

韩 晗, 韦晓婷, 魏 映, 等. 沙门氏菌对食品的污染及其导致的食源性疾病[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 15-20.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.004

沙门氏菌对食品的污染及其导致的食源性疾病

韩 晗^{1,2}, 韦晓婷¹, 魏 映¹, 姜金仲¹, 王 冉²

[1. 贵州师范学院贵州省生物资源开发利用特色重点实验室, 贵州贵阳 550018;

2. 江苏省农业科学院农业部农产品质量安全风险评估重点实验室(南京), 江苏南京 210014]

摘要: 为了解沙门氏菌对食品的污染及其所导致的食源性疾病状况, 综述了近年来沙门氏菌在各类食品中的检出率、沙门氏菌病发病率、与疾病暴发相关的媒介食品和优势血清型等。结果表明, 沙门氏菌仍是近年来导致食源性疾病的最主要原因之一。畜禽产品易受沙门氏菌污染, 与疾病暴发相关的食品主要是蛋类和禽肉类; 而导致食源性疾病的优势血清型为肠炎和鼠伤寒。这为日后更有效、更有针对性地监控食源性沙门氏菌奠定了理论基础。

关键词: 沙门氏菌; 食品污染; 食源性疾病; 媒介食品; 优势血清型

中图分类号: TS201.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0015-05

沙门氏菌(*Salmonella*)属于肠杆菌科, 是一类杆状、大小约 $1\ \mu\text{m} \times 3\ \mu\text{m}$ 、不产芽孢、兼性厌氧、大多可运动的革兰氏阴性菌^[1]。沙门氏菌具有十分重要的病原学地位——不仅是反映食品致病菌污染状况的主要指示菌, 更是为防制食源性疾病而须重点防控的对象。社会的发展提出了在达到温饱后, 要解决吃得好、吃得安全的新要求。沙门氏菌对食品安全的威胁, 是必须彻底解决的关键问题。本文综述了近年来沙门氏菌对食品的污染及其导致的食源性疾病状况, 为日后更有针对性地监测与防控食源性沙门氏菌提供理论依据。

1 近年来沙门氏菌对食品污染的状况

沙门氏菌自然分布广泛, 主要栖息于动物肠道内, 如鸟类、家畜、鼠类、人类和爬行动物等^[1-3]。动物粪便及肠道内容物被认为是食品沙门氏菌污染的首要污染源^[3]。大多数食品在生产过程中, 易接触到这些污物, 这是食品沙门氏菌污染的重要途径。其中畜禽肉类、蛋类、乳类食品最易受沙门氏菌污染, 尤其是生鲜类。

1.1 沙门氏菌对生鲜畜禽肉类食品的污染

由于我国食品致病菌监测系统仍处于建设和完善中^[4-5], 外部人员可获取的权威数据相对有限; 而且各类文献报道的研究, 因所处地域不同、取样环境、样品种类、检测方法的不统一, 较难整合结果, 故无法从整体上对国内受污染情况作出准确判断。不过, 从近年来国内报道的许多文献中, 仍反映出零售生鲜畜禽肉类食品受沙门氏菌污染较为普遍; 各地的检出率较集中在约 20% 的水平^[6-22], 甚至有报道可达 49.7%^[10] 和 58.1%^[11]。

收稿日期: 2016-02-11

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31402234); 贵州省学位办项目(贵州省重点支持学科建设)(编号: 2011231)。

作者简介: 韩 晗(1987—), 男, 硕士, 助教, 研究方向为食源性病原菌的监测与防控。E-mail: teacherhann@126.com。

通信作者: 王 冉, 博士, 研究员, 研究方向为食源性病原菌的监测与防控。E-mail: wanran2001@126.com。

欧美地区形势可能比国内要好。据欧洲食品安全局(EFSA)的报道, 2011—2013年欧洲地区零售鸡肉、火鸡肉、猪肉和牛肉中, 沙门氏菌平均检出率约为 4.6%^[23-27]; 另据美国农业部食品安全检验服务中心(FSIS)报道, 美国 2009—2013年, 沙门氏菌在鸡肉、火鸡肉、猪肉、牛肉馅、鸡肉馅和火鸡肉馅中的平均阳性率仅为 3.9%^[28]。这可能得益于欧美等国近年来针对沙门氏菌所启动的一系列监控项目^[27-29], 但一些发展中国家, 受污染状况可能与国内相当, 甚至更严重。如 EFSA 报道匈牙利 2013 年零售生鲜畜禽肉中沙门氏菌平均检出率约为 18.6%^[27]; Mihaiu 等报道罗马尼亚生鲜猪肉平均污染率为 22.9%^[30]; 而 Thai 等报道越南为 41.1%^[31]。

在各类零售生鲜肉中, 鸡肉类食品受污染的情况相对更严重, 检出率有时可达 34.0%~52.2%^[7-10, 32-34]。另据 EFSA 报道, 2011—2013 年欧洲零售鸡肉中沙门氏菌平均检出率为 7%, 高于火鸡肉(5.4%)、猪肉(1.7%)和牛肉(0.5%)^[25-27]; 而石颖等报道, 在各类生肉样品中, 鸡肉中沙门氏菌检出率最高, 为 69.9%, 而羊肉、牛肉、猪肉分别为 55.3%、30.1% 和 19.4%^[10]; 其他许多研究者亦有相似结论^[14-18, 31]。鸡肉更易受沙门氏菌污染, 可能与下列原因有关: (1) 鸡是沙门氏菌最主要的宿主, 许多研究均表明从鸡体中检出沙门氏菌的频率要高于其他食品动物^[2, 35-36]; (2) 鸡的饲养方式, 其集约化和规模化程度要高于其他动物, 这为沙门氏菌的富集、增殖与传播创造了更为有利的条件; (3) 肉鸡在目前工艺水平下的屠宰和加工中, 胴体易受沙门氏菌污染, 即使在成品前有应对措施, 但成品中残留沙门氏菌的几率仍然较大^[37-38]。即便是食品工业较发达的美国, 亦存在此情况: 据 FSIS 2012 年的数据显示, 从屠宰场流水线末端采集的 2 496 份鸡肉成品样中, 26.3% 为沙门氏菌阳性^[39]。

1.2 沙门氏菌对生鲜蛋类食品的污染

禽蛋易受沙门氏菌污染, 这一状况在养殖场内普遍发生, 污染率有时可达 24%~40%^[40-42]。粪便污染是禽蛋外源性污染的主要原因——禽类产卵与排泄共用泄殖腔, 故蛋壳常被带有沙门氏菌的粪土污染。据 Min 等的研究, 蛋鸡饲养环境内的粪便和土壤中, 均较易检出沙门氏菌(检出率分别为

41.8%和40.3%)，而蛋壳表面亦是如此(17.2%)^[43]。不过，更值得关注的也许是隐蔽性更强的蛋内容物污染。沙门氏菌除可由蛋壳外侵入蛋内外，内源性污染亦时常发生——禽类生殖道易受沙门氏菌感染，如卵巢和输卵管，故蛋在生殖道中形成时，会成带菌状态^[44]。但通常，蛋内污染率普遍较蛋外低^[45]；此外，即使蛋内受污染，由于污染位置主要是蛋白和蛋黄膜^[44]，此环境不利于沙门氏菌存活，所以轻微的污染可能会被蛋自身的生理作用而清除^[46]，从而难以检出。但值得注意的是，随着蛋储存时间的推移，沙门氏菌可由蛋白侵入蛋黄，或因蛋黄膜通透性的改变而获得蛋黄内丰富的营养^[47]，此时，蛋内容物将因沙门氏菌的大量增殖而受到严重污染。

相比较而言，市售鲜蛋中沙门氏菌的检出率，明显低于养殖场内的禽蛋。如EFSA报道欧洲地区2013年为0.18%^[27]，而国内报道范围在0.42%~11.1%之间^[18-19,48-49]；盒装蛋检出率要明显低于散装蛋^[48-49]。这说明上市前对蛋壳的消毒处理十分关键^[29,50]，同时亦表明蛋的内源性污染发生率相对较低。但国内相对欧洲受污染情况仍较严重，这可能与大多数生产者未采取消毒措施而直接上市有关，特别是一些中小型蛋鸡生产者或散养户^[51]，他们仍是国内禽蛋的主要生产者，但专业水平与防控意识普遍较差。

1.3 沙门氏菌对其他生鲜食品的污染

相比肉类和蛋类食品，其他生鲜食品受沙门氏菌污染相对较轻，污染源多为粪便或环境土壤。如原料乳中沙门氏菌污染率在2%以内^[11,52-54]，而果蔬中沙门氏菌检出率在0.3%以内^[23-27]。水产品通常被认为更易受副溶血性弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)污染而非沙门氏菌，但近年来有研究表明，沙门氏菌同样易污染水产品^[55]，尤其是牡蛎，如EFSA报道污染率为1.8%~6.3%^[27]，而Yang等报道为23.1%^[55]。

1.4 沙门氏菌对即食畜禽食品的污染

尽管经过消毒或热处理后，即食食品中大部分微生物已被灭活，但沙门氏菌的二次污染(secondary contamination)值得关注。特别是因为即食食品“无需消毒而直接食用”的特点，使得二次污染对消费者威胁更大。

据FSIS报道，美国2005—2008年抽检的各类即食畜禽食品中，沙门氏菌平均检出率为0.05%，其中污染较严重的分别为肉豚、烤猪肉和腊肠^[56]；而EFSA报道2013年欧洲即食鸡肉制品和即食猪肉制品中，沙门氏菌检出率分别为0.3%和0.8%^[27]。国内情况，据陈玲等报道南方8个城市即食食品中沙门氏菌平均阳性率为6.3%^[11]；琪木格等报道内蒙古某地市售熟肉和米面制品中沙门氏菌检出率分别为10%和3.3%^[19]；石颖等报道陕西某地凉拌菜中沙门氏菌阳性率为9.6%^[10]；而王学硕等报道北京某地熟肉和凉拌菜中沙门氏菌检出率分别为14.75%和7.23%^[57]。

相比于生鲜类食品，即食食品受沙门氏菌污染的情况较轻，通常污染主要发生在食品加工时与受污染器械、带菌人员接触，或成品后与生鲜食品、带菌动物接触^[56]。就目前工艺水平与防控措施而言，这些污染发生的概率可能相对较低^[58]。不过，数据仍反映出国内即食食品受沙门氏菌污染的情况较欧美等国要严重，特别是一些散装食品^[58]。这可能与国内生产环境的卫生状况较差有关^[19,57-58]。

2 沙门氏菌所导致的食源性疾病

2.1 概况

据美国疾病预防控制中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)和美国食源性疾病主动监测网(Foodborne Disease Active Surveillance Network, FoodNet)的数据显示，美国在2009—2012年，平均每年经实验室确诊的沙门氏菌病(salmonellosis)病例为52 326例，平均每年的发病率(incidence rates)约16.3例/10万人口；平均每年由沙门氏菌导致的食源性疾病暴发(outbreak)次数为118次，约占细菌类食源性疾病暴发事件总数的49%，平均每起暴发事件约造成29例病例^[59-63]。另据EFSA统计，欧洲2009—2013年平均每年确诊的沙门氏菌病病例数为96 405例，平均每年的发病率约为21.9例/10万人口；平均每年由沙门氏菌导致的食源性疾病暴发次数为1 506次，约占细菌类食源性疾病暴发事件总数的71%，约占各类食源性疾病暴发事件总数的28%，平均每起事件约造成7例病例^[23-27]。而据澳大利亚卫生部食源性疾病监测网系统(Australia's enhanced foodborne disease surveillance system, OzFoodNet)，澳大利亚2010—2011年，平均每年上报的沙门氏菌食源性感染病例约为12 132例，占有类型食源性感染病例总数的39.8%，平均每年的发病率约为54例/10万人口；平均每年由沙门氏菌导致的食源性疾病暴发次数约为60次，约占各类食源性疾病暴发事件总数的39%，平均每起事件约造成14例病例^[64]。

发达国家较为完善的疾病监测体系，为分析食源性疾病的发生与流行提供了宝贵数据，但仍存在一定局限性。不少学者认为，实际上每年受沙门氏菌感染的病例数可能更高，被确诊与上报的只是其中小部分。如Scallan等估计，美国每年受非伤寒沙门氏菌食源性感染的病例可达1 027 561例，占各类食源性疾病总数的11%，排在诺如病毒(Norovirus)之后，列第2位；占细菌类食源性疾病总数的28%，位列第1；每年因非伤寒沙门氏菌感染而入院治疗的人数为19 336人，死亡人数为378人，2项均排在各类食源性疾病之首^[65]。

我国食源性疾病检测系统目前正处于建设和发展中^[4-5]，系统外的工作人员可获取的数据相对有限，因此无法掌握全面、权威的数据。但从一些文献报道上看，沙门氏菌病对国内居民人身健康仍有较大威胁^[4-5,66-67]。有学者指出，发展中国家或欠发达地区，沙门氏菌性疾病的形势远比发达国家严峻，只是大多数病例未能上报^[1,68]。据Majowicz等估计，全球每年受非伤寒沙门氏菌感染的病例可达93 757 000例，死亡人数约为155 000，发病率为1 140例/10万人口^[68]。更有激进者认为，每年罹患沙门氏菌病的人数可通过如下方式估算：若每人10年内至少罹患1次沙门氏菌病，则每人每年的患病率为1/10^[1]，照此推算，假设我国人口为13.7亿，那么每年罹患沙门氏菌病的人数将达到1.37亿！

综上所述，沙门氏菌仍是近年来导致食源性疾病的最主要病原体之一，而且是导致食源性疾病暴发的最主要原因。尽管在欧洲和澳大利亚地区，近年来由弯曲杆菌(*Campylobacter*)导致的疾病数量正在不断攀升，病例数已明显超过沙门氏菌，但沙门氏菌病仍占有很大比例^[23-27,64]。而在美国，沙门氏菌引起的疾病数量要超过其他食源性病原

菌^[59-63]。我国尽管目前尚无权威的数据公开指明沙门氏菌病的严峻形势,但若致力于提高食品安全和保障人民健康,沙门氏菌病是必须彻底解决的关键问题。

2.2 媒介食物

食源性感染,是沙门氏菌致病的主要途径。据估计,美国2000—2008年每年受沙门氏菌感染的患者中,94%~96%是食源性感染^[65];而全球沙门氏菌病病例中,估计有85.6%是食源性感染^[68]。美国在2009—2012年的沙门氏菌病暴发事件中,经食品传播的占75.8%^[63]。

在可追溯的与疾病暴发相关的食品中,畜禽类是主要媒介。据CDC统计,1998—2008年暴发的所有食源性沙门氏菌感染中,54.9%与畜禽类食品有关,其中禽肉占比为34.6%,蛋类占27.0%,乳类占13.1%,而牛肉和猪肉分别占13.3%和11.3%^[69]。而据OzFoodNet的数据,澳大利亚2011年暴发的沙门氏菌病中,由畜禽类食品引起的占77.6%,其中蛋类食品占68.4%、禽肉占21.1%、猪肉和牛肉各占5.3%^[64]。另据EFSA报道,欧洲2009—2013年暴发的沙门氏菌病中,蛋及其制品所占比例最大(46.5%),其次为畜禽肉及其制品(13.5%)、甜点(4.0%)和乳类食品(2.8%)^[23-27]。

如前文所述,畜禽肉类食品,尤其是鸡肉易受沙门氏菌污染,因此引发的病例数也较多。而蛋类食品虽然受污染情况相对较轻,却可能引起更为严重的病况。对比一组数据可直观反映这种形势:2013年欧洲地区零售鲜蛋中沙门氏菌平均污染率仅为0.18%,而由蛋及其制品所引起的沙门氏菌病暴发,却可占所有事件的44.9%^[27]。这可能与下列原因有关:

(1) 蛋类的加工及食用方式。虽然经高温烹煮后,蛋内沙门氏菌几乎被全部灭活,但蛋类除了因营养丰富可直接蒸煮食用外,还具有许多重要功能——可用作许多食品如面包、甜点、肉饼、酱汁、冰淇淋等的促凝剂、发泡剂或乳化剂等。当蛋做此类用途时,通常直接使用生的或仅经轻微热处理。若这些蛋曾遭受沙门氏菌污染,将有极大的概率引起食源性感染。

(2) 消费群体。蛋类因富含优质蛋白和卵磷脂,常作为儿童的健康品被大量消费。即使蛋类的沙门氏菌污染率相对较低,但儿童的抵抗力较弱,可能轻微的沙门氏菌污染,就能导致较大概率的感染。据FoodNet的数据,沙门氏菌易感人群主要为9岁以下儿童,所占比例约为总病例数的30%,特别是5岁以下儿童,约占总病例的25%^[63]。足见蛋源性沙门氏菌对儿童威胁较大。同样,乳类食品尽管污染情况较轻,但也能引起相当程度的危害,原因可能也与特殊用途下的加工方式和消费群体有关。

2.3 优势血清型

尽管沙门氏菌亚种及血清型较多,但与食品污染和食源性疾病关系较大的,通常是肠沙门氏菌亚种(*S. enterica* subsp. *enterica*)的少部分血清型。

2.3.1 食品中沙门氏菌的优势血清型 据EFSA报道,欧洲地区2004—2011年,肉鸡、蛋鸡、鸡肉及蛋类食品中检出率最高的血清型分别为肠炎(*Enteritidis*, 39.1%)、婴儿(*Infantis*, 22.0%)和鼠伤寒(*Typhimurium*, 8.6%);猪和猪肉类食品中检出率最高的分别为鼠伤寒(54.8%)、德比(*Derby*, 12.1%)和非典型鼠伤寒(*Monophasic S. Typhimurium*, 8.6%);牛和牛肉类食品中检出率最高的分别为鼠伤寒(43.5%)、都柏林

(*Dublin*, 27.9%)和鸭(*Anatum*, 4.7%)^[23-27]。另据FSIS报道,美国2009—2013年间,鸡肉中检出率最高的血清型分别为肯塔基(*Kentucky*, 46.8%)、肠炎(20.7%)和鼠伤寒(8.3%);猪肉馅中检出率最高的分别为肠炎(30.2%)、肯塔基(23.8%)和海德尔堡(*Heidelberg*, 13.6%);猪肉中检出率最高的血清型分别为德比(16.4%)、鼠伤寒(12.3%)和约翰内斯堡(*Johannesburg*, 10.0%);牛肉中检出率最高的分别为蒙得维的亚(*Montevideo*, 29.7%)、都柏林(11.3%)和鼠伤寒(5.7%)^[70]。

国内情况,如Yang等报道广东、四川和陕西地区鸡肉样品中,检出率最高的血清型分别为肠炎(19.2%)、印第安纳(*Indiana*, 15.2%)和鼠伤寒(14.6%)^[8]。Lin等报道深圳地区鸡肉中检出率最高的血清型分别为德比(37.9%)、海德尔堡(20.7%)和罗森塔尔(*Rosenthal*, 10.3%);猪肉中分别为德比(39.6%)、鼠伤寒(26.4%)和罗森塔尔(9.4%)^[6]。Wang等报道北京地区零售鸡肉中以肠炎、印第安纳和婴儿为优势血清型^[9]。Li等报道江苏地区猪肉中以鼠伤寒(10.4%)、火鸡(*Meleagris*, 9.2%)和鸭(8.6%)为优势血清型^[12]。Shi等报道河北地区肉类中优势血清型为鼠伤寒^[18]。陈玲等报道南方8个城市肉类食品中以德比和鼠伤寒血清型检出率最高^[11]。

因年份、地域和食品种类的不同,食品中沙门氏菌血清型的流行和分布情况可能存在一定变化。但近年来,在各类畜禽食品中,肠炎、鼠伤寒、德比、肯塔基、婴儿、印第安纳和海德尔堡等是优势血清型。而在禽肉和蛋类食品中,以肠炎血清型分离率相对较高;在猪肉、牛肉类食品中,以鼠伤寒血清型分离率相对较高。这一结论,可与各类食品动物的检测结果联系:通常肠炎沙门氏菌较易从禽体内检出,而鼠伤寒沙门氏菌则较易从家畜体内检出^[2,27,35-36,69-70],暗示沙门氏菌的宿主适性是决定其在食品中分布的主要因素。

2.3.2 引起疾病的沙门氏菌优势血清型 虽然食品中沙门氏菌血清型的分布与流行,可能带有明显的地域、年份或食品类别特征,但对于常引起食源性疾病的血清型种类却相当保守。从近年来报道的沙门氏菌病病例看,无论国内外,优势血清型主要为肠炎和鼠伤寒。据EFSA报道,欧洲2011—2013年由各血清型引起的食源性感染中,位列前3位的分别为肠炎(41.8%)、鼠伤寒(22.5%)和非典型鼠伤寒(6.8%)^[25-27]。而据FoodNet的数据,美国2009—2012年间,导致疾病前3位血清型的分别为肠炎(18.0%)、鼠伤寒(12.7%)和纽波特(*Newport*, 12.0%)^[64]。国内情况,如Li等报道引起沙门氏菌病的优势血清型为肠炎(38.9%)和鼠伤寒(27.9%)^[71];而其他研究者均有相似结论^[72-74]。

关于肠炎和鼠伤寒血清型为何更易引发食源性疾病,可能与下列原因有关:(1) 宿主范围和自然分布更广。根据大多数报道可知,在某类食品或某类动物中,肠炎或鼠伤寒即使不为优势血清型,但大多可从其中被检出^[6,8,11,23-27,69-70],因而人类接触这2种血清型的几率更大。(2) 致病力和生存能力更强。尽管目前尚无报道通过精确的试验手段,将所有血清型的致病力与抗逆性进行比对验证,关于沙门氏菌致病力与生存能力的判断,也大多源于临床资料与宏观统计数据。但一些资料仍表明,肠炎和鼠伤寒在非伤寒沙门氏菌中,具有相对更强的致病力与存活能力^[69,75-76]。

3 结论

沙门氏菌具有十分重要的病原学地位,它对食品安全的威胁,是必须彻底解决的关键问题。近年来,欧美等西方国家,食品中沙门氏菌污染情况相对较轻^[23-28],这可能与这些国家所启动的一系列监控项目有关^[27-29,63-64]。不过,若从沙门氏菌病的流行情况看,这些地区并未因相关项目的启动,而使疾病的发生率显著降低。除欧洲有一定减缓趋势外^[27],美国和澳大利亚均呈现增长的趋势^[59-64]。而且,即使是沙门氏菌污染率相对较小的蛋类食品,却也能引起更大比例的食源性疾病暴发^[27]。这表明进一步加强监控与采取更有针对性的防控措施尤为必要。

尽管未能全面掌握我国近年来的食品沙门氏菌污染与食源性疾病的真实情况,但从上述零星报道文献看,沙门氏菌仍是威胁食品安全的主要因素,而且形势可能比发达国家更严峻——依据常被消费的畜禽类食品普遍受沙门氏菌污染,这种猜测与担忧也许是合理的。

关于沙门氏菌病在全球仍有较高的发病率与持续增长趋势,可能与下列原因有关:(1)随着生活水平的提高,与沙门氏菌病暴发关联较大的动物性食品,其消费量也在不断增长,这增加了沙门氏菌病发生的概率;(2)集约化的养殖、集中化的食品加工以及高人口密度的城市化发展,为沙门氏菌的富集与传播创造了有利的条件;(3)人类食物链环节的增多和饮食方式的多元化,增添了沙门氏菌病暴发的不确定因素,这为研究沙门氏菌病的流行病学带来难度;(4)食品生产工艺的日新月异,新原料和新设备的采用,使得食品污染的途径也日趋复杂化,这为防控沙门氏菌造成巨大障碍;(5)沙门氏菌耐药性菌株的大量流行与耐药性的不断增强^[2,8],使得彻底治愈沙门氏菌病难度增大,这将导致带菌者人数的增加与接触传染的几率增大。

综上所述,沙门氏菌仍是近年来导致食源性疾病的最主要原因,它对食品安全的威胁并未有减缓趋势,仍值得进一步加强监测与采取更有针对性的防控措施。

参考文献:

- [1] Ray B, Bhunia A. 基础食品微生物学[M]. 4版. 江汉湖,译. 北京:中国轻工业出版社,2014:264-270.
- [2] Hur J, Jawale C, Lee J H. Antimicrobial resistance of *Salmonella* isolated from food animals; a review[J]. Food Research International, 2012, 45(2): 819-830.
- [3] 徐建国. 现场细菌学[M]. 北京:科学出版社,2011:115-130.
- [4] 金征宇, 彭池方. 食品安全[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2008:2-270.
- [5] 吴林海, 王建华, 朱 淀, 等. 中国食品安全发展报告:2013[M]. 北京:北京大学出版社,2013:2-500.
- [6] Lin D, Yan M, Lin S, et al. Increasing prevalence of hydrogen sulfide negative *Salmonella* in retail meats[J]. Food Microbiology, 2014, 43: 1-4.
- [7] Yang B, Xi M, Wang X, et al. Prevalence of *Salmonella* on raw poultry at retail markets in China[J]. Journal of Food Protection, 2011, 74(10): 1724-1728.
- [8] Yang B W, Cui Y, Shi C, et al. Counts, serotypes, and antimicrobial

- resistance of *Salmonella* isolates on retail raw poultry in the People's Republic of China[J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(6): 894-902.
- [9] Wang Y, Chen Q, Cui S, et al. Enumeration and characterization of *Salmonella* isolates from retail chicken carcasses in Beijing, China[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2014, 11(2): 126-132.
- [10] 石 颖, 杨保伟, 师俊玲, 等. 陕西关中畜禽肉及凉拌菜中沙门氏菌污染分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(7): 22-27.
- [11] 陈 玲, 张菊梅, 杨小鹏, 等. 南方食品中沙门氏菌污染调查及分型[J]. 微生物学报, 2013, 53(12): 1326-1333.
- [12] Li Y C, Pan Z M, Kang X L, et al. Prevalence, characteristics, and antimicrobial resistance patterns of *Salmonella* in retail pork in Jiangsu Province, Eastern China[J]. Journal of Food Protection, 2014, 77(2): 236-245.
- [13] 吴双志, 刘 洋, 胡 锋, 等. 2011—2013年牡丹江市食品中沙门氏菌的分布调查[J]. 医学动物防制, 2015, 31(9): 1005-1007.
- [14] 吕素玲, 韦程媛, 姚雪婷, 等. 2010年广西食品中沙门氏菌污染状况和血清型分布及耐药谱的研究[J]. 应用预防医学, 2012, 18(3): 137-141, 170.
- [15] 尹明远, 张晓燕, 艾乃吐拉, 等. 2010—2012年新疆乌鲁木齐地区零售生肉中沙门氏菌污染情况调查[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(2): 172-175.
- [16] 陈玉贞; 邵 坤, 关 冰. 2003—2008年山东省流通领域食品沙门氏菌污染状况调查[J]. 中国公共卫生管理, 2010, 6(2): 163-165.
- [17] 孙吉昌, 游兴勇, 曾艳兵, 等. 2009年至2011年江西省食品中沙门氏菌污染状况调查[J]. 实验与检验医学, 2012, 30(2): 126-129.
- [18] Shi Q M, Wang Q Y, Zhang Y Y, et al. Situation of salmonella contamination in food in Hebei Province of China in 2009—2010[J]. African Journal of Microbiology Research, 2012, 6(2): 365-370.
- [19] 琪木格. 八类食品中沙门氏菌污染状况分析[J]. 内蒙古医学杂志, 2012, 44(2): 封3.
- [20] 杨德胜, 张险朋, 黄炳焱, 等. 动物产品沙门氏菌污染情况调查[J]. 中国畜牧兽医, 2010, 37(10): 202-203.
- [21] 贺漓漓, 杨小养, 康富俊, 等. 2007—2011年桂林市零售食品中沙门氏菌的监测[J]. 华夏医学, 2012, 25(3): 301-303.
- [22] 张文宇, 杜雄伟, 岳威威. 大连地区食源性沙门氏菌耐药性检测[J]. 畜牧兽医科技信息, 2014(2): 35-36.
- [23] European Food Safety Authority, European Centre for Disease Prevention and Control. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2009[J]. EFSA Journal, 2011, 9(3): 2090.
- [24] European Food Safety Authority. European centre for disease prevention and control. The European union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2010[J]. EFSA Journal, 2012, 10(3): 2597.
- [25] European Food Safety Authority. European centre for disease prevention and control. The European union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2011[J]. EFSA Journal, 2013, 11(4): 3129.
- [26] European Food Safety Authority. European centre for disease prevention and control. The European union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2012[J]. EFSA Journal, 2014, 12(2): 3547.
- [27] European Food Safety Authority. European centre for disease

- prevention and control. The European union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2013[J]. EFSA Journal, 2015, 13(1):3991.
- [28] United States Department of Agriculture. Food safety and inspection service[EB/OL]. (2015-08-21)[2016-02-07]. <http://www.fsis.usda.gov/wps/portal/ffsis/topics/data-collection-and-reports/microbiology/annual-progress-reports>.
- [29] 张贤群(译), 李震(校). 美国和欧洲的沙门氏菌污染控制经验: 成功与改进[J]. 国外畜牧学: 猪与禽, 2014, 34(11):43-44.
- [30] Mihaiu L, Lapusan A, Tanasuca R, et al. First study of *Salmonella* in meat in Romania [J]. Journal of Infection in Developing Countries, 2014, 8(1):50-58.
- [31] Truong H T, Hirai T, Nguyen Thi L, et al. Antibiotic resistance profiles of *Salmonella* serovars isolated from retail pork and chicken meat in North Vietnam [J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 156(2):147-151.
- [32] Abd-Elghany S M, Sallam K I, Abd-Elkhalek A, et al. Occurrence, genetic characterization and antimicrobial resistance of *Salmonella* isolated from chicken meat and giblets[J]. Epidemiology and Infection, 2015, 143(5):997-1003.
- [33] Siriken B, Turk H, Yildirim T, et al. Prevalence and characterization of *Salmonella* isolated from chicken meat in Turkey [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(5):M1044-M1050.
- [34] Fearnley E, Raupach J, Lagala F, et al. *Salmonella* in chicken meat, eggs and humans; Adelaide, South Australia, 2008 [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 146(3):219-227.
- [35] Kuang X H, Hao H H, Dai M H, et al. Serotypes and antimicrobial susceptibility of *Salmonella* spp. isolated from farm animals in China [J]. Frontiers in Microbiology, 2015, 6(6):602.
- [36] Lai J, Wu C M, Wu C B, et al. Serotype distribution and antibiotic resistance of *Salmonella* in food-producing animals in Shandong Province of China, 2009 and 2012 [J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 180:30-38.
- [37] Bae D H, Dessie H K, Baek H J, et al. Prevalence and characteristics of *Salmonella* spp. isolated from poultry slaughterhouses in Korea [J]. The Journal of Veterinary Medical Science/the Japanese Society of Veterinary Science, 2013, 75(9):1193-1200.
- [38] 朱冬梅, 彭珍, 刘书亮, 等. 肉鸡屠宰加工过程中沙门氏菌的污染情况及其耐药性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(17):214-219.
- [39] United States Department of Agriculture. The nationwide microbiological baseline data collection program: raw chicken parts survey [EB/OL]. (2015-08-17)[2016-02-07]. <http://www.fsis.usda.gov/wps/portal/ffsis/topics/data-collection-and-reports/microbiology/baseline/baseline>.
- [40] 刘少文, 郭春华, 马晓龙, 等. 四川部分地区鸭蛋沙门氏菌的分离鉴定及药敏实验[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6):72-74, 85.
- [41] 尹晓楠, 陈晶, 田祥宇, 等. 北京郊区散养鸡及鸡蛋沙门氏菌带菌情况调查[J]. 中国动物检疫, 2013, 10(10):61-65.
- [42] Ekundayo E O, Ezeoke J C. Prevalence and antibiotic sensitivity profile of *Salmonella* species in eggs from poultry farms in umudike, Abia state [J]. Journal of Animal and Veterinary Advances, 2011, 10(2):206-209.
- [43] Min C L, Jeong S J, Kwon Y K, et al. Prevalence and characteristics of *Salmonella* spp. isolated from commercial layer farms in Korea [J]. Poultry Science, 2015, 94(7):1691-1698.
- [44] Gantois I, Ducatelle R, Pasmans F, et al. Mechanisms of egg contamination by *Salmonella enteritidis* [J]. FEMS Microbiology Reviews, 2009, 33(4):718-738.
- [45] Sasaki Y, Tsujijama Y, Asai T, et al. *Salmonella* prevalence in commercial raw shell eggs in Japan: a survey [J]. Epidemiology and Infection, 2011, 139(7):1060-1064.
- [46] Rehault S, Anton M, Nau F, et al. Biological activities of the egg [J]. Productions Animales, 2007, 20(4):337-347.
- [47] Humphrey T J, Whitehead A, Gawler A H, et al. Numbers of *Salmonella enteritidis* in the contents of naturally contaminated hens' eggs [J]. Epidemiology and Infection, 1991, 106(3):489-496.
- [48] 王晶钰, 董睿, 王利勤, 等. 市售鲜鸡蛋中沙门氏菌的分离鉴定及毒力岛基因检测[J]. 食品科学, 2012, 33(16):154-158.
- [49] 姚俊峰, 高娟, 王晓亮, 等. 上海市零售鸡蛋沙门氏菌快速检测[J]. 上海农业学报, 2014, 30(4):93-96.
- [50] 段忠意, 秦宇辉, 刘燕荣, 等. 鸡蛋生产环节沙门氏菌检测及鸡蛋对蛋品质影响的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(5):475-480.
- [51] 韩磊, 赵从凯, 王洪波, 等. 自由市场鲜鸡蛋黄中沙门氏菌的检测[J]. 畜禽业, 2010, 10(10):50-51.
- [52] 高文茹, 陈庆森, 庞广昌, 等. 西北地区原料奶沙门氏菌污染程度鉴定与分析[J]. 食品科技, 2011, 36(2):285-289.
- [53] 巢围祥, 徐勤, 李禾, 等. 扬州市六类食品沙门氏菌污染状况及耐药情况研究[J]. 世界感染杂志, 2005, 5(2):102-104.
- [54] 田银芳, 王翌明. ELISA方法与国标法在检测鲜奶中沙门氏菌的比较研究[J]. 中国乳品工业, 1998(5):32-33.
- [55] Yang X J, Wu Q P, Zhang J M, et al. Prevalence, enumeration, and characterization of *Salmonella* isolated from aquatic food products from retail markets in China [J]. Food Control, 2015, 57:308-313.
- [56] United States Department of Agriculture. Analysis of ALLRTE and RTE001 sampling results for *Salmonella* species, calendar years 2005 through 2008 [EB/OL]. (2015-12-04)[2016-02-07]. <http://www.fsis.usda.gov/wps/portal/ffsis/topics/data-collection-and-reports/microbiology>.
- [57] 王学硕, 崔生辉, 邢书霞, 等. 餐饮食品中沙门氏菌的危害分析、污染调查与防控[J]. 中国药事, 2013, 27(9):974-979.
- [58] 裴晓燕, 郭云昌, 李宁, 等. 2012年中国食品微生物风险监测概况[J]. 中国公共卫生管理, 2015, 31(1):25-28.
- [59] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Summary of notifiable diseases: United States, 2009 [J]. Morbidity and Mortality Weekly Report, 2011, 58(53):1-100.
- [60] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Summary of notifiable diseases—United States, 2010 [J]. Morbidity and Mortality Weekly Report, 2012, 59(53):1-111.
- [61] Centers for Disease Control, Prevention. Summary of notifiable diseases—United States, 2011 [J]. Morbidity and Mortality Weekly Report, 2013, 60(53):2-109.
- [62] Centers for Disease Control, Prevention. Summary of notifiable diseases—United States, 2012 [J]. Morbidity and Mortality Weekly Report, 2014, 61(53):2-114.
- [63] CDC. Foodborne Diseases Active Surveillance Network (FoodNet). FoodNet surveillance report for 2012 (Final Report) [M]. Atlanta, Georgia: U. S. Department of Health and Human Services, CDC, 2014:2-36.

张亚莉,张乃迁,罗锡文,等. 水中悬浮物浓度的检测方法研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):20-23.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.005

水中悬浮物浓度的检测方法研究进展

张亚莉¹,张乃迁²,罗锡文¹,杨广文¹,谢金延¹,曾伟渺¹,欧阳健燊¹

(1. 华南农业大学工程学院/南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室,广东广州 510642;
2. Biological and Agricultural Engineering Department, Kansas State University, Manhattan K S 66502, USA)

摘要:水中悬浮物是重要的农业非点源污染物之一,也是水质评价的重要研究对象,对水中悬浮物浓度的有效检测有助于确定相关水域的悬浮物最大日负荷(total maximum daily loads, TMDL)以及相应的最佳管理操作(best management practice, BMP)。对水中悬浮物浓度的检测方法,包括传统称质量法、光学传感器、激光衍射、遥感、声学、图像处理、电容等方法进行了总结和归纳,分析各自的优势和存在的问题并提出了建议。结果表明,在利用遥感技术、水中传感器研究的基础上,从空间、地面进行信息采集和融合,并开展多源实时监测水中悬浮物浓度的研究是未来的发展方向。

关键词:悬浮物;非点源污染;最大日负荷;最佳管理操作

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0020-04

水中悬浮物浓度是农业水土保持研究和水质评价的重要参数,本研究讨论的悬浮物(suspended sediment, SS)是指在

水中保持悬浮一段相当长的时间而不会沉底的非常细微的土壤颗粒^[1]。水中悬浮物已被美国环境保护署(EPA)确定为重要的非点源(non-point source, NPS)污染物以及影响河流、小溪发挥有效功能的最普遍的污染物^[2-3]。

收稿日期:2015-11-29

基金项目:国家“863”计划(编号:2011AA100704);国家自然科学基金(编号:51309103);华南农业大学大学生创新创业训练计划(编号:201410564042)。

作者简介:张亚莉(1975—),女,山东菏泽人,博士,讲师,研究方向为农情信息快速检测方法及传感器研制。E-mail: ylzhang@scau.edu.cn。

通信作者:罗锡文,硕士,教授,中国工程院院士,研究方向为南方农业机械与装备关键技术、精准农业关键技术。E-mail: xwluo@scau.edu.cn。

与其他水环境污染物一样,水中的悬浮物对水生生态系统有不利的影响。水生生物对悬浮物的浓度和持续时间都有不良反应。悬浮物会引起光衰减,缩短透光区的深度,改变水体中热量的垂直分层。大量悬浮物的存在是限制鱼类栖息地的重要因素,也是减少北美水生生物数量的显著危害者之一^[4-5]。

工业废水污水的排放,以及来自城市、农场的雨水径流都含有有毒化学物质。当水中的悬浮物携带有毒化学物质时,

[64] Group O. Monitoring the incidence and causes of diseases potentially transmitted by food in Australia; annual report of the OzFoodNet network, 2011 [J]. Communicable Diseases Intelligence Quarterly Report, 2015, 39(2): 236-264.

[65] Scallan E, Hoekstra R M, Angulo F J, et al. Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens [J]. Emerging Infectious Diseases, 2011, 17(1): 7-15.

[66] 庞璐,张哲,徐进. 2006—2010年我国食源性疾病暴发简介[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(6): 560-563.

[67] 徐君飞,张居作. 2001—2010年中国食源性疾病暴发情况分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(27): 313-316.

[68] Majowicz S E, Musto J, Scallan E, et al. The global burden of nontyphoidal *Salmonella* gastroenteritis [J]. Clinical Infectious Diseases, 2010, 50(6): 882-889.

[69] Jackson B R, Griffin P M, Cole D, et al. Outbreak-associated *Salmonella enterica* serotype and food commodity, United States, 1998—2008 [J]. Emerging Infectious Diseases, 2013, 19(8): 1239-1244.

[70] United States Department of Agriculture. Serotypes profile of *Salmonella* isolates from meat and poultry products January 1998 through December 2013 [EB/OL]. (2015-11-17) [2016-02-

07]. <http://www.fsis.usda.gov/wps/portal/ffsis/topics/data-collection-and-reports/microbiology/annual-serotyping-reports/serotypes-2013>.

[71] Li Y, Xie X, Xu X, et al. Nontyphoidal salmonella infection in children with acute gastroenteritis: prevalence, serotypes, and antimicrobial resistance in Shanghai, China [J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2014, 11(3): 200-206.

[72] Zhang J, Jin H, Hu J, et al. Serovars and antimicrobial resistance of non-typhoidal *Salmonella* from human patients in Shanghai, China, 2006—2010 [J]. Epidemiology and Infection, 2014, 142(4): 826-832.

[73] 刘雯静. 我国部分地区沙门氏菌的分子分型及流行特征分析 [D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2011.

[74] 李桦,汪伟山,周玉球. 2009—2014年珠海市腹泻儿童沙门菌感染的流行病学特征 [J]. 国际检验医学杂志, 2015, 36(18): 2640-2642.

[75] Todd E C, Greig J D, Bartleson C A, et al. Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part 4. Infective doses and pathogen carriage [J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(11): 2339-2373.

[76] Jay J M, Loessner M J, Golden D A, et al. 现代食品微生物学 [M]. 7版. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 443.