

综述

食用农产品中产志贺毒素大肠埃希菌污染与家庭厨房
食物安全现状分析及防控措施胡颖¹, 崔生辉², 白莉³, 赵琳娜², 李洪军^{1,4}, 李少博¹, 贺稚非^{1,4}

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.中国食品药品检定研究院, 北京 100050;

3.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; 4.重庆食品工程研究中心, 重庆 400715)

摘要: 本文通过对食用农产品中产志贺毒素大肠埃希菌(STEC)来源与传播途径分析, 阐述了 STEC 污染与家庭厨房食物安全之间的关系, 并对当前世界各国食品中 STEC 的监管情况进行阐述, 从而提出我国控制食用农产品中 STEC 进入家庭厨房的解决方案。

关键词: 食用农产品; 产志贺毒素大肠埃希菌; 食源性疾病暴发; 食物安全; 家庭厨房

中图分类号: R155 文献标识码: R 文章编号: 1004-8456(2020)02-0216-07

DOI: 10.13590/j.cjfh.2020.02.021

**Food safety analysis and management of Shiga toxin-producing *Escherichia coli*
in edible agricultural products and kitchen**HU Ying¹, CUI Shenghui², BAI Li³, ZHAO Linna², LI Hongjun^{1,4},LI Shaobo¹, HE Zhifei^{1,4}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China; 3. National Health

Commission Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, China National Center for Food

Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China; 4. Chongqing Engineering Research

Center of Regional Food, Chongqing 400715, China)

Abstract: The sources and transmission routes of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) in edible agricultural products are analyzed. And the relationship between STEC contamination and food safety in home kitchen is discussed. The current supervision of STEC in edible agricultural products around the world is introduced. The solution and suggestion for the control of STEC in the home kitchen of China are proposed.

Key words: Edible agricultural products; Shiga toxin-producing *Escherichia coli*; foodborne disease outbreak; food safety; kitchen;

产志贺毒素大肠埃希菌(Shiga toxin-producing *E. coli*, STEC)是一类能产生一种或一种以上志贺毒素大肠埃希菌的总称,因其能引起 Vero 细胞病

变,也被称为产 Vero 毒素大肠埃希菌(Verocytotoxigenic *E. coli*, VTEC)^[1-2]。STEC 常以食品为载体引起社区人群感染,常见的感染症状为腹泻、血便、溶血性贫血和血小板减少等,严重时可出现出血性结肠炎(HC)、溶血性尿毒综合征(HUS)、急性肾功能衰竭和死亡,5岁以下幼儿、老年人、器官移植患者、肿瘤患者等免疫力低下人群为该菌的易感人群^[3]。自美国1982年首次报道O157:H7型 STEC 引起食物中毒并导致多例 HUS 以来^[4-5],由该菌引起的食物中毒散发和大规模暴发事件在世界范围广泛出现^[6]。据世界卫生组织(WHO)报告,STEC 每年可导致 200 多万人患病,200 多人死亡,近 1.3 万个伤残调整寿命年

收稿日期:2020-02-23

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31972168)

作者简介:胡颖 女 博士生 研究方向为食源致病菌检测

E-mail:444719832@qq.com

通信作者:崔生辉 男 研究员 研究方向为食源性病原菌鉴定与

追踪技术及食源性病原菌耐药机制分析 E-mail:

cuishenghui@aliyun.com

贺稚非 女 博士生导师 研究方向为食品微生物学与

发酵食品及食品质量与生物安全 E-mail: 2628576386@

qq.com

(DALYs)^[7]。随着研究和监测工作的深入,非 O157 型 STEC 引起的感染在近年也引起广泛重视^[8],如 O26、O111、O103、O145 和 O104:H4 型 STEC 等,可

占总 STEC 感染的 30%~50%^[9]。STEC 感染引发的全球疾病负担的总结概括见表 1。

表 1 STEC 感染的全球疾病负担评估^[10]

Table 1 Assessment of global diseases burden of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infection

| 评估用国家 亚区分组 | 国家组的 人口 | 评估负担 | | | | |
|---------------|---------------|-----------|-------------------|---------|--------------|-------|
| | | 病例数 | 每 10 万人 年发病率/% | HUS 病例数 | 急性肾衰竭 病例数 | 死亡病例数 |
| 非洲 | 755 424 976 | 10 200 | 1.4 | 10 | 0 | 0 |
| 美洲 | 884 408 678 | 519 100 | 58.7 | 1 480 | 105 | 85 |
| 地中海地区 | 529 821 657 | 808 300 | 152.6 | 220 | 15 | 20 |
| 欧洲 | 885 342 838 | 211 500 | 23.9 | 670 | 50 | 45 |
| 东南亚 | 1 696 547 103 | 1 124 500 | 66.3 | 1 220 | 85 | 75 |
| 西太平洋地区 | 1 750 811 276 | 126 000 | 7.2 | 280 | 20 | 15 |
| 全球总计 | 6 502 356 528 | 2 799 600 | 43.1 | 3 880 | 275 | 240 |

注:分组详见 http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/global/ebdcountgroup/en/

STEC 可以通过多种途径感染人体(图 1),其中食品污染引发的病例约占 50%^[11-12]。对 STEC 引起的散发和暴发事件调查研究发现,牛肉、果蔬和乳制品等直接进入家庭厨房的食用农产品是导致 STEC 食源性疾病的主要载体^[13]。鉴于家庭厨房是即食食物的主要加工场所,牛肉、果蔬等食用农产品是家庭厨房的主要消费对象,本文通过对食用农产品中 STEC 来源与传播途径分析,探讨 STEC 相关家庭厨房食品安全影响因素,并分析各国食用农产品中 STEC 限量和监管政策,进而提出适合我国国情的家庭厨房食物 STEC 污染的风险控制措施。

猪肉及鸭肉等)、乳及乳制品等动物源性食用农产品,从而通过零售环节进入家庭厨房,造成家庭厨房食品安全风险。通过对零售环节牛肉中 STEC 污染监测发现,零售牛肉馅 STEC 阳性率在不同国家和地区间存在较大差异,介于 0.43%~50%之间^[17-19]。全球已经报道了多起由 STEC 污染食用农产品引起的暴发事件^[13]。这些暴发事件中,多是由于对人类强致病力的 STEC 污染食用农产品进入家庭厨房后,因加工不当或交叉污染其他即食食品,从而造成家庭成员感染^[20]。1998—2017 年间 27 个国家的 STEC 疫情监测数据显示,牛肉是 STEC 最常见感染来源,占比 16%,乳制品占比 6%^[7]。

养殖动物体内的 STEC 还会通过粪便污染周边环境。当处理不当的动物粪便作为肥料使用等方式进入环境后,动物粪便或土壤中的 STEC 会直接污染或通过灌溉、淋洗用水等间接污染果蔬类植物源性食用农产品^[21-22],进而通过零售环节进入家庭厨房,造成家庭厨房食品安全风险。STEC 疫情监测数据显示,果蔬是仅次于牛肉的第二大 STEC 感染来源,占比 15%^[7],其中也不乏大规模的暴发事件。2011 年,由 O104:H4 型 STEC 污染芽菜在德国引发了世界范围最大一次非 O157 型 STEC 的中毒暴发,感染人数共计 3 816 人,其中 845 人(22%)发展为 HUS,高达 54 人死亡^[23]。2018 年,美国 37 个州发生了一起因 O157 型 STEC 污染灌溉水引发的长叶莴苣中毒暴发事件,此次事件造成 240 例感染,104 人住院,28 人出现 HUS,5 人死亡^[24],由 STEC 污染食用农产品导致多起暴发事件见表 2。

动物和植物源性食用农产品中 STEC 污染引起的感染或暴发与食堂、饭店等传统食物中毒暴发具有不同特征。食用农产品为载体引发的 STEC 感染中,STEC 污染的食用农产品是必要条件,这些食用

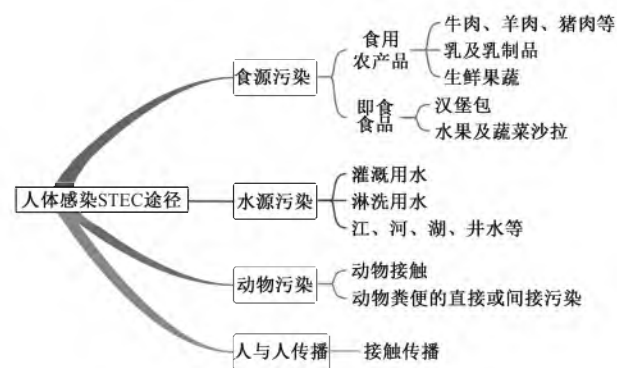


图 1 人体感染 STEC 途径^[13]

Figure 1 Routes of human STEC exposure

1 食用农产品中 STEC 的来源与传播方式

随着全球检测研究的深入开展,从牛、羊、猪等数十种动物来源样品中均有 STEC 检出报道^[14],其中反刍类动物,如牛、羊等是 STEC 最主要健康携带者,猪及其他动物也会携带 STEC^[15]。调查显示,管理不善的养牛场中个体阳性率可高达 80%^[16],携带 STEC 的动物在养殖、屠宰过程中,会因粪便污染、肠道破裂等途径,导致 STEC 污染肉类(牛肉、羊肉、

表2 STEC 污染食用农产品引起的暴发事件

Table 2 Outbreaks caused by STEC contaminated edible agricultural products

| 引起暴发 STEC 菌株 | 国家 | 食品来源 | 暴发年份 | 感染人数 | 住院人数 | HUS 人数 | 死亡人数 | 参考文献 |
|--------------|------|-----------|------|-------|------|--------|------|------|
| O104 型 | 德国 | 豆芽 | 2011 | 3 816 | — | 845 | 54 | [23] |
| O157 型 | 加拿大 | 猪肉 | 2011 | 29 | 7 | 0 | 0 | [25] |
| O26 型 | 美国 | 生苜蓿芽 | 2012 | 29 | 7 | 0 | 0 | [26] |
| O121 型 | 美国 | 生苜蓿芽 | 2014 | 19 | 8 | 0 | 0 | [27] |
| O26 型 | 罗马尼亚 | 生牛乳 | 2016 | 15 | 15 | 10 | 0 | [28] |
| O157 型 | 美国 | 绿叶蔬菜 | 2017 | 25 | 9 | 2 | 1 | [29] |
| O103 型 | 德国 | 生牛乳 | 2017 | 12 | 0 | 0 | 0 | [24] |
| O157 型 | 德国 | 肉末(牛肉和猪肉) | 2017 | 30 | — | 10 | 1 | [30] |
| O157 型 | 美国 | 长叶苣荬菜 | 2018 | 240 | 104 | 28 | 5 | [24] |
| O26 型 | 美国 | 牛肉馅 | 2018 | 18 | 6 | 1 | 1 | [31] |
| O103 型 | 美国 | 牛肉馅 | 2019 | 209 | 29 | 2 | 0 | [32] |
| O26 型 | 法国 | 生牛乳 | 2019 | 16 | 16 | 12 | 0 | [33] |

注:—为未给出具体数值

农产品进入家庭厨房后,还需要结合食物加工过程中存在于家庭厨房中的一些风险因素,如食物加工处理不当、储存不当、交叉污染和易感人群等,见图2。这些风险因素在不同家庭厨房出现的随机性造成 STEC 污染食用农产品引发的个体感染也出现了一定的随机性,形成了社区多点散发组成的大范围食物中毒暴发的感染模式,所有家庭感染病例都具有一个统一特征:与 STEC 污染食用农产品相关。2015—2016 年,发生在美国的一起由 O121 和 O26 型 STEC 污染面粉引起的食物中毒暴发事件,波及 24 个州,共计 64 人发病,患者直接使用某公司生产

的 STEC 污染面粉和面或食用了用该面粉制作的食物^[34]。该公司生产的 STEC 污染面粉在全美国销售,但由于面粉是食用农产品,其引发感染的过程中需要结合其他风险因素才能进入即食食品,这一过程大大降低了面粉接触人群的发病比例,这也是该产品虽然消费广泛,但病例数不多的原因。在整个暴发事件中,并非每一个消费 STEC 污染面粉品的家庭都会出现病例,但所有出现病例的家庭均消费了 STEC 污染的面粉。这也给 STEC 暴发的识别、溯源提出高难度的挑战,解决这一难题依赖于健全的食源性疾病监测、溯源网络。

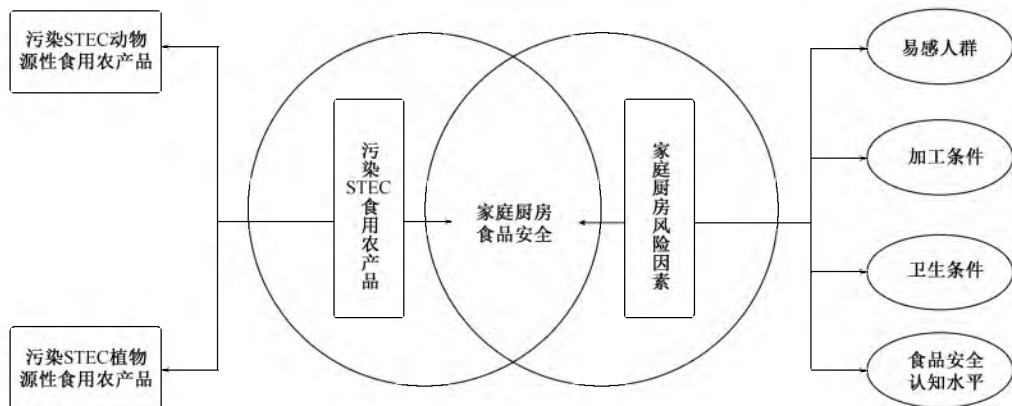


图2 STEC 引发厨房食源性感染示意图

Figure 2 Schematic diagram of kitchen foodborne STEC infections

2 家庭厨房中 STEC 感染风险分析

家庭厨房卫生条件因经济收入、居住面积、文化水平、饮食习惯、地域、家庭人口数量等因素不同而千差万别^[35],即使在宽敞、卫生条件良好的家庭厨房中,也会由于家庭成员微生物知识和必要防护设备的匮乏,造成 STEC 污染食用农产品一旦进入家庭厨房,即可通过淋洗、切割、储存等方式交叉污染其他即食食品,进而对易感人群的生命健康造成

巨大威胁。据全球食源性疾病调查显示,一半以上食源性疾病在家庭发生^[36],这一过程通常涉及以食用农产品为主的 STEC 污染来源、食物加工过程的风险因素及即食食品三个环节。

鉴于使用食用农产品加工即食食品是每个家庭厨房的主要功能,而厨房即食食品加工过程的确存在安全风险,对于如何有效降低家庭厨房食源性 STEC 感染风险应给予更多关注。由于家庭厨房多样性、私密性等特点,厨房内部的食物安全风险只

能通过长期、持续食品微生物知识普及逐步得到改善。而直接针对感染必要条件(STEC 污染来源)进行控制,是最为行之有效的办法,这也是国际组织、各国监管部门在积极制定生产规范和严格限量标准,监控动植物源性食用农产品中 STEC 污染风险的主要原因。

3 国际组织、各国对食用农产品中 STEC 污染的监控

鉴于 STEC 污染食用农产品给家庭厨房带来的具体食品安全风险,国际组织和发达国家均开始通过良好生产规范、限量标准的制定和执行,督促食用农产品加工企业推进良好生产工艺,最大限度降低 STEC 污染食用农产品进入家庭厨房的机率,表 3 列举了各个国家对食品中 STEC 污染控制规范。1998 年,美国农业部(USDA-FSIS)规定,

进入美国市场的生牛肉(non-intact raw beef products)中,大肠埃希菌 O157:H7 不得检出(zero tolerance policy),到 2012 年,限量规定增加了 O26、O45、O103、O111、O121 和 O145 型 STEC^[37-38]。自 2011 年德国 O104:H4 型 STEC 污染芽菜引起暴发事件后,2013 年欧盟对芽菜中 O157、O26、O103、O111、O145 和 O104:H4 型 STEC 制定了严格的限量标准,同时对牛肉和乳制品也加大了检测力度,并召回了大量污染食品^[39]。日本则对所有进口牛肉、马肉做出 O157、O26、O103、O104、O111、O121 和 O145 等血清型 STEC 零检出的要求^[40]。国际标准化组织(ISO)也要求对食品中 O157、O111、O26、O103 和 O145 等血清型 STEC 进行重点检测^[41]。通过上述规范、限量政策的出台和实施,STEC 污染防控在许多国家都取得了良好效果^[42]。

表 3 各国对食品中 STEC 污染控制规范与限量

Table 3 Regulations and limits of STEC in food products of different countries

| 国家或组织 | 标准名称 | 食品类型 | 检测 STEC 血清型 | 限量标准 | |
|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|------------|------------|
| | | | | 采样方案 | 限量规定 |
| 欧盟 ^[39] | EU No.2073/2013 | 芽菜 | O157、O26、O111、O103、O145 和 O104:H4 型 STEC | $n=5, c=0$ | 不得检出/25 g |
| 美国 ^[37] | FSIS Directive 10, 010.1, Rev. 4 | 生牛肉 | O157:H7、O26、O45、O103、O111、O121、O145 型 STEC | — | 不得检出/325 g |
| 澳新 ^[43] | Compendium of Microbiological Criteria for Food | 即食食品 | 所有型别 STEC | $n=5, c=0$ | 不得检出/25 g |
| 韩国 ^[44] | Food Code(No.2019-57) | 肉馅及其制品、未经高温消毒的乳品、鲜切产品 | 所有型别 STEC | $n=5, c=0$ | 不得检出/25 g |
| | 香港食品微生物限量指引 | 即食食品 | 所有型别 STEC | $n=5, c=0$ | 不得检出/25 g |
| 中国 ^[45-46] | GB 29921—2013 | 预包装熟制牛肉制品、预包装即食生牛肉制品和预包装生食果蔬制品 | O157 型 STEC | $n=5, c=0$ | 不得检出/25 g |

注:一为未给出具体采样方案

4 我国 STEC 引发家庭厨房食品安全问题及控制措施分析

目前,我国社会各界对食用农产品中 STEC 污染危害存在一个很大的认知误区:熟制后,食用农产品中污染的 STEC 会被杀死,风险会得到有效控制。这一认知误区中忽略了普遍存在于家庭厨房的 6 个特定危险因素:(1)食用农产品是家庭厨房的主要食物原料;(2)家庭厨房缺乏必要的致病微生物防护设备;(3)家庭厨房操作人员缺乏致病微生物防控知识;(4)生鲜果蔬类食用农产品在家庭餐桌越来越普遍;(5)家庭的即食食品多来自家庭厨房;(6)家庭存在大量易感人群。这些危险因素可随时导致家庭餐桌上的即食食品被 STEC 污染,进而引发食物中毒。但由于食用农产品引起的食物中毒特征是社区多点散发组成的大范围食物中

毒暴发,一旦发生,消费者自己往往作为散发中毒事件的处理者,而我国又缺乏成熟的食源性致病微生物溯源网络,不能将中毒病例溯源至某一特定 STEC 污染的食用农产品,致使该类食物中毒在我国至今未被有效识别和关注。

我国在食品安全标准制修订、食品监管和食品生产等多个层面,对食用农产品中 STEC 污染及其危害控制存在严重不足。我国 GB 29921—2013《食品安全国家标准 食品中致病菌限量》^[46]中,仅针对预包装熟制牛肉制品、预包装即食生牛肉制品和预包装生食果蔬制品中 O157 型 STEC 进行了限量规定($n=5, c=0, m=0$),对其他型别 STEC 未制定限量标准。在动物源性食用农产品相关的限量标准 GB 2707—2016《食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品》^[47]和 GB 20799—2016《食品安全国家标准 肉和肉制品经营卫生规范》^[48]中,未对致病微生物做

出任何限量要求。针对安全风险相对较低的农兽药残留指标,国家食品安全标准中却制定了极为详尽的限量标准^[49-50],这些标准的执行往往依赖于动辄数百万一台的进口高端仪器设备^[51-52]。众所周知,农兽药残留的控制主要依赖于良好种养殖规范的制定和落实,其监测的目的是评价种养殖规范的落实情况,进入加工、流通环节后该指标处于衰减状态。在监管层面,《市场监管总局关于公开征求2020年食品安全监督抽检计划意见的公告》给出的食用农产品抽检品种、项目表^[53]中,仅对食用农产品中诸多理化指标(如农兽药、重金属残留等)进行了检测,而对家庭厨房食品安全造成巨大威胁、关乎百姓健康的致病微生物只字未提,由此可见致病微生物污染的监管防控未能得到与理化指标相当的重视度和关注度。公告所检测的诸多食用农产品化学指标与我国食源性疾病发生率很难形成直接关联,而食品监督抽检目的更应该是降低我国食源性疾病的发生率。

我国目前仅针对食品中 O157 型 STEC 建立了标准检验方法,该方法针对食用农产品检验在取样、前处理等方面存在适用性问题。笼统取 25 g 食品进行检验,对肉类、果蔬等食用农产品不具有可操作性。由于缺乏非 O157 型 STEC 的标准检验方法和 O157 型 STEC 方法在食用农产品中的适用性问题,致使全国性相关监测、风险评估工作难以开展。截至目前,我国市场监督管理总局均是针对 STEC 污染低风险的预包装食品开展食品抽检工作,多年的抽检工作中,鲜有 STEC 检出,而针对致病微生物污染风险高的食用农产品或散装食品,却因缺乏相关限量标准,并未开展 STEC 抽检工作^[54],导致有效、规范的 STEC 污染监测数据缺乏。从零散的科研型检验数据可以看出,由于缺乏规范的致病微生物控制,我国动物和植物源性食用农产品中致病微生物处于高水平污染状态。如对我国零售猪肉、牛肉、羊肉、鸭肉等动物源性食用农产品展开的流行病学调查研究显示,STEC 阳性率在 2.9%~55.6% 之间,且存在对人类具有高致病性的 STEC 菌株^[55]。此外,市场上还存在大量可生食果蔬类植物源性食用农产品,如西红柿、生菜、黄瓜、苦苣、香菜、苹果、梨等,这些果蔬进入家庭后,通常仅经过简单的清洗就被直接食用,而这些果蔬在生长过程中,可以通过灌溉水、土壤等被 STEC 污染,从而对家庭成员造成健康风险。例如,2019 年美国

27 个州发现一起由 O157 型 STEC 污染生菜造成的暴发事件,共造成 169 人感染,85 人住院,15 人发生 HUS^[56],类似事件在有完善监测网络的国家每年都有多起报道;因此,我国亟需完善 O157 型 STEC 的标准检验方法,建立非 O157 型 STEC 的标准检验方法,开展不同种类食用农产品中 STEC 的风险评估工作,制定切实可行的食用农产品生产、加工规范及 STEC 限量标准。

鉴于家庭厨房对 STEC 防护能力匮乏,食用农产品的 STEC 污染风险防控过程中,企业和食品安全监管部门应起主导作用,在食用农产品进入家庭厨房前尽量寻求解决方案,最大限度降低 STEC 进入家庭厨房的几率。我国应针对性开展规范的、全国性食用农产品中 STEC 抽检和监测工作,识别我国 STEC 污染的主要食用农产品载体,针对高风险载体,制定并执行种植、养殖、屠宰和加工过程的生产规范,切实降低 STEC 污染食用农产品进入家庭厨房的风险。

综上,我国食用农产品中 STEC 污染防控处于落后状态,消费者亟需掌握有效的食品安全知识,提升家庭食品安全水平;而国家食品安全监管、标准制修订和食品生产各环节应加强食用农产品中 STEC 污染监测、控制,切实降低 STEC 污染水平,将 STEC 最大限度阻挡在家庭厨房之外,切实保障人民的食品安全。

参考文献

- [1] KARMALI M A. Infection by verocytotoxin-producing *Escherichia coli*[J]. Clin Microbiol Rev, 1989, 2(1):15-38.
- [2] ALLEN B, YOUNGSTER I, MCADAM A J. Shiga toxin producing *Escherichia coli* [J]. Clin Lab Med, 2005, 35(2): 247-272.
- [3] TARR P I, GORDON C A, CHANDLER W L. Shiga-toxin-producing *Escherichia coli* and haemolytic uraemic syndrome[J]. Lancet, 2005, 365(9464):1073-1086.
- [4] WHITE A, CRONQUIST A, BEDRICK E J, et al. Food source prediction of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* outbreaks using demographic and outbreak characteristics, United States, 1998-2014[J]. Foodborne Pathog Dis, 2016, 13(10): 527-534.
- [5] KARMALI M A, STEELE B T, PETRIC M, et al. Sporadic cases of haemolytic-uraemic syndrome associated with faecal cytotoxin and cytotoxin-producing *Escherichia coli* in stools[J]. Lancet, 1983, 1(8325):619-620.
- [6] FAO/WHO. Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and food: attribution, characterization, and monitoring: report[M]. FAO/WHO: CAB Rome, 2018:40-45.

- [7] FAO/WHO. Attributing illness caused by Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) to specific foods, Microbiological Risk Assessment Series 32, Report [M]. FAO/WHO: CAB Rome, 2019.
- [8] KÄPPELI U, HÄCHLER H, GIEZENDANNER N, et al. Human infections with non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, Switzerland, 2000-2009 [J]. Emerg Infect Dis, 2011, 17(2):180-185.
- [9] 巴鹏斌, 孟琼, 白向宁, 等. 非 O157 产志贺毒素大肠埃希菌研究进展 [J]. 中国人兽共患病学报, 2017, 33(2): 156-162.
- [10] MAJOWICZ S E, SCALLAN E, JONES-BITTON A, et al. Global incidence of human Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infections and deaths: a systematic review and knowledge synthesis [J]. Foodborne Pathog Dis, 2014, 11(6):447-455.
- [11] GARVEY P, CARROLL A, MCNAMARA E, et al. Verotoxigenic *Escherichia coli* transmission in Ireland: a review of notified outbreaks, 2004-2012 [J]. Epidemiol Infect, 2015, 144(5): 917-926.
- [12] BRUYAND M, MARIANI-KURKDJIAN P, LE HELLO S, et al. Paediatric haemolytic uraemic syndrome related to Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, an overview of 10 years of surveillance in France, 2007 to 2016 [J]. Euro Surveill, 2019, 24(8):1800068.
- [13] European Food Safety Authority. Urgent advice on the public health risk of Shiga-toxin producing *Escherichia coli* in fresh vegetables [J]. EFSA Journal, 2011, 9(6):2274.
- [14] SADIQ S M, HAZEN T H, RASKO D A, et al. EHEC genomics: past, present, and future [J]. Microbiol Spectr, 2014, 2(4):EHEC-0020-2013.
- [15] FERENS W A, HOVDE C J. *Escherichia coli* O157:H7: animal reservoir and sources of human infection [J]. Foodborne Pathog Dis, 2011, 8(4): 465-487.
- [16] GEUE L, SEGURA-ALVAREZ M, CONRATHS F J, et al. A long-term study on the prevalence of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) on four German cattle farms [J]. Epidemiol Infect, 2002, 129(1): 173-185.
- [17] VIAL S L, DOERSCHER D R, HEDBERG C W, et al. Microbiological testing results of boneless and ground beef purchased for the U.S. National School Lunch Program, school years 2015 to 2018 [J]. J Food Prot, 2019, 82(10):1761-1768.
- [18] TORO M, RIVERA D, REYES-JARA A, et al. Isolation and characterization of non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) isolated from retail ground beef in Santiago, Chile [J]. Food Microbiol, 2018, 75(10):55-60.
- [19] BRUSA V, ALIVERTI V, ALIVERTI F, et al. Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in beef retail markets from Argentina [J]. Front Cell Infect Microbiol, 2013, 2:171.
- [20] VAN ASSELT, DE JONG A E, DE JONGE R, et al. Cross-contamination in the kitchen: estimation of transfer rates for cutting boards, hands and knives [J]. J Appl Microbiol, 2008, 105(5):1392-1401.
- [21] SHRIDHAR P B, WORLEY J N, GAO X, et al. Analysis of virulence potential of *Escherichia coli* O145 isolated from cattle feces and hide samples based on whole genome sequencing [J]. PLoS One, 2019, 14(11): e0225057.
- [22] HAYMAKER J, SHARMA M, PARVEEN S, et al. Prevalence of Shiga-toxigenic and atypical enteropathogenic *Escherichia coli* in untreated surface water and reclaimed water in the Mid-Atlantic U.S. [J]. Environ Res, 2019, 172(2): 630-636.
- [23] FRANK C, WERBER D, CRAMER J P, et al. Epidemic profile of Shiga-toxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 outbreak in Germany [J]. N Engl J Med, 2011, 365(19):1771-1780.
- [24] BOTTICCHIO L, KEATON A, THOMAS D, et al. Shiga toxin-producing *E. coli* infections associated with romaine lettuce—United States, 2018 [J]. Clin Infect Dis, 2019(9):ciz1182.
- [25] TROTZ-WILLIAMS L A, MERCER N J, WALTERS J M, et al. Pork implicated in a Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 outbreak in Ontario, Canada [J]. Can J Public Health, 2012, 103(5): e322-6.
- [26] Centers for Disease Control Prevention. Multistate outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O26 infections linked to raw clover sprouts at Jimmy John's restaurants [EB/OL]. (2012-04-03) [2019-12-20]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2012/o26-02-12/index.html>.
- [27] Centers for Disease Control Prevention. Multistate outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O121 infections linked to raw clover sprouts [EB/OL]. (2014-08-01) [2019-12-20]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2014/o121-05-14/index.html>.
- [28] USEIN C R, CIONTEA A S, MILITARU C M, et al. Molecular characterisation of human Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O26 strains: results of an outbreak investigation, Romania, February to August 2016 [J]. Euro Surveill, 2017, 22(47): 17-00148.
- [29] Centers for Disease Control Prevention. Multistate outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 infections linked to leafy greens [EB/OL]. (2018-01-25) [2019-12-20]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2017/o157h7-12-17/index.html>.
- [30] VYGEN-BONNET S, ROSNER B, WILKING H, et al. Ongoing haemolytic uraemic syndrome (HUS) outbreak caused by sorbitol-fermenting (SF) Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) O157, Germany, December 2016 to May 2017 [J]. Euro Surveill, 2017, 22(21):30541.
- [31] Centers for Disease Control Prevention. Outbreak of *E. coli* infections linked to ground beef [EB/OL]. (2018-09-20) [2019-12-20]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2018/o26-09-18/index.html>.
- [32] Centers for Disease Control Prevention. Outbreak of *E. coli* infections linked to ground beef [EB/OL]. (2019-06-19) [2019-12-20]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2019/o103-04-19/index.html>.
- [33] JONES G, LEFÈVRE S, DONGUY M P, et al. Outbreak of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) O26 paediatric

- haemolytic uraemic syndrome (HUS) cases associated with the consumption of soft raw cow's milk cheeses, France, March to May 2019[J]. *Euro Surveill*, 2019,24(22):1900305.
- [34] FDA. FDA investigated multistate outbreak of Shiga toxin-producing *E. coli* infections linked to flour [EB/OL]. (2017-12-09) [2019-12-20]. <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/fda-investigated-multistate-outbreak-shiga-toxin-producing-e-coli-infections-linked-flour>.
- [35] 陆姣, 王晓莉, 吴林海, 等. 家庭食品处理风险行为特征与食源性疾病间相关性研究[J]. *中国人口资源与环境*, 2017, 27(8):98-105.
- [36] 白丽, 汤晋, 王林森, 等. 家庭食品安全行为高风险群体辨识研究[J]. *消费经济*, 2014, 30(1):43-46.
- [37] FSIS Directive. Sampling verification activities for Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) in raw beef products [EB/OL]. (2015-08-20) [2019-12-20]. <https://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/c100dd64-e2e7-408a-8b27-ebb378959071/10010.1.pdf?MOD=AJPERES>.
- [38] The Federal Meat Inspection Act. 21 U.S. Code chapter 12-meat inspection [EB/OL]. [2019-12-20]. <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/21/chapter-12>.
- [39] Official Journal of the European Union. Commission Regulation (EU) No 209/2013 of 11 March 2013 amending regulation (EC) No 2073/2005 as regards microbiological criteria for sprouts and the sampling rules for poultry carcasses and fresh poultry meat [EB/OL]. (2013-03-11) [2019-12-20]. https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Reg209_2013.pdf.
- [40] 厚生労働省医薬食品局. 腸管出血性大腸菌 O26、O103、O111、O121、O145 及び O157 の検査法について; 食安監発 1120 第 1 号 [EB/OL]. (2014-11-20) [2019-12-20]. <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhin-nanzenbu/141120-1.pdf>.
- [41] International Organization for Standardization (ISO). Microbiology of food and animal feed—real-time polymerase chain reaction (PCR)-based method for the detection of food-borne pathogens—horizontal method for the detection of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and the determination of O157, O111, O26, O103 and O145 serogroups; ISO/TS 13136:2012 (en) [EB/OL]. (2012-11-15) [2019-12-20]. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:13136:ed-1:v1:en>.
- [42] BENNETT S D, SODHA S V, AYERS T L, et al. Produce-associated foodborne disease outbreaks, USA, 1998-2013 [J]. *Epidemiol Infect*, 2018, 146(11):1397-1406.
- [43] Food Standards Australia New Zealand. Compendium of microbiological criteria for food [EB/OL]. 2018 [2019-12-20]. https://www.foodstandards.gov.au/publications/Documents/Compendium%20of%20Microbiological%20Criteria/Compendium_revised-Sep%202018.pdf.
- [44] Korea Food and Drug Administration. Food Code, No.2019-57 [EB/OL]. (2016-04-22) [2019-12-20]. https://www.mfds.go.kr/eng/brd/m_15/view.do?seq=69982.
- [45] Food and Environmental Hygiene Department. Microbiological guidelines for ready-to-eat food [EB/OL]. 2001 [2019-12-20]. https://www.cfs.gov.hk/english/food_leg/files/ready-to-eat-food.pdf.
- [46] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中致病菌限量:GB 29921—2013 [S].北京:中国标准出版社,2013.
- [47] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品:GB 2707—2016 [S].北京:中国标准出版社,2016.
- [48] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 肉和肉制品经营卫生规范:GB 20799—2016 [S].北京:中国标准出版社,2016.
- [49] 李婷婷. 中国与欧盟主要动物源性产品中兽药残留限量差异性研究[D].合肥:合肥工业大学,2009.
- [50] 国家食品药品监督管理总局.我国农兽药残留标准基本覆盖大宗农产品[J].*食品与机械*, 2016, 32(12):104.
- [51] 中华人民共和国农业农村部,中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 水产品中大环内酯类药物残留量的测定 液相色谱-串联质谱法:GB 31660.1—2019 [S].北京:中国标准出版社,2019.
- [52] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 出口粮谷中天然除虫菊素残留总量的检测方法 气相色谱-质谱法:SN/T 0218—2014 [S].北京:中国标准出版社,2014.
- [53] 国家市场监督管理总局食品安全抽检监测司. 2020年食用农产品抽检品种、项目表 [EB/OL]. 2019 [2019-12-20]. <http://www.samr.gov.cn/hd/zjdc/201912/P020191224-5820-54042395.pdf>.
- [54] 国家市场监督管理总局食品安全抽检监测司.2019年食用农产品抽检品种、项目表 [EB/OL]. 2019 [2019-12-20]. <http://www.samr.gov.cn/specs/cjcc/qtwj/201902/W0201902-26366342869745.pdf>.
- [55] BAI X N, WANG H, XIN Y Q, et al. Prevalence and characteristics of Shiga toxin producing *Escherichia coli* isolates from retail raw meats in China [J]. *Int J Food Microbiol*, 2015, 200(1):31-38.
- [56] Centers for Disease Control Prevention. Outbreak of *E. coli* infections linked to romaine lettuce [EB/OL]. (2020-01-15) [2020-01-20]. <https://www.cdc.gov/ecoli/2019/o157h7-11-19/index.html>.