

新型冠状病毒对冷链运输食品质量安全的影响

张玮珊^{1,2}, 胡新玲¹, 律娜¹, 米凯霞^{1,2*}

(1. 中国科学院微生物研究所, 病原微生物与免疫学重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学存济医学院, 北京 101408)

摘要: 新型冠状病毒(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, SARS-CoV-2)会导致人类严重的呼吸综合征。自2019年暴发以来,它一直在干扰人们的正常生活。流调和溯源分析表明,在许多进口冷链食品的外包装和表面上都发现了SARS-CoV-2,特别是青岛市港口操作人员的感染案例中,矛头再次指向冷链运输。大量研究表明,SARS-CoV-2可以在低温下存活并保持高传染性。同时,它在塑料包装和各种食品表面上也显示出很强的生存能力和稳定性,使进口冷链食品成为一种媒介,并引发了疫情的再次暴发。本文主要总结了SARS-CoV-2在冷链物流中的生物学特性及其传播过程,以及对冷链传播的预防和控制措施,为今后对冷链物流、冷冻食品的监控提供指导,为食品质量和安全及疫情防控提供一定的参考。

关键词: 新型冠状病毒; 冷链物流; 冷链食品; 食品质量安全

Influence of SARS-CoV-2 on the quality and safety of cold chain transportation food

ZHANG Wei-Shan^{1,2}, HU Xin-Ling¹, LV Na¹, MI Kai-Xia^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Pathogenic Microbiology and Immunology, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Savaid Medical School, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101408, China)

ABSTRACT: The severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) can cause severe respiratory syndrome in humans. Since the outbreak in 2019, it has been interfering with people's normal life. Retrospective study and news showed that SARS-CoV-2 was found on the outer packaging and surface of many imported cold chain foods, especially the infection case of port handlers in Qingdao, which once again pointed the spearhead at cold chain transportation. A large number of studies have shown that SARS-CoV-2 can survive at low temperatures and maintain high infectivity. Meanwhile, it also showed strong survivability and stability on the surface of plastic packaging and various foods, making imported cold chain food a medium and triggering another outbreak of the disease. This paper mainly summarized the biological characteristics and transmission process of SARS-CoV-2 in cold chain logistics, and the prevention and control measures for cold chain transmission, which provides guidance for the control of cold chain logistics and frozen food in the future, and provides certain reference for food quality and safety and epidemic prevention and control.

KEY WORDS: severe acute respiratory syndrome coronavirus 2; cold chain logistics; cold chain food; quality and safety of food

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1603900、2017YFA0505901)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Project (2018YFC1603900, 2017YFA0505901)

*通信作者: 米凯霞, 博士, 研究员, 主要研究方向为重要病原菌的耐药机制。E-mail: mik@im.ac.cn

*Corresponding author: MI Kai-Xia, Ph.D, Professor, Institute of Microbiology, Chinese Academy of Science, No.3, No.1 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing 100101, China. E-mail: mik@im.ac.cn

0 引言

冠状病毒是一种具有囊膜和线性单链基因组的 RNA 病毒,最早被发现于 20 世纪 60 年代^[1],在自然界中广泛存在^[2]。目前,冠状病毒分为 4 个属: α 、 β 、 γ 和 δ ^[3]。这种病毒仅感染脊椎动物,常见的宿主是人、鼠、猪、鸡和禽类。已知 6 种类型的冠状病毒可引起人类疾病,其中 4 种是冠状病毒 229E (human coronavirus 229E, HCoV-229E)、冠状病毒 OC43 (human coronavirus OC43, HCoV-OC43)、人冠状病毒 NL63 (human coronavirus NL63, HCoV-NL63)、人冠状病毒 HKU1 (human coronavirus HKU1, HCoV-HKU1),另外 2 种分别是严重急性呼吸综合征病毒 (severe acute respiratory syndrome coronavirus, SARS-CoV) 和中东呼吸综合征病毒 (middle east respiratory syndrome coronavirus, MERS-CoV)^[4]。SARS-CoV 是 2003 年暴发的严重急性呼吸综合征的病原体;MERS-CoV 是 2012 年暴发的严重呼吸道疾病的病原体^[5]。2019 年 12 月暴发的冠状病毒相关急性呼吸道疾病在全世界范围内蔓延^[6],随后于 2020 年 1 月 30 日被确认为国际关注的紧急公共卫生事件^[7]。自 2003 年以来,仅在 20 年内就发生了 3 起由冠状病毒引起的流行病。这无疑引起了人们极大的关注。对于这次大流行肺炎的病原体,国际病毒分类委员会的冠状病毒科研究小组(International Committee on Taxonomy of Viruses- Coronaviridae Study Group, ICTV- CSG)评估了其在冠状病毒科中的地位。根据系统发育、分类和惯例,CSG 发现该病毒与严重急性呼吸综合征相关冠状病毒-人类和蝙蝠严重急性呼吸综合征冠状病毒(SARS-CoV)的原型形成了姐妹分支,因此将其命名为 SARS-CoV-2^[8],界定属于 β 属,成为第 7 种可以感染人类宿主的冠状病毒。截至 2021 年 5 月,全球已诊断出超过 1 亿病例,死亡 354 万例以上^[9]。

呼吸道和肺作为人体与外界气体交流的重要通道,表达大量的 SARS-CoV-2 的受体-血管紧张素转换酶 2 (angiotensin-converting enzyme 2, ACE2)。在唾液腺导管上皮形态相容性细胞中表达的 ACE2 也被认为是 SARS-CoV-2 感染的早期靶点^[10]。因此,呼吸道被认为是 SARS-CoV-2 的主要入口^[11]。该特性决定了 SARS-CoV-2 的传播途径主要是直接传播和气溶胶传播。直接传播是指由患者打喷嚏、咳嗽、说话的飞沫和直接呼出的空气引起的感染^[12];而在某些高风险的操作环境中经常发生气溶胶传播^[13],这是指在空气中飞散的泡沫混合物形成气溶胶,吸入时会引起感染^[14]。受感染的患者通常会出现一系列症状,例如干咳、疲劳和呼吸困难。在对患有新冠肺炎感染的患者进行活检和尸检的研究中,还发现患者肺部显示出严重的内皮损伤、细胞内病毒的存积和细胞膜破坏,同时,病理结果还显示出弥漫性肺泡损伤,肺泡壁弥漫性增厚

等^[15]。除了上述的传播方式外,接触传播这一途径也不可小觑。所谓接触传播,是指携带着病毒的飞沫沉积在物品表面,手被接触污染后,再接触口腔、鼻腔和眼睛等黏膜,进而导致的感染^[16],这无疑增加了预防和控制难度。2020 年 6 月 12 日,北京出现了新冠肺炎确诊病例。根据溯源性调查,研究人员在北京新发地农产品批发市场的进口三文鱼切菜板上发现了 SARS-CoV-2,随后,报告了 200 多例与该市场有关的确诊病例^[17]。同月 22 日,辽宁省大连市某运输公司的工作人员被报告为阳性病例,随后在其进口的冷链食品外包装上检测到了 SARS-CoV-2,并于 25 日将该病例相关的甘井子街道列为了高风险区^[18]。同年 8 月,一名在深圳某生鲜市场工作的本地女子也被确诊,并在其工作场所中检测到多个阳性的环境样本^[19]。多次疫情的再次暴发流行使人们意识到当处于低温状态下时,冷链食品可以传播 SARS-CoV-2。尽管世界卫生组织和美国疾病控制和预防中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)、美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)、欧盟 CDC 等机构已经表明,新冠肺炎不是食源性疾病,不会通过食品传播,但这一事件表明了冷冻食品可能具有 SARS-CoV-2 携带传播的可能性。

本文旨在模拟冷链物流条件,分析 SARS-CoV-2 的生物学特性,以说明进口冷链食品与新发疫情之间的关系,为之后对 SARS-CoV-2 的进一步研究、冷链食品的处理及进出口货物的防控提供一定的参考。

1 冷链食品运输与 SARS-CoV-2 的传播

自 2020 年 7 月初开始,全国范围内至少有 9 起在进口食品中检测出 SARS-CoV-2 事件(表 1)^[20],其中大部分集中在从厄瓜多尔进口的冷冻虾外包装上。中国海关总署也高度重视,对进口冷冻产品进行严格的检疫工作,积极实施各种紧急预防措施。其中部分在实际食品样本中检测出 SARS-CoV-2 阳性的案例逐渐在新冠肺炎感染与冷链食品的传播之间建立了联系。

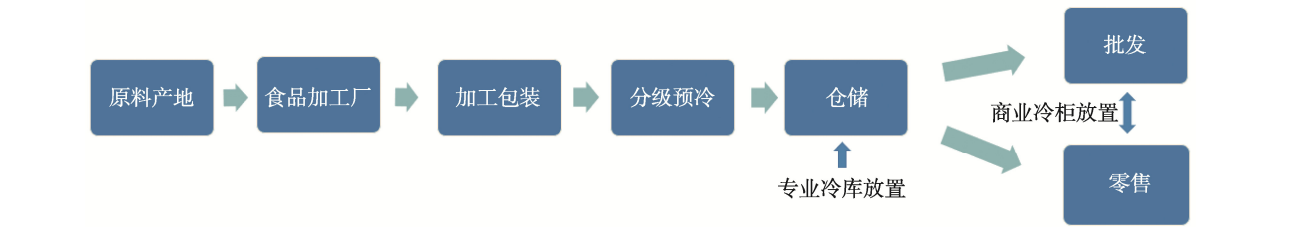
1.1 食品冷链运输的温度要求

冷链食品,包括冷藏和冷冻食品,在其整个生命周期中处于低温状态,而冷链是指某些原料、加工的食品或半成品、特殊生物制品和药品的生产、仓储、流通、销售等所有环节始终处于产品所需的、特定的低温环境中(图 1)^[21]。由于保鲜仓储技术不断发展及物流发展环境整体优化,冷链食品物流发展迅速。各国还建立了相关的冷链数据库,以更好地运行和改进^[22]。一方面,其操作大大提高了食品的保鲜能力,延长了食物的保质期,减少了不必要的损失;另一方面,它也可以有效连接不同地域,并在它们之间传递食品,让人们可以食用反季食品和新鲜的跨地域食品。同时,在冷链运输过程中,为了确保食

品的安全, 在装卸货物时经常需要严格控制柜封闭环境和储存条件^[23]。

根据我国现行国家标准, GB/T 36088—2018《冷链物流信息管理要求》中提到的冷链运输规范, 冷链运输的温度范围可低至-50℃至不超过10℃(图2)。有关特定要求, 请参见表2。

表 1 2020 年 8 月至 2021 年 3 月部分涉疫冷链进口产品信息			
Table 1 Information on cold chain imported products involved in the disease from August 2020 to March 2021			
时间	涉疫食品	进口国家	涉疫原因
2020.8	冷冻鸡翅	巴西	产品阳性
2020.12	冷冻小沙丁鱼	巴基斯坦	内、外包装、产品阳性
2020.12	冻马面鱼、冻牛仔鱼	印度尼西亚	外包装阳性
2020.12	冻白带鱼	缅甸	外包装阳性
2020.12	冻弗氏绒须石首鱼	阿根廷	外包装阳性
2020.12	冷冻去骨牛肉	巴西	外包装阳性
2021.1	冷冻带骨鸡全腿	巴西	外包装阳性
2021.1	冻墨鱼	巴基斯坦	外包装阳性
2021.1	冻马鲛鱼	印度尼西亚	外包装阳性
2021.1	冻狭鳕鱼	俄罗斯	外包装阳性
2021.1	冻章鱼	巴基斯坦	内包装阳性
2021.1	冻大西洋鳕	俄罗斯	外包装、产品阳性
2021.1	冻帝王蟹	智利	内包装阳性
2021.1	冷冻格陵兰大比目鱼	丹麦	外包装阳性
2021.1	车厘子	智利	产品阳性
2021.2	冷冻牛肉	俄罗斯	产品阳性
2021.2	冻海鳗鱼	马来西亚	外包装阳性
2021.2	冷冻北方长额虾	俄罗斯	外包装阳性
2021.2	禽肉	美国	外包装阳性
2021.2	冻黄金鲽鱼	俄罗斯	外包装阳性
2021.2	冻鱿鱼碎肉	秘鲁	内包装阳性
2021.3	冻珍珠宝鸡爪	美国	外包装阳性
2021.3	冻鱿鱼	印度尼西亚	外包装阳性



注: 运输过程均处于各类食品适宜的温度、湿度等条件下, 并辅以全程实时状态监控系统进行监测。

图 1 冷链食品供应链示意图

Fig.1 Schematic diagram of cold chain foods



图 2 冷链运输的温度范围

Fig.2 Temperature ranges of cold chain transportation

表 2 常见的冷链食品及其运输温度
Table 2 Common cold chain foods and their transportation temperatures

食品种类	运输温度
冰鲜水产品	0~4 °C
冷冻水产品	-18 °C 以下
冷冻畜禽肉	-18 °C 以下
新鲜果蔬	0~7 °C
巴氏杀菌牛奶	0~7 °C
冰淇淋	-25~-23 °C

1.2 冷链运输条件下新型冠状病毒的生物学特性

在先前的研究中, RABENAU 等^[24]表明在 4 °C 的冷藏温度下, 未发现 SARS-CoV-1 感染性滴度的损失。经过分析, SARS-CoV-2 与 SARS-CoV-1 在整个基因组水平上的同源性为 96.2%^[25]。因此, 类似 SARS-CoV-1, SARS-CoV-2 的传播与温度和湿度有关^[26]。当进入秋冬季节时, 疫情形势显然更加严重。

REN 等^[27]发现 SARS-CoV-2 可以在 4 °C 时保持其高感染性; CHIN 等^[28]也发现了类似的现象: SARS-CoV-2 非常耐 4 °C 冷藏, 可以在运输介质中保存 14 d; 但是, 当温度超过 20 °C 时, 其传染性急剧下降; 当温度达到 28 °C 时, 孵育 24 h 后, 存活病毒数量几乎为零。FISHER 等^[29]在人们餐桌上的 3 种常见食材中进行了更有针对性的实验。将三文鱼、鸡肉和猪肉切成 500 mm³ 的立方体, 并在每个立方体中加入定量的 SARS-CoV-2, 然后将其置于 3 个不同的温度下(4、-20 和 -80 °C), 在指定的时间点收集。结果表明, SARS-CoV-2 的滴度在所有 3 个温度下均保持恒定, 并且传染性都维持了 3 周。同时, 在有没有食物的情况下孵育后回收的 SARS-CoV-2 之间也没有显著差异。

像其他病毒一样, SARS-CoV-2 无法独立于宿主存活^[30], 它的存活常常需要某种介质的存在, 因此不同的介质对 SARS-CoV-2 的存活产生一定的影响。通过冷链运输的大多数食品多采用塑料包装。常见的塑料食品包装材料的主要成分是聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)、聚氯乙烯(polyvinylchloride, PVC)、聚乙烯(polyethylene, PE)、聚丙烯(polypropylene, PP)、聚苯乙烯(polystyrene, PS)、聚碳酸酯(polycarbonate, PC)等^[31]。HOLBROOK 等^[32]发现 SARS-CoV-2 在聚丙烯、不锈钢和铜上的半衰期分别为 6.81、5.63 和 0.77 h; SARS-CoV-1 分别为 7.55、4.16 和 1.5 h, 二者的稳定性相当。LIU 等^[33]从环境监测的角度进行研究, 收集了代表不同家庭和医院情况的 9 种不同的物体, 将它们切成大约 1 cm³ 的小块。并在每个表面上放置 50 μL 的病毒原液, 并在相同温度下的预定时间点回收病毒。结论表明, SARS-CoV-2 在塑料、不锈

钢、玻璃、陶瓷、木材、乳胶手套和外科口罩上均稳定, 并且在这些表面上存活 7 d。HOLBROOK 等^[32]还通过大量的实验证明, SARS-CoV-2 在光滑的介质(如塑料和不锈钢)上比在铜和纸板上更稳定。

因此, 该病毒可能在特定介质的冷藏温度下存活更长时间。换句话说, 冷链物流的存在实则有利于 SARS-CoV-2 的存活和传播。

1.3 通过冷链物流传播的新型冠状病毒

正如之前所述, 冷链食品在进入市场之前, 需要进行原料的采收与加工, 因此食品加工厂作为冷链供应链中最为关键的一部分, 对整个环节的正常运行有着重要的影响。然而, 在疫情仍处于持续流行的特殊时期, 许多国家尚未清楚地意识到病毒通过冷链物流传播的可能性及采取相应措施的重要性, 致使世界各地多个食品加工厂的疫情暴发案例屡屡出现。2020 年 4 月, 美国 19 个州的 115 个肉类或家禽加工厂暴发了疫情^[34]; 同年 6 月, 英国威尔士的 3 家肉食加工厂暴发了疫情; 同月德国最大肉类加工厂暴发疫情^[35]; 同样, 在加拿大、意大利等地, 肉类加工厂也发生了许多聚集性疫情^[36]。

依照我国 GB 14881—2013《食品安全国家标准 食品生产通用卫生规范》规定: 从业人员应根据食品的特点及生产工艺的要求配备专用工作服, 如衣、裤、鞋靴、帽和发网等, 必要时还可配备口罩、围裙、套袖、手套等。尽管各国也早有类似规定, 但值得注意的是, 虽然各种材料的口罩均能够有效过滤大液滴, 但打喷嚏、咳嗽过程中产生的气溶胶仍极易越过口罩泄漏出来^[37]。而食品生产行业要求的口罩防护等级往往并不是很高, 常见的有一次性无纺布口罩, 微笑透明半遮挡口罩等。这类口罩并不能够达到有效阻隔病毒体外排的效果。因此, 如果工人在不知不觉中被病毒感染, 并成为携带病毒的无症状感染者, 当他们进入到封闭式的工厂, 在防护措施不到位的情况下, 将会发生交叉感染, 从而导致一系列聚集性疫情的暴发。同时, 这些食品工人在说话或咳嗽时可能会排出的飞沫、气溶胶等接触到加工的食品或者食品的外包装, 此时的食品将成为病毒的温床, 随着冷链物流远销各国。

模拟实验已经证明, 手接触是传播流感和其他呼吸道病毒的可行手段, SZPIRO 等^[38]相信只要病毒的滴度达到足以污染双手的程度, SARS-CoV-2 存在于手上的几率就会很高。此外, 其他呼吸道病毒(例如甲型流感病毒、副流感病毒 3)的数据也已经显示出相似的结果。当与被污染的表面接触时, 它们将在 5 s 后立即转移到接触者的手中, 并且可以在手上存活长达 5 min^[39]。所以, 频繁的手与表面的接触会导致表面污染物迅速扩散^[40]。因此, 当货物到达目的地后, 若装卸工人防护不规范或未及时更换破损手套等护具时, 货物上的 SARS-CoV-2 就极可能感染与货物直

接接触的装卸工人或在港口工作的其他人员;另一方面,当 SARS-CoV-2 随着冷链食品进入批发市场等相对封闭和集中的环境中后,则有可能感染前来采买的市民,成为疫情反扑的重要原因之一^[41]。

2 冷链传播的防控技术与措施

就目前统计分析的数据来看,涉疫的进口冷链产品中, SARS-CoV-2 大多仅存在外包装表面或者食品表面,并未发现食品本身存在病毒或者因直接食用进口冷链食品而引起感染的案例。所以,感染事件极大可能是发生在低温冷链食品的流通环节,如卸货、搬运等操作过程。一些研究和模型也表明,众多呼吸道病毒的重要传播途径往往涉及与污染表面的间接接触传播^[42-43]。因此,在冷链食品流通中,需采取一定的预防措施,如控制原料、正确处理和加工、充分清洁及对食品加工和制备中使用的设备进行消毒、严格遵守和执行我国推荐性国家标准,如 GB/T 31080—2014《水产品冷链物流服务规范》的相关要求,在进口水产品等冷链货物时,应具有消除自身运行而产生的热源、废气和其他污染或影响水产品质量的装置;选用具备从事水产品冷链物流服务的岗位人员且从事水产品冷链物流人员需定期培训合格并持有效健康证才可上岗等,并要对货物及工人做好严格的消毒防护。

2.1 表面消毒剂

病毒可以在不同的无生命表面(特别是暴露于高风险的表面)上持续一定时间。因此,选择合适的表面消毒剂被认为是抵御病毒传播的重要方法。理想消毒剂的特点是接触时间短,抗病毒活性强^[44]。目前,常见的强力表面消毒剂有乙醇、异丙醇、45%异丙醇和 30%正丙醇、戊二醛、甲醛、聚维酮碘等^[45]。

同时,在冷链运输过程中对工人进行手部消毒也是限制病毒传播感染的有效方法。当将 60%~70%的乙醇和 70%~72%的异丙醇与 0.7%磷酸、0.2%过氧乙酸、0.1%柠檬酸、1%乳酸等有机酸混合使用时,可以提高低酒精浓度的抗病毒能力^[46],成为有力的预防和控制措施。

另外,用湿巾擦拭以去除塑料表面的病毒污染也是一种方便、有效和适合家庭环境的方法^[47]。研究表明,仅使用无消毒剂的抹布直接擦拭污染区域,病毒的有效减少率也高达 99.6%,并且在擦拭过程中病毒进一步传播到另一表面的风险也会有一定程度的降低。因此,当市民购买进口冷链食品后,在储存和食用前,用适当浓度的消毒湿巾擦拭食品 and 食品包装,可以减少受污染的塑料包装和食物传播病毒的风险^[48]。

2.2 紫外线消毒技术

使用紫外线对物体进行消毒是一种对环境友好的方法,可以在不使用有害化学品或热量的情况下杀灭细菌、

真菌和病毒。因此,医疗机构越来越多地使用紫外线对医疗设备、表面和手术室进行消毒。在太阳光谱中,紫外线的频率高于可见光线的频率。根据频率和波长,大体可以分为 4 种类型:长波紫外线(ultraviolet A, UVA)、中波紫外线(ultraviolet B, UVB)、短波紫外线(ultraviolet C, UVC)、真空紫外线(ultraviolet D, UVD),具体区别见表 3。

表 3 常见的紫外线类型及其区别
Table 3 Common types of ultraviolet rays and their differences

类型	紫外线			真空紫外线
	UVA	UVB	UVC	UVD
波长/nm	320~400	275~320	200~275	100~200
伤害程度	最大	中等	可忽略	可忽略
穿透力	强	中等	弱	极弱

在各波长紫外线中,只有短波紫外线 UVC 具有杀菌消毒作用。此外, UVC 还具有广谱高效、快速彻底、不存在抗药性、无需添加化学药剂、不产生二次污染等优点。HEILINGLOH 等^[49]证明,即使病毒滴度较高, UVC 照射也可以有效地灭活 SARS-CoV-2。因此,在进口冷链食品进入市场之前,可以采用紫外线照射技术来进行消毒。

2.3 等离子体消毒技术

等离子体也称为物质的第四状态。它定义为部分电离的气体,由带正电和带负电的离子、电子和中性原子、分子和自由基组成。其中,正离子和电子的密度被认为近似相等,从而使等离子体成为一种中性气体^[50]。在室温条件下,它将产生许多活性物质,例如过氧化氢(H₂O₂)、亚硝酸盐(NO²⁻)和过氧亚硝酸盐(ONOO⁻)及电子、离子和紫外线光子。

研究表明,等离子体技术可以有效地杀灭完整皮肤(例如猪皮肤)表面的细菌^[51],也可以用于靶向治疗黑色素瘤^[52]。因此,等离子体在细菌灭活方面已进行了广泛的研究,并且证实其可用于消毒和治疗传染病。冷冻等离子体技术作为一种高效、环保、经济和无创的技术,已然成为食品工业应用的研究中心,在生物医学和环境应用中具有重要的价值。

西安交通大学等离子体生物医学研究中心发现,等离子体活化水可以快速灭活 SARS-CoV-2 的 S 蛋白,从而防止病毒感染细胞,它是一种高效的新冠病毒消毒剂。因此,作为一种全新的消毒技术,它可以在冷链流通过程中发挥一定的作用^[53],从而降低病毒通过冷链物流传播的可能性。

2.4 臭氧水/气体消毒技术

臭氧(O₃)由 3 个氧原子组成。它的化学性质不稳定且具有很高的电活性。它在环境条件下的半衰期约为 1 h。它

在平流层臭氧层中的含量为 2~10 ppm, 在地面附近的含量小于 0.05 ppm。臭氧作为一种强氧化剂, 它在有水存在的情况下, 会产生具有强氧化能力的羟基自由基。因此, 臭氧气体在潮湿条件下具有高的氧化作用。它可以灭活细菌、真菌、寄生虫和病毒等多种微生物。它可以破坏病毒结构分子, 例如包膜脂质、糖蛋白和衣壳蛋白, 从而使病毒失活。由于这些特性, 臭氧气体和水经常用于房间、仪器、医院、污水和各种食品的消毒^[54]。MURATA 等^[55]在平均湿度为 80%的情况下, 使用 0.1 ppm 的臭氧气体, 发现 SARS-CoV-2 的传染性比对照组降低 73.2%; 经过一段时间后, 病毒的灭活率可达到 95.4%, 使用 0.05 ppm 的臭氧气体处理也会出现类似的现象。此外, 在水中添加 1.0 mg/L 和 2.0 mg/L 臭氧 10 s 后, SARS-CoV-2 传染性显著降低 99.3%~99.9%。用 0.4 mg/L 和 0.7 mg/L 臭氧水处理后, 降幅分别为 94.2%和 99.5%。因此, 可以在冷链物流中使用无毒浓度的臭氧来抑制 SARS-CoV-2 的传播。

2.5 我国针对冷链进口产品的政策法规

与此同时, 我国也已出台了相关的政策法规以降低新冠肺炎疫情通过冷链进口产品输入的风险。2020 年 8 月, 国务院应对新型冠状病毒肺炎疫情联防联控机制综合组关于印发农贸(集贸)市场新冠肺炎疫情防控技术指南的通知(联防联控机制综发〔2020〕223 号)强调了要重点选择辖区内具备区域辐射能力的大型农贸市场、农产品批发市场(海鲜市场), 定期开展冷冻冷藏肉品、储存设施设备、冷库管理、食品储存追溯、环境等风险排查和监测; 完善肉类产品质量全链条追溯体系, 采购、销售肉类产品, 务必查验动物检疫合格证明、肉品品质检验合格证明; 禁止采购、销售来源不明、无合格证明材料的食品, 确保食品安全。同月, 国家卫生健康委员会发布《进口冷链食品预防性全面消毒工作方案》(联防联控机制综发〔2020〕255 号)中提到要严格规范进口冷链食品的装载运输工具、产品内外包装的消毒并规定了全面消毒工作的目标原则、工作分工、基本要求及消毒方式, 规定了口岸、冷链运输和出入库、流通、市场等环节的相关工作流程等。同年 9 月, 海关总署对检出新冠病毒核酸阳性的进口冷链食品境外生产企业实施紧急预防性措施的公告(海关总署公告 2020 年第 103 号)中也提及同一境外生产企业输华冷链食品或其包装第 1 次和第 2 次被检出新冠病毒核酸阳性的, 海关分别暂停接受该企业产品进口申报 1 周, 期满后自动恢复; 同一境外生产企业先后被检出新冠病毒核酸阳性 3 次及以上的, 海关暂停接受该企业产品进口申报 4 周, 期满后自动恢复等相关要求。多项政策的出台与落实更有利于我们完善冷链基础设施的建设, 保障冷链食品的安全, 落实对相关行业疫情的防控并建立冷链可追溯平台等, 以便更好地应对新冠疫情并做好与其长期共存的准备。

3 结束语

冷链运输的诞生为我们的生活带来了极大的便利, 使人们无需出国就能品尝到新鲜的跨地区美食。冷链运输的运营极大地促进了我国与世界各国的交往与交流, 促进了经济贸易的发展。然而, 它也成了新冠疫情反复流行的隐患。大量研究表明, 尽管 SARS-CoV-2 不是食源性的病毒, 但 SARS-CoV-2 可以粘附在食品或包装表面, 通过在冷链运输所提供的较低温度下, 以间接接触的方式进入市场, 进而导致新的感染和传播。为此, 国家也出台了多项法规和政策以降低冷链产品流通过程中引起疫情复发的风险。另外, 在冷链食品流通过程中, 也有必要采取一定的预防措施, 包括使用表面消毒剂对食品进行大规模消毒; 使用紫外线和其他辐射照射进口的冷链食品包装等。只要有效地对冷链食品进行消毒, 并加强对食品从业人员的防控管理, 就可以大幅度降低 SARS-CoV-2 对冷链食品的质量和safe的影响。

参考文献

- [1] YAN Y, SHIN WI, PANG YX, *et al.* The first 75 days of novel coronavirus (SARS-CoV-2) outbreak: Recent advances, prevention, and treatment [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(7): 1–23.
- [2] ASSELAH T, DURANTE D, PASMANT E, *et al.* COVID-19 discovery, diagnostics and drug development [J]. *J Hepatol*, 2020, 74(1): 168–184.
- [3] NAKAGAWA K, LOKUGAMAGE KG, MAKINO S, *et al.* Viral and cellular mRNA translation in coronavirus-infected cells [J]. *Adv Virus Res*, 2016, 96: 165–192.
- [4] SU S, WONG G, SHI WF, *et al.* Epidemiology, genetic recombination, and pathogenesis of coronaviruses [J]. *Trends Microbiol*, 2016, 24(6): 490–502.
- [5] CUI J, LI F, SHI ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses [J]. *Nat Rev Microbiol*, 2019, 17(3): 181–192.
- [6] ZHU N, ZHANG DY, WANG W, *et al.* A Novel coronavirus from patients with pneumonia in China [J]. *New Eng J Med*, 2020, 382(8): 727–733.
- [7] ROSA GL, BONADONNA L, LUCENTINI L, *et al.* Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods-A scoping review [J]. *Water Res*, 2020, 179: 1–11.
- [8] Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses. The species severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: Classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2 [J]. *Nat Microbiol*, 2020, 5(4): 536–544.
- [9] 世界实时数据统计网站 [DB/OL]. <https://www.worldometers.info/coronavirus/> [2021-05-07].
World Real-time data Statistics website [DB/OL]. <https://www.worldometers.info/coronavirus/> [2021-05-07].
- [10] LIU L, WEI Q, ALVAREZ X, *et al.* Epithelial cells lining salivary gland ducts are early target cells of severe acute respiratory syndrome coronavirus infection in the upper respiratory tracts of rhesus macaques [J]. *J Virol*, 2011, 85(8): 4025–4030.
- [11] VERDECCHIA P, CAVALLINI C, SPANEVELLO A, *et al.* The pivotal link between ACE2 deficiency and SARS-CoV-2 infection [J]. *Eur J Int*

- Med, 2020, 76: 14–20.
- [12] LOTFI M, HAMBLIN MR, REZAEI N. COVID-19: Transmission, prevention, and potential therapeutic opportunities [J]. Clin Chim Acta, 2020, 508: 254–266.
 - [13] CLEVELAND JL, GRAY SK, HARTE JA, *et al.* Transmission of blood-borne pathogens in US dental health care settings [J]. J Am Dent Assoc, 2016, 147(9): 729–738.
 - [14] GODOY MG, KIBENGE MJT, KIBENGE FSB. SARS-CoV-2 transmission via aquatic food animal species or their products [J]. Aquaculture, 2021, 536: 1–15.
 - [15] XU Z, SHI L, WANG YJ, *et al.* Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome [J]. Lancet Resp Med, 2020, 8(4): 420–422.
 - [16] BELSER JA, ROTA PA, TUMPEY TM. Ocular tropism of respiratory viruses [J]. Microbiol Mol Biol Rev, 2013, 77(1): 144–156.
 - [17] PANG XH, REN LL, WU SS, *et al.* Cold-chain food contamination as the possible origin of COVID-19 resurgence in Beijing [J]. Nat Sci Rev, 2020, 7(12): 1861–1864.
 - [18] MA HL, ZHANG JQ, 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, 2020, 3(21): 441–447.
 - [19] XIE Y, CHEN Y, MA M, *et al.* Re-emergence of coronavirus disease in Chinese cities associated with chilled and frozen food products [J]. J Infect, 2021, 82(4): 18–19.
 - [20] 中华人民共和国海关总署[DB/OL]. <http://www.customs.gov.cn/> [2021-03-18].
General Administration of Customs of the People's Republic of China [DB/OL]. <http://www.customs.gov.cn/> [2021-03-18].
 - [21] 姜懿珊, 张榆琴, 郝若诗. 云南绿色食品冷链物流发展研究[J]. 中国集体经济, 2021, 5(2): 109–110.
JIANG YS, ZHANG YQ, HAO RS. Study on the development of green food cold chain logistics in Yunnan [J]. China's Collect Econ, 2021, 5(2): 109–110.
 - [22] GOGOU E, KATSAROS G, DERENS E, *et al.* Cold chain database development and application as a tool for the cold chain management and food quality evaluation [J]. Int J Refrig, 2015, 52: 109–121.
 - [23] WANG SY, TAO FM, SHI YH. Optimization of location–routing problem for cold-chain logistics considering carbon footprint [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15(86): 1–17.
 - [24] RABENAU HF, CINATL J, Morgenstern B, *et al.* Stability and inactivation of SARS coronavirus [J]. Med Microbiol Immunol, 2005, 194(1–2): 1–6.
 - [25] ZHOU P, YANG XL, WANG XG, *et al.* A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin [J]. Nature, 2020, 579(7798): 270–273.
 - [26] UJIE M, TSUZUKI S, OHMAGARI N. Effect of temperature on the infectivity of COVID-19 [J]. Int J Infect Dis, 2020, 95: 301–303.
 - [27] REN M, PEI R, JIANGTULU B, *et al.* Contribution of temperature increase to restrain the transmission of COVID-19 [J]. Innovation, 2021, 2(1): 1–7.
 - [28] CHIN AWH, CHU JTS, PERERA MRA, *et al.* Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions [J]. Lancet Microbe, 2020, 1(4): 145.
 - [29] FISHER D, REILLY A, ZHENG AKE, *et al.* Seeding of outbreaks of COVID-19 by contaminated fresh and frozen food [J]. 2020. DOI: 10.1101/2020.08.17.255166
 - [30] CASANOVA L, RUTALA WA, WEBER DJ, *et al.* Survival of surrogate coronaviruses in water [J]. Water Res, 2009, 43(7): 1893–1898.
 - [31] 田陆川, 姜红. 食品塑料包装材料的检验研究进展[J]. 安徽化工, 2021, 47(1): 4–7.
TIAN LC, JIANG H. Progress in inspection and research of food plastic packaging materials [J]. Anhui Chem Ind, 2021, 47(1): 4–7.
 - [32] HOLBROOK MG, GAMBLE A, WILLIAMSON BN, *et al.* Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 [J]. New England J Med, 2020, 382(16): 1564–1567.
 - [33] LIU Y, LI T, DENG Y, *et al.* Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta [J]. J Hosp Infect, 2021, 107: 105–107.
 - [34] DYAL JW, GRANT MP, BROADWATER K, *et al.* COVID-19 among workers in meat and poultry processing facilities-19 states [J]. Morbid Mortal Wkly Rep, 2020, 69(18): 557–561.
 - [35] GUNTHER T, CZECH-SIOLI M, INDENBIRKEN D, *et al.* SARS-CoV-2 outbreak investigation in a German meat processing plant [J]. EMBO Mol Med, 2020, 12(12): 1–10.
 - [36] LEONE GD, DRAGO P, TROIANO M, *et al.* Integrated management method in the prevention department of a COVID-19 epidemic outbreak in a large meat processing plant in Bari province [J]. Epidemiol Prev, 2020, 44(5–6): 334–339.
 - [37] WEBER A, WILLEKE K, MARCHIONI R, *et al.* Aerosol penetration and leakage characteristics of masks used in the health care industry [J]. Am J Infect Control, 1993, 21(4): 167–173.
 - [38] SZPIRO L, PIZZORNO A, DURIMEL L, *et al.* Role of interfering substances in the survival of coronaviruses on surfaces and their impact on the efficiency of hand and surface disinfection [J]. 2020. DOI: 10.1101/2020.08.22.20180042
 - [39] BEAN BM, MOORE BM, STERNER B, *et al.* Survival of influenza viruses on environmental surfaces [J]. J Infect Dis, 1982, 146(1): 47–51.
 - [40] XIAO S, LI Y, SUNG M, *et al.* A study of the probable transmission routes of MERS-CoV during the first hospital outbreak in the Republic of Korea [J]. Indoor Air, 2018, 28(1): 51–63.
 - [41] LIU PP, YANG MJ, ZHAO X, *et al.* Cold-chain transportation in the frozen food industry may have caused a recurrence of COVID-19 cases in destination: Successful isolation of SARS-CoV-2 virus from the imported frozen cod package surface [J]. Biosaf Health, 2020, 2(4): 199–201.
 - [42] BOONE SA, GERBA CP. Significance of fomites in the spread of respiratory and enteric viral disease [J]. Appl Environ Microbiol, 2007, 73(6): 1687–1696.
 - [43] BRANKSTON G, GITTERMAN L, HIRJI Z, *et al.* Transmission of influenza A in human beings [J]. Lancet Infect Dis, 2007, 7(4): 257–265.
 - [44] PRADHAN D, BISWASROY P, NAIK KP, *et al.* A review of current interventions for COVID-19 prevention [J]. Arch Med Res, 2020, 51(5): 363–374.
 - [45] KAMPF G. Potential role of inanimate surfaces for the spread of coronaviruses and their inactivation with disinfectant agents [J]. Infect Prev Pract, 2020, 2(2): 1–2.
 - [46] KAMPF G. Efficacy of ethanol against viruses in hand disinfection [J]. J Hosp Infect, 2018, 98(4): 331–338.
 - [47] MA QX, SHAN H, ZHANG HL, *et al.* Potential utilities of mask-wearing

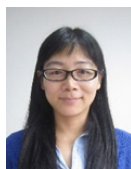
- and instant hand hygiene for fighting SARS-CoV-2 [J]. J Med Virol, 2020, 92(9): 1567–1571.
- [48] MALENOVSKA H. Coronavirus persistence on a plastic carrier under refrigeration conditions and its reduction using wet wiping technique, with respect to food safety [J]. Food Environ Virol, 2020, 12(4): 361–366.
- [49] HEILINGLOH CS, AUFDERHORST UW, SCHIPPER L, *et al.* Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation [J]. Am J Infect Control, 2020, 48(10): 1273–1275.
- [50] CHAROUX CMG, PATANGE A, LAMBA S, *et al.* Applications of nonthermal plasma technology on safety and quality of dried food ingredients [J]. J Appl Microbiol, 2021, 130(2): 325–340.
- [51] MAISCH T, SHIMIZU T, LI YF, *et al.* Decolonisation of MRSA, *S. aureus* and *E. coli* by cold-atmospheric plasma using a porcine skin model *in vitro* [J]. PLoS One, 2012, 7(4): 1–9.
- [52] BEKESCHUS S, CLEMEN R, NIESSNER F, *et al.* Medical gas plasma jet technology targets urine melanoma in an immunogenic fashion [J]. Adv Sci, 2020, 7(10): 1–14.
- [53] GUO L, YAO ZQ, YANG L, *et al.* Plasma-activated water: An alternative disinfectant for S protein inactivation to prevent SARS-CoV-2 infection [J]. Chem Eng J, 2020, 421: 1–7.
- [54] WANG J, CHEN H. Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective [J]. Sci Total Environ, 2020, 704: 1–17.
- [55] MURATA T, KOMOTO S, IWAHORI S, *et al.* Reduction of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 infectivity by admissible concentration of ozone gas and water [J]. Microbiol Immunol, 2021, 65(1): 10–16.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



张玮珊, 主要研究方向为重要病原菌的耐药机制。
E-mail: 2037609943@qq.com



米凯霞, 博士, 研究员, 主要研究方向为重要病原菌的耐药机制。
E-mail: mik@im.ac.cn