

## 综述

## 食源性蜡样芽孢杆菌的危害及其检测方法研究进展

王琼<sup>1</sup>,马红梅<sup>1</sup>,曾瑾<sup>1</sup>,马臣杰<sup>1,2</sup>

(1. 宁夏大学生命科学学院,宁夏银川 750021; 2. 宁夏大学西部特色生物资源保护与利用教育部重点实验室,宁夏银川 750021)

**摘要:**蜡样芽孢杆菌是一种常见的食源性致病菌,可通过污染乳制品、米饭、散装熟肉制品和豆制品等食品引起婴幼儿及成人食物中毒。采用准确、高效的蜡样芽孢杆菌检测方法,是预防食源性蜡样芽孢杆菌病及食品安全质量控制的关键。蜡样芽孢杆菌检测方法主要包括细菌培养分离鉴定法、免疫学检测方法和核酸检测方法等。本文总结了各类检测方法的核心技术特征和应用实例,为食源性蜡样芽孢杆菌的快速检测方法的研发和使用提供思路。

**关键词:**蜡样芽孢杆菌; 食品安全; 免疫学检测; 核酸检测

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2021)05-0633-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2021.05.022

**Research progress on the hazards of foodborne *Bacillus cereus* and its detection method**WANG Qiong<sup>1</sup>, MA Hongmei<sup>1</sup>, ZENG Jin<sup>1</sup>, MA Chenjie<sup>1,2</sup>

(1. School of Life Sciences, Ningxia University, Ningxia Yinchuan 750021, China;

2. Key Lab of Ministry of Education for Protection and Utilization of Special Biological Resources in Western China, Ningxia Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** *Bacillus cereus* is a common foodborne pathogen that can cause food poisoning in infants, students and adults by contaminating foods such as dairy products, rice, cooked meat and soybean products. The use of accurate and efficient *Bacillus cereus* detection method is the key to the prevention of foodborne *Bacillus cereus* disease and food safety quality control. Detection method of *Bacillus cereus* mainly including bacterial culture isolation and identification, immunological detection and nucleic acid detection. This paper summarizes the core technical features and application examples of each type of detection method, and provides ideas for the development and use of rapid detection method for foodborne *Bacillus cereus*.

**Key words:** *Bacillus cereus*; food safety; immunological detection; nucleic acid detection

蜡样芽孢杆菌(*Bacillus cereus*),是产芽孢革兰阳性菌,可分为非致病型和致病型。非致病型蜡样芽孢杆菌可作为饲料添加剂改善畜禽肠道菌群。致病型蜡样芽孢杆菌可通过分泌肠毒素<sup>[1]</sup>和催吐毒素<sup>[2]</sup>,引起患者恶心、呕吐<sup>[3]</sup>、腹痛和腹泻<sup>[4]</sup>等疾病<sup>[5]</sup>,是常见的食源性致病菌。蜡样芽孢杆菌检测方法的研究与应用对于保障食品安全具有重要

意义。

本文回顾了国内外蜡样芽孢杆菌引发的食品安全事件及其流行特征,进而对现有蜡样芽孢杆菌检测方法的技术特征进行了对比,以期为蜡样芽孢杆菌检测方法的研发和应用提供参考。

**1 蜡样芽孢杆菌与食品安全**

根据蜡样芽孢杆菌引起的食物中毒症状,可将其分为呕吐型和腹泻型蜡样芽孢杆菌。呕吐型蜡样芽孢杆菌分泌呕吐毒素,该毒素对高温和酸碱环境耐受性强,在食品加工过程中不易被分解,能引起患者恶心、呕吐、甚至肝衰竭等病症。腹泻型蜡样芽孢杆菌可产生溶血素、非溶血肠毒素、肠毒素和细胞毒素K等多种毒素,引起水样腹泻和腹痛等症。

最经典的食源性蜡样芽孢杆菌疾病称为“炒

收稿日期:2021-07-09

基金项目:宁夏自然科学基金项目(2021AAC03049);国家自然科学基金项目(31660719);2021年大学生创新创业训练计划(S202110749064);全国大学生生命科学竞赛(2021)(54560)

作者简介:王琼 女 在读本科生 研究方向为食品微生物

E-mail: 1354375345@qq.com

通信作者:马臣杰 男 实验师 研究方向为食品微生物

E-mail: biom0707@163.com



图1 蜡样芽孢杆菌疾病的食物传播途径示意图

Figure 1 The food spread route of *Bacillus cereus* disease

饭综合征”，是误食被蜡样芽孢杆菌污染的米饭引起的食物中毒<sup>[6]</sup>。涉及蜡样芽孢杆菌病的食品种类较多，除米饭外，常见的问题食品主要为即食食品，如乳制品<sup>[7]</sup>、熟肉<sup>[8]</sup>、豆制品<sup>[9]</sup>、奶茶<sup>[7]</sup>等，且问题食品的外观、气味和口感很难被消费者察觉（见图1）。1986—2007年，我国发生了299起蜡样芽孢杆菌食物中毒事件，中毒人数多达12 952人，其中呕吐人数占比75.9%，腹泻人数占比11.4%<sup>[10]</sup>。根据中国疾病预防控制中心卫生应急中心2017年发布的中国食物中毒事件数据，由蜡样芽孢杆菌引起的食物中毒人数占2017年食物中毒总人数的3.63%，高于致泻大肠埃希菌（3.36%）<sup>[11]</sup>。2019年食品调查研究报道显示，采集自我国39个城市的860份即食食品样品中，蜡样芽孢杆菌的检出率高达35%（302/860），其中米面样本检出率为50%（59/119），熟肉样本中检出率为34%（224/656），且该菌携带多种致病基因，耐药性较强，给食品带来的安全隐患不容小觑<sup>[12]</sup>。同年，中华人民共和国国家卫生健康委员会将蜡样芽孢杆菌病列入《食源性疾病预防报告工作规范》。

## 2 蜡样芽孢杆菌的检测方法

### 2.1 细菌培养分离鉴定方法

根据我国食品微生物检验标准 GB 4789.14—2014《食品安全国家标准 食品微生物学检验 蜡样芽孢杆菌检验》所述，蜡样芽孢杆菌的检验流程为“采集样品→选择性增菌培养→表型鉴定→生化鉴定”。经典的蜡样芽孢杆菌选择性培养基为甘露醇卵黄多黏菌琼脂基础培养基（Mannitol egg yolk polymyxin, MYP），其含有多黏菌素 B，可抑制大多数杂菌的生长<sup>[13]</sup>；蜡样芽孢杆菌在该固体培养基中可长出淡粉色菌落，菌落周围有白色沉淀环。蜡样芽孢杆菌的经典生化鉴定反应阳性指标约有15余种，包括革兰染色（+）、羊红细胞溶血（+）、卵磷脂酶（+）、甘露醇产酸（+）、卵黄反应（+）、过氧化氢酶（+）和硝酸盐还原（+）等。

我国现行食品安全标准尚未规定蜡样芽孢杆菌的检出量，但在《食品安全国家标准 散装即食食品中致病菌限量（征求意见稿）》中建议以米、面为主要原料制作的食品，其蜡样芽孢杆菌检出量应低于 $1.0 \times 10^5$  CFU/mL。许姣等<sup>[7]</sup>在现制现售奶茶中检出蜡样芽孢杆菌，其菌落数量达到 $4.56 \times 10^4$  CFU/mL；杨高继等<sup>[14]</sup>从糙米中分离鉴定了5株蜡样芽孢杆菌，并对其产毒能力进行了分析评价。尽管细菌培养分离鉴定法应用十分广泛，但也存在检测过程繁琐、耗时较长等不足。因而在处理大批量食品样品时检测效率偏低，不适于现场快速检测。

### 2.2 免疫学检测方法

#### 2.2.1 酶联免疫吸附试验

ZHU等<sup>[15]</sup>以蜡样芽孢杆菌全菌作为抗原制备兔多克隆抗体，基于双抗体夹心酶联免疫吸附试验（Enzyme linked immunosorbent assay, ELISA）技术研发了可用于肉制品中蜡样芽孢杆菌的快速检测方法，检测灵敏度为900 CFU/mL。SIELE等<sup>[16]</sup>采用BCET-RPLA试剂盒和BDE VIA<sup>TM</sup>试剂盒，以蜡样芽孢杆菌所产非溶血肠毒素（Non-haemolytic enterotoxin, NHE）和溶血素（Hemolysin BL, HBL）肠毒素为靶标进行ELISA检测。ELISA检测一般在96孔板中进行，允许在一次实验中测定多个样品，因而检测通量较高。需要注意的是，样品底色接近ELISA阳性反应颜色时，会干扰检测结果的判读。

#### 2.2.2 胶体金

蜡样芽孢杆菌胶体金检测方法的建立，需要制备和筛选稳定可靠的单克隆抗体，重组表达特异性抗原作为阳性对照；此外，抗原抗体与氯金酸颗粒结合不稳定时易脱落，检出率降低。一般实验室难以熟练制作胶体金试纸条，故鲜有蜡样芽孢杆菌胶体金检测方法的研究报道。德国默克密理博公司研制了蜡样芽孢杆菌溶血素和非溶血肠毒素胶体金检测试纸条<sup>[17]</sup>，检测前1 d需要采用MYP培养基选择性增菌培养受试菌株，试纸条检测时间仅为

30 min。由于不同株型的蜡样芽孢杆菌产毒能力不同,以少数毒素作为检测靶标可能导致漏检。但与

ELISA 相比胶体金的操作步骤简便,反应结果更加直观,适用于现场检测。

表 1 蜡样芽孢杆菌的常见分子标识物

Table 1 Typical molecular markers of *Bacillus cereus*

标识物类型	名称	毒素	基因名称
保守基因	—	—	16S rRNA <sup>[18]</sup> 、 <i>rpo B</i> <sup>[19]</sup> 、 <i>gyr B</i> <sup>[20]</sup>
毒力因子	溶血素	Hemolysin BL, HBL	<i>hbla</i> <sup>[21]</sup> 、 <i>hblC</i> <sup>[21]</sup> 和 <i>hblD</i> <sup>[21]</sup>
	非溶血肠毒素	Non-haemolytic enterotoxin, NHE	<i>nheA</i> <sup>[21]</sup> 、 <i>nheB</i> <sup>[21]</sup> 和 <i>nheC</i> <sup>[21]</sup>
	肠毒素	Enterotoxin FM, EntFM	<i>entfm</i> <sup>[22]</sup>
	细胞毒素 K	Cytotoxin K, CytK	<i>cytK</i> <sup>[23]</sup>

## 2.3 核酸检测方法

### 2.3.1 聚合酶链反应

ROBERTO 等<sup>[20]</sup>针对蜡样芽孢杆菌的 *gyrB* 基因建立了蜡样芽孢杆菌聚合酶链式反应 (Polymerase chain reaction, PCR) 检测体系,并用细菌培养分离鉴定方法进行验证,两种方法结果符合率较高。SADEK 等<sup>[23]</sup>采集 205 份市售婴幼儿辅食样品进行生化检验,其中蜡样芽孢杆菌的检出率为 21.95% (45/205);进一步通过 PCR 技术对上述 45 份阳性样品中的蜡样芽孢杆菌进行毒力基因分型,在 43 份样品中检测到蜡样芽孢杆菌的细胞毒素编码基因 *cytK*,在 32 份样品中检测到非溶血肠毒素编码基因 *nheC*,在 5 份样品中检测到溶血素 BL 编码基因 *hbla*。常规 PCR 方法检测成本低、操作简便,适用于大量样本的快速筛查,但由于其灵敏度偏低,靶基因单一,可能会出现漏检和假阳性的情况。

### 2.3.2 多重 PCR

SOLEIMAIN 等<sup>[21]</sup>采集了 80 份不同含肉量 (30%、60%、90%) 的汉堡,针对蜡样芽孢杆菌的 NHE 和 HBL 毒素的编码基因 (*nheA*、*nheB*、*nheC*、*hbla*、*hblD*、*hblC*) 建立了多重 PCR 检测方法,从 14 份样品中检出 NHE 毒素编码基因 (*nheA*、*nheB*、*nheC*),5 份样品中检出 HBL 毒素编码基因 (*hbla*、*hblD*、*hblC*)。多重 PCR (Multiplex polymerase chain reaction, multiplex PCR) 的检测通量相比普通 PCR 要高,适用于多种靶基因的并行检测。然而,多重 PCR 反应需要在扩增反应体系中加入 2 对以上引物,致使引物之间存在竞争关系。未经深度优化的多重 PCR 检测方法,其检测结果往往不够稳定可靠。

### 2.3.3 实时荧光定量 PCR

根据实时荧光定量 PCR (Real time fluorescent polymerase chain reaction, qPCR) 荧光发光原理的不同可将其分为普通荧光染料法和荧光探针法。普通荧光染料法的染料可与扩增产物双链 DNA 结合。FORGHANI 等<sup>[24]</sup>针对基因 *gyrB*、*hly*、*nuc* 设计特异性引物建立的 SYBR Green 检测方法,可在不增菌的条件下鉴定出蜡样芽孢杆菌,检测限为 37 CFU/

mL。需要注意的是,SYBR Green 可与 PCR 反应中产生的所有 DNA 双链分子结合,因此引物二聚体以及非特异性产物等会干扰实验结果。荧光探针法,即带有荧光/猝灭基团的寡聚核苷酸,在扩增循环反应中每合成一次新链,荧光猝灭基团就会分离释放一次荧光信号。FERNÁNDEZ-NO 等<sup>[18]</sup>以蜡样芽孢杆菌 16S rRNA 为目的基因设计了引物,同时采用 TaqMan 探针法构建实时荧光定量 PCR 反应体系;芽孢杆菌的扩增  $C_i$  值在 14~15 之间,非芽孢杆菌的扩增  $C_i$  值在 28.5 以上,临检结果表明该方法特异性良好。我国出入境检验检疫行业标准采用 TaqMan 探针法制定了《出口食品中蜡样芽孢杆菌快速检测方法 实时荧光定量 PCR 法》(SN/T 3932—2014),规定一般检测样本  $C_i$  值小于 35.0 时判读为蜡样芽孢杆菌阳性样品,需进一步采用 GB 4789.14—2014 确证。qPCR 可将荧光信号的检测量与 PCR 产物的形成相统一。与普通 PCR 相比,实时荧光定量 PCR 在很大程度上避免了外部干扰因素对 PCR 过程造成的污染问题,使检测的特异性较高,但检测成本较高。

### 2.3.4 环介导等温扩增技术

环介导等温扩增 (Loop-mediated isothermal amplification, LAMP) 技术扩增原理更加复杂,与 PCR 差别较大:通常需 4~6 条引物参与扩增,约 65 °C 恒温反应,扩增效率极高,灵敏度与荧光定量 PCR 相同。贾雅菁等<sup>[25]</sup>根据蜡样芽孢杆菌 *hbla* 基因建立了 LAMP 荧光快速检测方法,检测灵敏度为 8.2 CFU/mL,反应时间仅 20 min。由于 LAMP 检测方法的灵敏度达到了荧光级别,并且检测过程不需要借助贵重的精密仪器设备,具有良好的现场检测应用前景。为了保障 LAMP 检测结果的准确性,还需解决 2 个问题:第一是设计 LAMP 引物组时,建议利用 NCBI\_Primer Blast 在细菌基因组全库检索分析 LAMP 引物特异性,降低引物错配导致的非特异性扩增;第二是 LAMP 检测反应结束后避免开盖,防止高浓度核酸气溶胶污染环境 and 样品,导致假阳性结果产生。

表2 蜡样芽孢杆菌常见检测方法的优缺点

Table 2 Advantages and disadvantages of detection methods for *Bacillus cereus*

检测方法	优点	缺点	灵敏度
细菌培养分离鉴定方法 <sup>[26]</sup>	可信度高	操作过程繁琐,易漏检	20~20 020 CFU/mL <sup>[26]</sup>
酶联免疫吸附试验 <sup>[15]</sup>	灵敏度高	特异性较差,耗资较大	9 009.0×10 <sup>2</sup> CFU/mL <sup>[15]</sup>
胶体金 <sup>[17]</sup>	便携性强,检测时间短,灵敏度高	制作过程复杂,可能漏检	NHEB毒素,6 ng/mL;HBL毒素,20 ng/mL <sup>[17,27]</sup>
普通PCR <sup>[20]</sup>	过程简单	灵敏度较低,易出现漏检和假阳性	3.74×10 <sup>3</sup> CFU/mL <sup>[28]</sup>
多重PCR <sup>[21]</sup>	检验效率高	易出现假阳性	1.91×10 <sup>3</sup> CFU/mL <sup>[29]</sup>
实时荧光定量PCR <sup>[24]</sup>	灵敏度高,特异性强	检测成本较高	37 CFU/mL <sup>[24]</sup>
LAMP检测方法 <sup>[25]</sup>	过程简单,耗时短	易出现假阳性	8.2 CFU/mL <sup>[25]</sup>

### 3 展望

蜡样芽孢杆菌的芽孢具有耐高温的特性,一般食品企业、餐厅和居民采用的食品消毒方法不能满足杀灭蜡样芽孢杆菌芽孢的要求。建议尽量食用新鲜的米饭、乳制品和熟肉等食物,避免摄入隔夜冷藏食品,以降低感染蜡样芽孢杆菌的风险。

蜡样芽孢杆菌快速检测方法的研发与应用,是做好食源性蜡样芽孢杆菌监测工作,切实保护百姓“舌尖上的安全”的技术保障。熟知蜡样芽孢杆菌各类检测方法的特征,立足实际检测需求,合理选用检测方法,是开展蜡样芽孢杆菌快检工作和保障食品安全的基本要求。

从流行病学调查结果分析发现,食源性蜡样芽孢杆菌病多以呕吐型为主,但是大多数蜡样芽孢杆菌检测方法受到传统食源性疾病观念的限制,仍将腹泻型蜡样芽孢杆菌作为主要检测对象,可能造成呕吐型蜡样芽孢杆菌的漏检。建议重视对呕吐型蜡样芽孢杆菌的检测,选用与呕吐相关的毒力基因或毒力蛋白作为生物标志物,研发更加准确、可靠、便携的蜡样芽孢杆菌快速检测方法。

### 参考文献

- [1] MÄRTLBAUER E, GRANUM P E. *Bacillus cereus* Toxins[J]. *Toxins*, 2021, 13(5): 295.
- [2] SINGH S, LAD P. Assay of *Bacillus cereus* Emetic toxin produced in orange squash[J]. *EUREKA: Life Sciences*, 2021(2): 41-55.
- [3] YU B, LI F L, ZHAO T C, et al. Hybridization chain reaction-based flow cytometric bead sensor for the detection of emetic *Bacillus cereus* in milk[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2018, 256: 624-631.
- [4] REN B B, LASAM G. A rare case of native mitral valve *Bacillus cereus* endocarditis culminating into a cerebrovascular infarction[J]. *Cardiology Research*, 2018, 9(3): 173-175.
- [5] HAN J, ZHAO S, MA Z, et al. The antibacterial activity and modes of LI-F type antimicrobial peptides against *Bacillus cereus* in vitro[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2017, 123(3): 602-614.
- [6] 张文增, 刘祖阳, 兰真, 等. 一起疑似蜡样芽孢杆菌食物中毒事件调查[J]. *预防医学*, 2017, 29(7): 721-723.
- [7] 许姣, 陈磊, 巩飙. 开封市售奶茶中蜡样芽孢杆菌的鉴定与分析[J]. *河南预防医学杂志*, 2020, 31(4): 308-310.
- [8] 雷娟, 李家伟, 梅君, 等. 一起蜡样芽孢杆菌引起的学校食源性疾病暴发事件分析[J]. *中国学校卫生*, 2019, 40(5): 773-774.
- [9] 杨久玲, 张斌, 黄坤宁, 等. 贵阳市售腐乳蜡样芽孢杆菌污染研究分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(7): 2876-2880.
- [10] 周帼萍, 梁天光, 丁淑娟. 1986—2007年中国299起蜡样芽孢杆菌食物中毒案例分析[J]. *中国食品卫生杂志*, 2009, 21(5): 450-454.
- [11] 王霄晔, 任婧寰, 王哲, 等. 2017年全国食物中毒事件流行特征分析[J]. *疾病监测*, 2018, 33(5): 359-364.
- [12] YU S B, YU P F, WANG J, et al. A study on prevalence and characterization of *Bacillus cereus* in ready-to-eat foods in China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 10: 3043.
- [13] CHON J W, SEO K H. Development of a new chromogenic medium for the enumeration of *Bacillus cereus* in various ready-to-eat foods[J]. *Food Control*, 2021, 128: 108188.
- [14] 杨高继, 刘欢欢, 马艳, 等. 糙米中蜡样芽孢杆菌的分离鉴定及其毒力基因与药敏性检测[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(10): 290-299.
- [15] ZHU L J, HE J, CAO X H, et al. Development of a double-antibody sandwich ELISA for rapid detection of *Bacillus cereus* in food[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 16092.
- [16] CEUPPENS S, RAJKOVIC A, HAMELINK S, et al. Enterotoxin production by *Bacillus cereus* under gastrointestinal conditions and their immunological detection by commercially available kits[J]. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2012, 9(12): 1130-1136.
- [17] DIDIER A, JEBBERGER N, KREY V, et al. The mutation Glu151Asp in the B-component of the *Bacillus cereus* non-hemolytic enterotoxin (Nhe) leads to a diverging reactivity in antibody-based detection systems[J]. *Toxins*, 2015, 7(11): 4655-4667.
- [18] FERNÁNDEZ-NO I C, GUARDDON M, BÖHME K, et al. Detection and quantification of spoilage and pathogenic *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* by real-time PCR[J]. *Food Microbiology*, 2011, 28(3): 605-610.
- [19] MUGADZA D T, OWUSU-DARKO R, BUYS E M. Short communication: Source tracking *Bacillus cereus* in an extended-shelf-life milk processing plant using partial sequencing of *rpoB* and multilocus sequence typing[J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(1): 135-139.
- [20] ADAME-GÓMEZ R, MUÑOZ-BARRIOS S, CASTRO-

- ALARCÓN N, et al. Prevalence of the strains of *Bacillus cereus* group in artisanal Mexican cheese[J]. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2020, 17(1): 8-14.
- [21] SOLEIMANI M, HOSSEINI H, PILEVAR Z, et al. Prevalence, molecular identification and characterization of *Bacillus cereus* isolated from beef Burgers[J]. *Journal of Food Safety*, 2018, 38(1): e12414.
- [22] DEJANA S, ELIZABETA R, BILJANA M S, et al. Enterotoxin and emetic toxin genes profiles and genetic diversity of *Bacillus cereus* isolated from food, environmental and clinical samples in Serbia[J]. *Acta Veterinaria*, 2020, 70(2): 182-193.
- [23] SADEK Z I, ABDEL-RAHMAN M A, AZAB M S, et al. Microbiological evaluation of infant foods quality and molecular detection of *Bacillus cereus* toxins relating genes[J]. *Toxicology Reports*, 2018, 5: 871-877.
- [24] FORGHANI F, WEI S, OH D H. A rapid multiplex real-time PCR high-resolution melt curve assay for the simultaneous detection of *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, and *Staphylococcus aureus* in food [J]. *Journal of Food Protection*, 2016, 79(5): 810-815.
- [25] 贾雅菁, 付博宇, 王羽, 等. 实时荧光环介导等温扩增技术检测牛乳中的蜡样芽孢杆菌[J]. *食品科学*, 2016, 37(6): 184-189.
- [26] 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 食品微生物学检验 蜡样芽孢杆菌检验: GB 4789.14—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [27] KRAUSE N, MORAVEK M, DIETRICH R, et al. Performance characteristics of the Duopath® *Cereus* Enterotoxins assay for rapid detection of enterotoxinogenic *Bacillus cereus* strains[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 144(2): 322-326.
- [28] 赵岩岩, 王书彦, 赵琳琳, 等. 蜡样芽孢杆菌特异性基因筛选及聚合酶链式反应检测方法的建立[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(10): 271-277.
- [29] DZIECIOL M, FRICKER M, WAGNER M, et al. A novel diagnostic real-time PCR assay for quantification and differentiation of emetic and non-emetic *Bacillus cereus* [J]. *Food Control*, 2013, 32(1): 176-185.

## · 资讯 ·

# 重金属和类金属污染物对中国商业猪场粪便微生物群落结构的影响研究

由国家食品安全风险评估中心彭子欣等在 *Science of the Total Environment* 期刊发表的《重金属和类金属污染物对中国商业猪场粪便微生物群落结构的影响研究》(Effects of metal and metalloid pollutants on the microbiota composition of feces obtained from twelve commercial pig farms across China), 详细分析了中国部分地区商业饲养猪在育肥早期和晚期粪便内重金属和类金属污染及微生物群落结构情况。猪育肥早期粪便中, Zn、Cr 与 Fe 含量高于晚期, 而 Cu、Mn、Al、Pb、As 和 Cd 含量在猪育肥早期与晚期相近。16SrRNA 扩增子测序发现猪育肥早期粪便中微生物在门水平多样性更为丰富, 育肥早期和晚期粪便中细菌群落结构在种水平上差异显著。CCA 分析发现猪粪便中细菌群落结构变化与特定环境及金属污染情况有关, 猪日龄和粪便中 Zn 含量对微生物群落组成影响最大。与育肥早期粪便中微生物群落组成相比, 晚期阶段猪粪中含有与人类疾病相关的基因显著增高, 提示育肥晚期猪粪便对人群健康影响更大。本研究为我国猪粪便中重(类)金属和致病菌的精准防控提供了科学依据。

详情请登录网址:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718329954>