in-meat-and-food-processing-plants/>.
- [ 4 ] GÜNTHER T, CZECH-SIOLI M, INDENBIRKEN D, et al. SARS-CoV-2 outbreak investigation in a German meat processing plant[J]. *EMBO Molecular Medicine*, 2020, 12(12): e13296.
- [ 5 ] MIDDLETON J, REINTJES R, LOPES H. Meat plants-a new front line in the covid-19 pandemic [J]. *BMJ*, 2020, 370: m2716.
- [ 6 ] LUSK J L, TONSOR G T, SCHULZ L L. Beef and pork marketing margins and price spreads during COVID-19 [J]. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2021, 43(1): 4-23.
- [ 7 ] MALLORY M L. Impact of COVID-19 on medium-term export prospects for soybeans, corn, beef, pork, and poultry [J]. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2021, 43(1): 292-303.
- [ 8 ] NICKEL R. Cargill to close Canadian beef plant after coronavirus outbreak. Reuters, <https://ca.news.yahoo.com/cargill-closes-part-canadian-beef-214418662.html>. 2020, Dec 17.
- [ 9 ] HALLIDAY J. Over 450 Cases of COVID-19 Reported at Food Factories in England and Wales [OL]. <https://www.theguardian.com/uknews/2020/jun/25/over-450-covid-19-cases-reported-at-food-factories-in-england-and-wales>.
- [ 10 ] AGOSTINHO S. Coronavirus Outbreak Continues to Leave Workers at Meat Plants Despite All Measures on the Ground. (2020). Available online at: <https://www.jornalvalorlocal.com/nuacutemero-de-casos-de-covid-jaacute-chegaaos-26-na-sonae-e-aos-129-na-avipronto.html> (accessed January 18, 2020).
- [ 11 ] PANG X H, REN L L, WU S S, et al. Cold-chain food contamination as the possible origin of COVID-19 resurgence in Beijing [J]. *National Science Review*, 2020, 7(12): 1861-1864.
- [ 12 ] MA H L, ZHANG J Q, WANG J, et al. COVID-19 outbreak caused by contaminated packaging of imported cold-chain products—Liaoning Province, China, July 2020 [J]. *China CDC Weekly*, 2021, 3(21): 441-447.
- [ 13 ] MA H L, WANG Z G, ZHAO X, et al. Long distance transmission of SARS-CoV-2 from contaminated cold chain products to humans—Qingdao city, Shandong Province, China, September 2020 [J]. *China CDC Weekly*, 2021, 3(30): 637-644.
- [ 14 ] PARASKEVIS D, KOSTAKI E G, MAGIORKINIS G, et al. Full-genome evolutionary analysis of the novel corona virus (2019-nCoV) rejects the hypothesis of emergence as a result of a recent recombination event [J]. *Infection, Genetics and Evolution*, 2020, 79: 104212.
- [ 15 ] JI W, WANG W, ZHAO X F, et al. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV [J]. *Journal of Medical Virology*, 2020, 92(4): 433-440.
- [ 16 ] LAU S K P, LUK H K H, WONG A C P, et al. Possible bat origin of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 [J]. *Emerging Infectious Diseases*, 2020, 26(7): 1542-1547.
- [ 17 ] ZOU L R, RUAN F, HUANG M X, et al. SARS-CoV-2 viral load in upper respiratory specimens of infected patients [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2020, 382(12): 1177-1179.
- [ 18 ] ZHU N, ZHANG D Y, WANG W L, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019 [J]. *The New England Journal of Medicine*, 2020, 382(8): 727-733.
- [ 19 ] CHEN N S, ZHOU M, DONG X, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study [J]. *The Lancet*, 2020, 395(10223): 507-513.
- [ 20 ] LU H Z, STRATTON C W, TANG Y W. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan, China: the mystery and the miracle [J]. *Journal of Medical Virology*, 2020, 92(4): 401-402.
- [ 21 ] JALAVA K. First respiratory transmitted food borne outbreak? [J]. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2020, 226: 113490.
- [ 22 ] DAMAS J, HUGHES G M, KEOUGH K C, et al. Broad host range of SARS-CoV-2 predicted by comparative and structural

- analysis of ACE2 in vertebrates[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020, 117(36): 22311-22322.
- [23] ZHOU P, YANG X L, WANG X G, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin [J]. Nature, 2020, 579(7798): 270-273.
- [24] LETKO M, MARZI A & MUNSTER V. Functional assessment of cell entry and receptor usage for SARS-CoV-2 and other lineage B betacoronaviruses[J]. Nature Microbiology, 2020, 5, 562-569.
- [25] WAN Y S, SHANG J, GRAHAM R, et al. Receptor recognition by the novel coronavirus from Wuhan: an analysis based on decade-long structural studies of SARS coronavirus[J]. Journal of Virology, 2020, 94(7): e00127-e00120.
- [26] SHARUN K, TIWARI R, NATESAN S, et al. SARS-CoV-2 infection in farmed minks, associated zoonotic concerns, and importance of the One Health approach during the ongoing COVID-19 pandemic[J]. The Veterinary Quarterly, 2021, 41(1): 50-60.
- [27] SHEREEN M A, KHAN S, KAZMI A, et al. COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses[J]. Journal of Advanced Research, 2020, 24: 91-98.
- [28] HAN J, ZHANG X, HE S, et al. Can the coronavirus disease be transmitted from food? A review of evidence, risks, policies and knowledge gaps[J]. Environmental Chemistry Letters, 2020, 19(5): 1-12.
- [29] European Food Safety Authority. Coronavirus: no evidence that food is a source or transmission route[J/OL]. (2020-03-29) [2021-11-05]. <http://www.efsa.europa.eu/en/news/coronavirus-no-evidence-food-source-or-transmission-route>.
- [30] WU Y J, GUO C, TANG L T, et al. Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples [J]. The Lancet Gastroenterology & Hepatology, 2020, 5(5): 434-435.
- [31] WANG W L, XU Y L, GAO R Q, et al. Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens[J]. JAMA, 2020, 323(18): 1843-1844.
- [32] XU Y, LI X F, ZHU B, et al. Characteristics of pediatric SARS-CoV-2 infection and potential evidence for persistent fecal viral shedding[J]. Nature Medicine, 2020, 26(4): 502-505.
- [33] CHEN W L, LAN Y, YUAN X Z, et al. Detectable 2019-nCoV viral RNA in blood is a strong indicator for the further clinical severity[J]. Emerging Microbes & Infections, 2020, 9(1): 469-473.
- [34] CHEN N S, ZHOU M, DONG X, et al. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study [J]. The Lancet, 2020, 395(10223): 507-513.
- [35] WU P, DUAN F, LUO C H, et al. Characteristics of ocular findings of patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Hubei Province, China [J]. JAMA Ophthalmology, 2020, 138(5): 575-578.
- [36] TO K K W, TSANG O T Y, YIP C C Y, et al. Consistent detection of 2019 novel coronavirus in saliva [J]. Clinical Infectious Diseases, 2020, 71(15): 841-843.
- [37] World Health Organization. 2020b. Breastfeeding and COVID-19. Scientific Brief; June 23, 2020. <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/breastfeeding-and-covid-19> (Accessed July 14, 2020).
- [38] GUAN W, NI Z-Y, HU Y, et al. China medical treatment expert Group for Covid-19. Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China. New England Journal of Medicine, 2020, 382, 1708-1720.
- [39] TAYLOR D, LINDSAY AC, HALCOX JP, et al. Aerosol and surface stability of SARSCoV-2 as compared with SARS-CoV-1 [J]. New England Journal of Medicine, 2020, 382: 1564-1567.
- [40] DAI M M, LI H N, YAN N, et al. Long-term survival of SARS-CoV-2 on salmon as a source for international transmission [J]. The Journal of Infectious Diseases, 2020, 223(3): 537-539.
- [41] FISHER D, REILLY A, ZHENG A, et al. Seeding of outbreaks of COVID-19 by contaminated fresh and frozen food. BioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.08.17.255166> preprint. (This version posted on August 18, 2020).
- [42] DESAI A N, ARONOFF D M. Food safety and COVID-19[J]. JAMA, 2020, 323(19): 1982.
- [43] LI D G, JIN M L, BAO P T, et al. Clinical characteristics and results of semen tests among men with coronavirus disease 2019 [J]. JAMA Network Open, 2020, 3(5): e208292.
- [44] MENG X J, LIANG T J. SARS-CoV-2 infection in the gastrointestinal tract: fecal-oral route of transmission for COVID-19? [J]. Gastroenterology, 2021, 160(5): 1467-1469.
- [45] JIAO L, LI H Y, XU J W, et al. The gastrointestinal tract is an alternative route for SARS-CoV-2 infection in a nonhuman primate model [J]. Gastroenterology, 2021, 160(5): 1647-1661.
- [46] VAN DOREMALEN N, BUSHMAKER T, KARESH W B, et al. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus in milk [J]. Emerging Infectious Diseases, 2014, 20(7): 1263-1264.