

家禽生产中弯曲菌防控技术研究进展

张小燕^{1,2}, 唐梦君¹, 杜雪晴², 黄金林², 高玉时^{1*}

(1. 江苏省家禽科学研究所农业部家禽品质监督检验测试中心(扬州), 扬州 225125;
2. 扬州大学江苏省人兽共患病学重点实验室, 扬州 225003)

摘要: 弯曲菌是世界范围内引起人细菌性胃肠炎主要病原菌之一, 而家禽作为弯曲菌的重要储库是人类弯曲菌病的主要来源。研究表明对生产初级阶段的鸡群中弯曲菌进行预防和控制有益于保障食品安全和公众健康。目前研究的弯曲菌防控措施主要包括卫生和生物安全措施、饮水和饲料处理、噬菌体应用、免疫策略等方面。本文就家禽生产中弯曲菌防控技术的最新研究进展进行综述, 以期家禽生产中弯曲菌防控措施的选择与应用提供理论参考。

关键词: 弯曲菌; 家禽生产; 防控技术

Research progress on the control strategies against *Campylobacter* in poultry production

ZHANG Xiao-Yan^{1,2}, TANG Meng-Jun¹, DU Xue-Qing², HUANG Jin-Lin², GAO Yu-Shi^{1*}

(1. Inspection Center for Poultry of Ministry of Agriculture, Jiangsu Institute of Poultry Sciences, Yangzhou 225125, China; 2. Jiangsu Key Lab of Zoonosis, Yangzhou University, Yangzhou 225003, China)

ABSTRACT: *Campylobacter* is one of the main pathogenic bacteria of human bacterial gastroenteritis worldwide. As the natural host for *Campylobacter*, poultry is mainly responsible for human infections. Controlling the poultry infection at the primary production could impact the safety of the food chain and public health. This review described the current knowledge of controlling strategies which were implemented in primary poultry production, including hygiene and biosecurity measures, nutritional additives in water or food, immune strategies and use of bacteriophages. It will provide some theoretical references for the selection and application of control measures of *Campylobacter* in poultry production.

KEY WORDS: *Campylobacter*; poultry production; control strategies

1 引言

弯曲菌是一种螺旋形的革兰阴性微需氧菌, 欧盟指出自 2005 年以来其一直是导致人细菌性胃肠炎的主要病原菌, 每年大约有 900 万人感染并产生约 24 亿美元的花费成本^[1,2]。引起人类感染的主要是空肠弯曲菌和结肠弯曲菌,

约 500~800 个细菌即使人感染^[3]。人感染弯曲菌后主要症状为腹泻、腹痛、发热和呕吐等, 严重者可引起反应性关节炎和格林巴利综合症, 甚至导致死亡^[4-6]。研究表明处理、食用生的或未煮熟的禽肉是人感染弯曲菌的主要原因^[1]。欧洲食品安全局(European food safety authority, EFSA)的报告指出, 鸡肉污染约占导致人类弯曲菌病的 20%~

基金项目: 扬州市社会发展项目(yz2016058)、江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(15)1009)

Fund: Supported by the Social Development Project of Yangzhou (yz2016058) and Jiangsu Innovation Fund Project of Agricultural Science and Technology (CX(15)1009)

*通讯作者: 高玉时, 研究员, 主要研究方向为食品安全及畜禽产品品质评价。E-mail: gaoy100@sina.com

*Corresponding author: GAO Yu-Shi, Researcher, Jiangsu Institute of Poultry Sciences, Yangzhou 225125, China. E-mail: gaoy100@sina.com

30%, 而家禽作为弯曲菌的主要储库通过食物以外的途径感染人类大概占 50%~80%, Wilson 等也证实这一结论^[2,7]。

通常认为肉鸡是弯曲菌的天然宿主, 弯曲菌在鸡肠道内定殖量可高达 $10^6\sim 10^9$ CFU/g 并保持这种感染状态直至屠宰。欧洲鸡群中弯曲菌的平均流行率高达 70%, 而世界各地从 2%~100% 不等^[8]。此外由于屠宰过程中的交叉污染, 肉鸡胴体的弯曲菌污染率更是高达 75%。EFSA 对屠宰场和鸡群养殖生产阶段的风险评估研究表明控制生产初级阶段的肉鸡鸡群弯曲菌感染非常有益于公众健康, 因为其影响着肉鸡食物链的下游活动(屠宰、零售和消费)^[9]。Rosenquist 等^[10]研究发现, 最可行和需长期考虑的措施应是减少弯曲菌在鸡盲肠内的定殖, 其定殖量减少 2~3 log 值可能会减少 76%~100% 的人类弯曲菌病风险。但目前并没有一个切实有效的且易于在所有国家得到应用的措施来减少家禽肠道内弯曲菌定殖量。本文对家禽生产过程中弯曲菌控制策略进行综述, 以便为更好地降低家禽生产初级阶段弯曲菌的流行率、为保证食品安全和人类健康提供参考。

2 卫生和生物安全措施

弯曲菌在鸡群中的传播途径主要是水平传播, 研究者们的主要目标是防止鸡群内第一只鸡感染, 而饲养员在农场内和附近的活动对弯曲菌的传播有很大风险, 因此实施严格的卫生和生物安全措施有助于防止弯曲菌从外部环境进入鸡群。通过鞋子消毒、不同鸡舍更换套鞋、出入鸡舍严格洗手消毒等措施可使鸡群弯曲菌的流行率降低 50%^[11]。英国的一项研究显示, 车辆消毒、洗手、使用专用鞋靴和个人设备降低了弯曲菌在饲养员和运输者间的传播, 车辆弯曲菌的携带率从采取消毒措施之前的 53% 降低到 18%, 这些可显著降低鸡群内弯曲菌的感染率, 但对于群体而言, 所有鸡群均被感染^[12]。适当的生物安全和卫生措施同时也限制了同一个农场内不同饲养鸡群间弯曲菌的传播。

苍蝇和一些昆虫的传播作用使家畜和野生动物成为弯曲菌潜在的污染源, 它们的影响随着季节和不同国家的温度及地理位置不同而不同。在丹麦, 鸡舍的灭蝇装置使鸡群的感染率从 51.4% 降低到 15.4%^[13,14]。另一个较长期的研究也证实了这个结论, 在安有灭蝇装置的鸡群中弯曲菌的感染率显著下降, 且弯曲菌的传播在夏季仍保持较低水平。据估计如果灭蝇器在丹麦全国范围内安装的话, 可以阻止 77% 的鸡感染弯曲菌^[15]。然而, 对于实际商业化生产环境下鸡群中弯曲菌控制的有效性有时难以评估, 严格的生物安全措施其成本较高且难以维护, 随着生产系统的变化其有效性也发生变化。芬兰的一项研究表明生物安全措施的实施每只鸡大概需要 3.55 欧元并且消耗 8% 的总工作时间^[16]。而由于通风系统的差异性, 灭蝇装置在美国使用不如在欧洲使用效果明显, 因此对于某些生物安全措施

应考虑各国生产实际的差异, 评估和采用通用的生物安全措施目前仍是一个很大的挑战^[17]。

生物安全措施也应考虑空气、垫料、饲料和饮水等几个方面的弯曲菌潜在传播源。饲料及垫料本身并不利于弯曲菌生长, 但在储存运输过程中尤其是长时间暴露于湿热环境, 可造成鸡群弯曲菌传播的潜在威胁。在肉鸡整个饲养周期内保持垫料等的低 pH 值、定期对舍内环境的喷雾消毒及饮用水池的清理消毒均可有效控制鸡群中弯曲菌的传播。

3 饮水或饲料处理

3.1 有机酸

饮水中添加有机酸对控制鸡群中弯曲菌的定殖和传播有一定的影响^[18]。有报道称有机酸特别是乳酸添加于饮用水可以显著降低鸡群中弯曲菌的分离率(85.1% 降到 62.3%)^[19]。另外一些商业化的酸化水的使用(包括甲酸、乙酸、乳酸、丙酸等)还能显著降低弯曲菌在感染鸡群和易感鸡群之间的传播^[20]。有机脂肪酸具有较广泛的抗微生物活性, 其中辛酸作为一种中链脂肪酸用于饲料添加剂可以减少肉鸡弯曲菌定殖水平。Solis 等^[21]研究不同剂量的辛酸添加到饲料后可使鸡肠道内弯曲菌减少 2 log 值。从孵化后开始将一种中链脂肪酸($C_8\sim C_{12}$)添加于饲料可以减少弯曲菌在肉鸡肠道内的定殖^[22]。Skanseng 等^[23]也证明了甲酸和山梨酸添加到饲料后对减少鸡肠道弯曲菌定殖的有利影响。

有机酸的另外一种使用方法是在屠宰前几个小时内饲喂加有乳酸的饮用水, 这种酸处理组的鸡弯曲菌携带率与对照组或冷却前胴体相比都显著降低^[24]。Katrin 等^[25]通过饲喂一段时间添加月桂酸的饲料而有效降低屠宰后鸡肉中结肠弯曲菌的含量; 癸酸单甘酯对弯曲菌也具有预防和治疗作用, 短期使用后有效降低了鸡肠道弯曲菌的定殖量, 这表明屠宰前 2~3 d 使用有机酸的可行性^[26]。

关于有机酸能否减少鸡肠道弯曲菌定殖量的研究也有一些不同的结果, Hermans 等^[27]将 3 种中链脂肪酸加入饲料中饲喂鸡后没有观察到其对弯曲菌定殖有任何影响, 尽管在体外实验中已证明其对弯曲菌菌株的杀伤性。由此推测可能是鸡盲肠黏液对弯曲菌起了保护作用。丁酸的体外实验也显示对弯曲菌的抑制作用, 但被添加到饲料饲喂鸡群后并没有观察到实验组鸡盲肠内弯曲菌定殖量的减少^[22]。尽管有机酸对降低鸡肠道弯曲菌定殖效果有争议, 但经处理过的水在整个实验过程中都未分离到弯曲菌, 表明水酸化处理可以防止弯曲菌通过饮水传播, 从而排除水作为潜在污染源的可能。

3.2 植物提取物

从植物提取的化合物对鸡肠道内弯曲菌定殖有一定

影响。体外实验证实一种肉桂油成分的反式肉桂醛(cinnamaldehyde, CIN)对弯曲菌具有抑制作用,但用于体内杀菌作用时不能降低鸡盲肠内弯曲菌的定殖量^[28]。从大蒜提取出的大蒜素体外实验有效果,但体内实验并不能显著降低弯曲菌的定殖^[29]。一种麝香草的糖苷类成分能减少鸡嗉囊中的弯曲菌但不能减少盲肠内容物中弯曲菌含量,表明该物质在到达肠道之前已被吸收^[30]。另外5种包括精油在内的其他物质在减少空肠弯曲菌方面没有表现出显著成效^[31]。而一种药用植物被添加于鸡饲料后可减少弯曲菌在鸡盲肠的定殖数量,且不影响鸡饲料摄取量和体重^[32]。

植物提取物应用于体内实验很少有令人信服的结果,进一步的研究应考虑如何保护其活性成分,包括改善饲喂途径、包裹方法等,保证其在到达肠道组织前不被降解从而发挥其作用,但同时也应考虑一些植物提取物特定制剂的研发成本。

3.3 益生菌和细菌素

益生菌是天然存在于鸡肠道的有益菌群,其可以实现与有害菌之间的竞争排斥作用。较多研究表明益生菌在减少肠道内弯曲菌定殖效果方面有显著效果。Ghareeb等^[33]通过饮用水饲喂益生菌,攻毒后8d和15d益生菌处理组与对照组相比鸡盲肠弯曲菌定殖量减少6 log CFU/g。Nishiyama等^[34]也证明了对14日龄雏鸡使用加氏乳杆菌SBT2055组与对照组相比能减少盲肠内弯曲菌定殖量6 log CFU/g,但是该方法的长期效果未被评估。近来4株分离自人体的益生菌菌株被组合测试用于减少鸡肠道弯曲菌定殖,益生菌膳食添加无论是从孵化这天开始或仅在生产的最后一周添加其肠道弯曲菌定殖量均显著减少^[35]。Santini等^[36]在2010年就确定双歧杆菌菌株具有抗弯曲菌活性的作用。益生菌改善了鸡肠道绒毛厚度和肠道免疫应答水平^[32]。但是也并非所有益生菌都能有效减少鸡肠道中弯曲菌定殖数量,即使日常饲喂 10^8 CFU剂量的粪肠球菌MB259也不能减少弯曲菌在肠道内的定殖^[37]。益生菌的竞争排斥作用若要得到实际应用,必须充分考虑弯曲菌在宿主内的多样性和复杂性,并且保证其在鸡肠道内维持足够长时间直到屠宰日龄。

细菌素是一组由细菌产生的具有一定抗菌活性的抗菌肽,一般由乳酸菌产生,这些核糖体合成肽具有不同范围的抗菌活性。少数具有抗弯曲菌活性的细菌素已被纯化,体内试验表明细菌素处理组比未处理组鸡盲肠弯曲菌定殖量减少4.5 log CFU/g^[38]。Svetoch等^[39]从乳酸菌中分离出的细菌素L-1077添加于鸡的饮用水中,实验组鸡盲肠弯曲菌定殖量显著低于对照组。Messaoudi等^[40]也确定了细菌素SMXD51体外实验中的抗弯曲菌活性作用,体内实验尚未研究。由肠球菌产生的两种细菌素E-760和E50-52都具

有广谱抗菌活性,添加于饲料后饲喂鸡能降低盲肠组织弯曲菌的定殖量^[41]。虽然较多研究都证明了细菌素对减少鸡盲肠弯曲菌定殖的显著作用,但可能由于其生产成本问题,其在农场弯曲菌控制的实际应用还未得到评估。

4 噬菌体的应用

噬菌体是环境中普遍存在的天然细菌杀手,在一些国家被广泛应用于兽医和人类医学^[42]。噬菌体尾部蛋白和细菌受体之间的相互作用构成了其宿主特异性,噬菌体治疗同时可解决细菌菌株的抗生素耐药问题^[43]。已有较多文献描述了弯曲菌噬菌体的分离和鉴定方法^[44]。研究人员也考虑将弯曲菌噬菌体作为一种工具来防治鸡肠道内弯曲菌,但肉鸡在使用噬菌体35~42d后并不能显著降低肠道弯曲菌定殖量。而Fischer等^[45]研究结果显示噬菌体混合物或单噬菌体NCTC 12673能减少商品肉鸡中弯曲菌的定殖量,噬菌体混合物添加到肉鸡群的饮用水后一天鸡肠道内弯曲菌定殖量低于检测限。

噬菌体使用过程中也可能产生抗噬菌体的耐药菌株,导致最初噬菌体介导的作用减弱。噬菌体也存在菌株特异性,只能有效地针对其特定的菌株^[46]。考虑到肉鸡养殖规模、鸡群弯曲菌的多样性及体内外实验结果的差异性问题,到目前为止噬菌体在农场范围的体内应用研究还很有限。此外对于噬菌体释放于环境中的安全性及噬菌体处理后的食品对消费者的可接受性仍值得大家关注。

5 免疫策略

家禽感染空肠弯曲菌后可诱导产生抗弯曲菌感染的保护性免疫力,这证明免疫干预措施的可行性。但到目前为止并没有一个有效且持续的免疫保护策略,主要由于缺乏对免疫保护机制的了解、不同菌株间抗原变异较大且不能产生较强而且持久的黏膜免疫应答。

全菌疫苗是最先投入研究的疫苗,它们由弯曲菌灭活菌株或减毒菌株组成。灭活苗免疫组相比未免疫组其家禽粪便中弯曲菌含量降低16%~93%^[47]。但也有研究发现尽管皮下免疫灭活空肠弯曲菌与弗式完全佐剂混合物后鸡产生了特异性血清抗体,对家禽肠道弯曲菌定殖量也有一定影响,但攻毒同源菌株后全菌疫苗影响甚小,对异源菌株的定殖也没有影响。Ziprin等^[48]用4种有活性但无定殖能力的空肠弯曲菌全菌疫苗免疫鸡后鸡体内弯曲菌定殖量与对照组无显著差异。

空肠弯曲菌潜在保护性抗原的鉴定促成了近些年弯曲菌疫苗开发主要集中于亚单位疫苗。鞭毛蛋白与Montanide佐剂乳化后免疫的家禽除产生较高的特异性血清抗体外,肠道内弯曲菌含量与对照组相比减少3 log CFU/g内容物^[49]。其他蛋白如CjaA等也具有免疫潜力^[50]。

有研究对空肠弯曲菌 CadF, FlpA 和 CmeC 蛋白作为亚单位疫苗进行测试, 结果发现 CadF 和 CmeC 蛋白免疫组盲肠弯曲菌定殖量没有明显的减少, 但 FlpA 蛋白免疫组盲肠内弯曲菌定殖量显著降低^[49]。Yeh 等^[51]对空肠弯曲菌 D1-39 菌株的鞭毛帽盖结构 FliD 蛋白的表征和抗原性进行研究, 免疫印迹实验显示, 4 周龄以上鸡血清对这个蛋白有强烈的反应, 表明它可能是一个潜在的疫苗候选抗原。

空肠弯曲菌免疫保护性抗原的鉴定是建立有效免疫干预措施的关键, Yeh 等^[52]研究发现趋化蛋白 Cj0473 是一个潜在的可用于鸡群弯曲菌免疫策略的候选蛋白。Hu 等^[53]应用鸡体内抗原诱导表达筛选出部分弯曲菌疫苗候选基因。未来免疫策略需要从以下几个方面作出更多的努力: 首先是鉴定更多稳定且具有良好交叉保护性的抗原; 其次是如何诱导鸡体产生快速和强烈的免疫反应, 这需要进一步加强弯曲菌与鸡肠道细胞间相互作用机制的基础研究; 另外还应尝试研究一些新型免疫佐剂进一步增强免疫效果。

6 综合方法

为了对家禽生产中弯曲菌控制效果更佳可采取一些综合措施, 但目前这方面的研究比较少。Baffoni 等^[54]将微胶囊化双歧杆菌和一种低聚半乳糖 GOS 混合后一起添加于饲料中, 饲喂 14 d 和 21 d 后, 实验组与对照组相比空肠弯曲菌水平显著降低, 而弯曲菌种群保持稳定。这只是 2 种不同饲料添加物质的混合, 而将 2 种不同方法比如免疫和饲料添加处理一起使用可能会产生更好的效果。但目前为止还没有关于 2 种策略协同效应方面的研究。

7 结 语

尽管过去几十年对家禽生产中弯曲菌防控技术的研究开展较多, 但弯曲菌仍然是世界范围内引起人细菌性胃肠炎的主要病原菌之一, 也没有商品化的疫苗可以实际应用于鸡群弯曲菌的控制。一些实验已有部分可喜的结果, 表明减少鸡肠道内弯曲菌含量的可能性, 但同时也需要进一步的研究来获得可重复性的且更大范围应用于生产实际的控制方法; 家禽生产的初级阶段也并不是降低人类弯曲菌病例的唯一环节, 与整个家禽生产链相关的包括屠宰、胴体处理、零售甚至消费者的教育和家居卫生习惯等方面都值得研究。

家禽生产中弯曲菌的防控任重而道远, 制定切实有效的干预措施是一项艰巨的任务。未来的研究方向可以在以下几个方面努力: 研究表明 2 周龄以下鸡群没有弯曲菌感染, 如果能了解其中原因这可用于控制鸡群中弯曲菌的感染; 此外了解弯曲菌与家禽免疫系统的相互作用可为优化免疫策略提供帮助; 最后对家禽屠宰过程

中关键控制点进行系统分析将有可能找出有效措施来控制鸡胴体弯曲菌感染。所有这些研究和努力最终有可能制定出较好的干预措施来有效控制家禽中弯曲菌感染, 从而改善食品安全。

参考文献

- [1] EFSA Panel on Biological Hazards. Scientific opinion on *Campylobacter* in broiler meat production: control options and performance objectives and/or targets at different stages of the food chain [J]. EFSA J, 2011, 9(4): 2105.
- [2] Team EE. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2011 has been published [J]. Euro Surveill, 2013, 18(15): 20449
- [3] Black RE, Levine MM, Clements ML, et al. Experimental *Campylobacter jejuni* infection in humans [J]. J Infect Dis, 1988, 157(3): 472-479.
- [4] Dasti JI, Tareen AM, Lugert R, et al. *Campylobacter jejuni*: A brief overview on pathogenicity-associated factors and disease-mediating mechanisms [J]. Int J Med Microbiol, 2010, 300(4): 205-211.
- [5] Nyati KK, Nyati R. Role of *Campylobacter jejuni* infection in the pathogenesis of Guillain-Barre syndrome: An update [J]. Biomed Res Int, 2013: 852195.
- [6] Havelaar AH, Haagsma JA, Mangen MJ, et al. Disease burden of foodborne pathogens in the Netherlands, 2009 [J]. Int J Food Microbiol, 2012, 156 (3): 231-238.
- [7] Wilson DJ, Gabriel E, Leatherbarrow AJ, et al. Tracing the source of campylobacteriosis [J]. PLoS Genet, 2008, 4(9): e1000203.
- [8] European Food Safety Association (EFSA). Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Campylobacter* in broiler batches and of *Campylobacter* and *Salmonella* on broiler carcasses in the EU, 2008 [J]. EFSA, 2010, 8(3): 1503-1504.
- [9] Romero BP, Hempen M, Messens W, et al. Quantitative microbiological risk assessment (QMRA) of food-borne zoonoses at the European level [J]. Food Control, 2013, 29: 343-349.
- [10] Rosenquist H, Nielsen NL, Sommer HM, et al. Quantitative risk assessment of human campylobacteriosis associated with thermophilic *Campylobacter* species in chickens [J]. Int J Food Microbiol, 2003, 83(1): 87-103.
- [11] Gibbens JC, Pascoe SJ, Evans SJ, et al. A trial of biosecurity as a means to control *Campylobacter* infection of broiler chickens [J]. Prev Vet Med, 2001, 48(2): 85-99.
- [12] Ridley A, Morris V, Gittins J, et al. Potential sources of *Campylobacter* infection on chicken farms: contamination and control of broiler-harvesting equipment, vehicles and personnel [J]. J Appl Microbiol, 2011, 111(1): 233-244.
- [13] Newell DG, Elvers KT, Dopfer D, et al. Biosecurity-based interventions and strategies to reduce *Campylobacter spp.* on poultry farms [J]. Appl Environ Microbiol. 2011, 77(24): 8605-8614.
- [14] Hald B, Sommer HM, Skovgard H. Use of fly screens to reduce *Campylobacter spp.* introduction in broiler houses [J]. Emerg Infect Dis, 2007, 13(12): 1951-1953.
- [15] Bahrdorff S, Rangstrup-Christensen L, Nordentoft S, et al. Foodborne disease prevention and broiler chickens with reduced *Campylobacter*

- infection [J]. *Emerg Infect Dis*, 2013, 19(3): 425–430.
- [16] Siekkinen KM, Heikkilä J, Tamminen N, *et al.* Measuring the costs of biosecurity on poultry farms: a case study in broiler production in Finland [J]. *Acta Vet Scand*, 2012, 54:12.
- [17] Zhang Q, Sahin O. *Campylobacteriosis: Diseases of poultry (13th Edition)* [M]. American Association of Avian Pathologists, 2013, 737–750.
- [18] 宗琴. 鸡肉中弯曲菌的定量流行病学分析及其有机酸控制技术研究 [D]. 扬州, 扬州大学, 2015.
Zong Q. Quantitative epidemiological analysis of *Campylobacter* in chicken and its organic acid control technology [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2015.
- [19] Byrd JA, Hargis BM, Caldwell DJ, *et al.* Effect of lactic acid administration in the drinking water during preslaughter feed withdrawal on *Salmonella* and *Campylobacter* contamination of broilers [J]. *Poult Sci*, 2001, 80(3): 278–283.
- [20] van Bunnik BA, Katsma WE, Wagenaar JA, *et al.* Acidification of drinking water inhibits indirect transmission, but not direct transmission of *Campylobacter* between broilers [J]. *Prev Vet Med*, 2012, 105(4): 315–319.
- [21] Solis de LF, Donoghue AM, Venkitanarayanan K, *et al.* Caprylic acid supplemented in feed reduces enteric *Campylobacter jejuni* colonization in ten day-old broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 2008, 87(4): 800–804.
- [22] Van DK, Haesebrouck F, Van IF, *et al.* Short-chain fatty acids and L-lactate as feed additives to control *Campylobacter jejuni* infections in broilers [J]. *Avian Pathol*, 2008, 37(4): 379–383.
- [23] Skanseng B, Kaldhusdal M, Moen B, *et al.* Prevention of intestinal *Campylobacter jejuni* colonization in broilers by combinations of in-feed organic acids [J]. *J Appl Microbiol*, 2010, 109(4): 1265–1273.
- [24] Byrd JA, Hargis BM, Caldwell DJ, *et al.* Effect of lactic acid administration in the drinking water during preslaughter feed withdrawal on *Salmonella* and *Campylobacter* contamination of broilers [J]. *Poult Sci*, 2001, 80(3): 278–283.
- [25] Katrin Z, Johanna P, AndreÂ B, *et al.* Lauric acid as feed additive-an approach to reducing *Campylobacter* spp. in broiler meat [J]. *PLoS One*, 2017, 12(4): e0175693.
- [26] Hilmarsson H, Thormar H, Thrainsson JH, *et al.* Effect of glycerol monocaprate (monocaprin) on broiler chickens: an attempt at reducing intestinal *Campylobacter* infection [J]. *Poult Sci*, 2006, 85(4): 588–592.
- [27] Hermans D, Martel A, Van DK, *et al.* Intestinal mucus protects *Campylobacter jejuni* in the ceca of colonized broiler chickens against the bactericidal effects of medium-chain fatty acids [J]. *Poult Sci*, 2010, 9(6): 1144–1155.
- [28] Hermans D, Martel A, Van DK, *et al.* The cinnamon-oil ingredient trans-cinnamaldehyde fails to target *Campylobacter jejuni* strain KC 40 in the broiler chicken cecum despite marked *in vitro* activity [J]. *J Food Prot*, 2011, 74(10): 1729–1734.
- [29] Robyn J, Rasschaert G, Hermans D, *et al.* Is allicin able to reduce *Campylobacter jejuni* colonization in broilers when added to drinking water [J]. *Poult Sci*, 2013, 92(5): 1408–1418.
- [30] Epps SV, Harvey RB, Byrd JA, *et al.* Comparative effect of thymol or its glucose conjugate, thymol- β -D-glucopyranoside, on *Campylobacter* in avian gut contents [J]. *J Environ Sci Health B*, 2015, 50(1): 55–61.
- [31] Kurekci C, Jassim R, Hassan E, *et al.* Effects of feeding plant-derived agents on the colonization of *Campylobacter jejuni* in broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 2014, 93(9): 2337–2346.
- [32] Naseri KG, Rahimi S, Khaki P. Comparison of the effects of probiotic, organic acid and medicinal plant on *Campylobacter jejuni* challenged broiler chickens [J]. *J Agric Sci Technol*, 2012, 14(3):1485–1496.
- [33] Ghareeb K, Awad WA, Mohl M, *et al.* Evaluating the efficacy of an avian-specific probiotic to reduce the colonization of *Campylobacter jejuni* in broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 2012, 91(8): 1825–1832.
- [34] Nishiyama K, Seto Y, Yoshioka K, *et al.* *Lactobacillus gasseri* SBT2055 reduces infection by and colonization of *Campylobacter jejuni* [J]. *PLoS One*, 2014, 9(9): e108827.
- [35] Cean A, Stef L, Simiz E, *et al.* Effect of human isolated probiotic bacteria on preventing *Campylobacter jejuni* colonization of poultry [J]. *Foodborne Pathog Dis*, 2015, 12(2): 122–130.
- [36] Santini C, Baffoni L, Gaggia F, *et al.* Characterization of probiotic strains: an application as feed additives in poultry against *Campylobacter jejuni* [J]. *Int J Food Microbiol*, 2010, 141: S98–108.
- [37] Robyn J, Rasschaert G, Hermans D, *et al.* In vivo broiler experiments to assess anti-*Campylobacter jejuni* activity of a live *Enterococcus faecalis* strain [J]. *Poult Sci*, 2013, 92(1): 265–271.
- [38] Stern NJ, Svetoch EA, Eruslanov BV, *et al.* Isolation of a *Lactobacillus salivarius* strain and purification of its bacteriocin, which is inhibitory to *Campylobacter jejuni* in the chicken gastrointestinal system [J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2006, 50(9): 3111–3116.
- [39] Svetoch EA, Eruslanov BV, Levchuk VP, *et al.* Isolation of *Lactobacillus salivarius* 1077 (NRRL B-50053) and characterization of its bacteriocin, including the antimicrobial activity spectrum [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2011, 77(8): 2749–2754.
- [40] Messaoudi S, Kergourlay G, Dalgalarondo M, *et al.* Purification and characterization of a new bacteriocin active against *Campylobacter* produced by *Lactobacillus salivarius* SMXD51 [J]. *Food Microbiol*, 2012, 32(1): 129–134.
- [41] Line JE, Svetoch EA, Eruslanov BV, *et al.* Isolation and purification of enterocin E-760 with broad antimicrobial activity against gram-positive and gram-negative bacteria [J]. *Antimicrob Agents Chemother*, 2008, 52(3): 1094–1100.
- [42] Tiwari R, Dhama K, Kumar A, *et al.* Bacteriophage therapy for safeguarding animal and human health: A review [J]. *Pak J Biol Sci*, 2014, 17(3): 301–315.
- [43] 宋亚雄, 王丽丽, 李晓宇, 等. 噬菌体在畜禽细菌性疾病控制中应用研究进展[J]. *动物医学进展*, 2016, 37(3): 91–94.
Song YX, Wang LL, Li XY, *et al.* The research progress of phage in the control of bacterial disease of livestock and poultry [J]. *Prog Vet Med*, 2016, 37(3): 91–94.
- [44] Janez N, Loc-CC. Use of phages to control *Campylobacter* spp. [J]. *J Microbiol Methods*, 2013, 95(1): 68–75.
- [45] Fischer S, Kittler S, Klein G, *et al.* Impact of a single phage and a phage cocktail application in broilers on reduction of *Campylobacter jejuni* and development of resistance [J]. *PLoS One*, 2013, 8(10): e78543.
- [46] Carrillo CL, Atterbury RJ, El-Shibiny A, *et al.* Bacteriophage therapy to reduce *Campylobacter jejuni* colonization of broiler chickens [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2005, 71(11): 6554–6563.
- [47] Rice BE, Rollins DM, Mallinson ET, *et al.* *Campylobacter jejuni* in broiler

- chickens: colonization and humoral immunity following oral vaccination and experimental infection [J]. *Vaccine*, 1997, 15(17-18): 1922-1932.
- [48] Ziprin RL, Hume ME, Young CR, *et al.* Inoculation of chicks with viable non-colonizing strains of *Campylobacter jejuni*: evaluation of protection against a colonizing strain [J]. *Curr Microbiol*, 2002, 44(3): 221-223.
- [49] McKinney JM, Samuelson DR, Eucker TP, *et al.* Reducing *Campylobacter jejuni* colonization of poultry via vaccination [J]. *PLoS One*, 2014, 9(12): e114254.
- [50] Buckley AM, Wang J, Hudson DL, *et al.* Evaluation of live-attenuated *Salmonella* vaccines expressing *Campylobacter* antigens for control of *C. jejuni* in poultry [J]. *Vaccine*, 2010, 28(4): 1094-1105.
- [51] Yeh HY, Hiett KL, Line JE, *et al.* Characterization and antigenicity of recombinant *Campylobacter jejuni* flagellar capping protein FliD [J]. *J Med Microbiol*, 2014, 63(4): 602-609.
- [52] Yeh HY, Hiett KL, Line JE, *et al.* Characterization and reactivity of broiler chicken sera to selected recombinant *Campylobacter jejuni* chemotactic proteins [J]. *Arch Microbiol*, 2014, 196(5): 375-383.
- [53] Hu Y, Huang J, Jiao XA. Screening of genes expressed in vivo during interaction between chicken and *Campylobacter jejuni* [J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2014, 24(2): 217-224.
- [54] Baffoni L, Gaggia F, Di GD, *et al.* A Bifidobacterium-based symbiotic product to reduce the transmission of *C. jejuni* along the poultry food chain [J]. *Int J Food Microbiol*, 2012, 157(2): 156-161.

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



张小燕, 副研究员, 主要研究方向为食品安全及病原微生物检测与控制。
E-mail: xiaoyanpanda@163.com



高玉时, 研究员, 主要研究方向为食品安全及畜禽产品品质评价。
E-mail: gaoy100@sina.com