

市售生禽类产品分离大肠埃希氏菌药物敏感分析

俞 漪*, 张云鹏, 曲勤凤

(上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200233)

摘 要: **目的** 分离和鉴定生禽类产品中的大肠埃希氏菌, 并确定菌株的耐药情况。**方法** 从市场上随机抽取 65 份生禽类产品, 采用选择性培养基分离并通过生化鉴定大肠埃希氏菌; 分析未加工或不同的加工工艺生禽类产品中大肠埃希氏菌检出情况并通过抗生素最小抑制浓度掌握分离菌株药敏谱。**结果** 从 65 份样本中分离得到 55 株大肠埃希氏菌, 检出率高达 84.62%; 其中未加工生鲜类为 100.00%、冷却工艺为 89.00%、冷冻工艺为 70.00%。药敏结果显示, 分离菌对亚胺培南(98.20%)、头孢西丁(92.70%)、头孢他啶(90.90%)、多粘菌素(90.90%)耐药率较高, 对四环素最敏感(72.20%)。表型不同的大肠埃希氏菌分为典型菌株(45 株)和非典型菌株(10 株)药敏谱无显著性差异($P>0.05$)。受试菌 100%携带 3 种以上抗生素, 有 83.64%受试菌同时携带 4 种高耐药率的抗生素(亚胺培南、头孢西丁、头孢他啶、多粘菌素)。**结论** 市售生禽类产品中存在非常严重的多重耐药性大肠埃希氏菌污染。本研究对大肠埃希氏菌的药性分析, 可以为禽类养殖企业规范用药提供理论参考。**关键词:** 生禽肉; 大肠埃希氏菌; 耐药性; 最小抑菌浓度

Drug sensitivity analysis of *Escherichia coli* isolated from commercial poultry products

YU Yi*, ZHANG Yun-Peng, QU Qin-Feng

(Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China)

ABSTRACT: Objective To isolate and identify *Escherichia coli* in raw poultry products and determine the drug resistance distribution of strains. **Methods** Sixty-five raw poultry products were randomly selected from the market, and *Escherichia coli* was isolated by selective medium and identified by biochemistry; the detection of *Escherichia coli* in raw poultry products without processing or different processing technologies was analyzed, and master the drug sensitivity spectrum of the isolated strains through the minimum inhibitory concentration of antibiotics. **Results** Fifty-five strains of *Escherichia coli* were isolated from 65 samples; the isolation rate was 84.62%; among them, 100.00% were raw, 89.00% were cooled and 70.00% were frozen. The drug sensitivity results showed that the resistance rates of isolates to imipenem (98.20%), cefoxitin (92.70%), ceftazidime (90.90%) and polymyxin (90.90%) were high, most sensitive to tetracycline (72.20%). There was no significant difference in drug sensitivity spectrum between typical strains (45 strains) and atypical strains (10 strains) with different phenotypes ($P>0.05$). 100% of the tested bacteria carried more than 3 kinds of antibiotics, and 83.64% of the tested bacteria carried 4 kinds of antibiotics (imipenem, cefoxitin, ceftazidime, polymyxin) with high resistance rate at the same time. **Conclusion** There are very serious multi drug resistant *Escherichia coli* contamination in commercial raw poultry products. The drug analysis of *Escherichia coli* in this study can provide a theoretical reference for poultry breeding enterprises to

*通信作者: 俞漪, 高级工程师, 主要研究方向为微生物和 PCR 技术在食品检测中的应用。E-mail: yuyi@sqi.org.cn

*Corresponding author: YU Yi, Senior Engineer, Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, No.381, CangwuRoad, Shanghai 200233, China. E-mail: yuyi@sqi.org.cn

standardize drug use.

KEY WORDS: raw poultry; *Escherichia coli*; drug resistance; minimum inhibitory concentration

0 引言

大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*, *E. coli*)革兰氏阴性短杆菌,大小 $0.5 \times 1 \sim 3 \mu\text{m}$ 。周生鞭毛,能运动,无芽孢。能发酵多种糖类产酸、产气^[1]。大肠埃希氏菌是条件致病菌,在一定条件下可以引起人和多种动物发生胃肠道感染或尿道等多种局部组织器官感染,因此被公认是重要的卫生指示菌,同时也是最主要的食源性致病菌之一^[2]。在养殖业中,大肠埃希氏菌是危害养殖动物的主要疾病之一,每年因为大肠埃希氏菌相关疾病的发生,给养殖业直接或间接地造成了重大的经济损失^[3]。大肠埃希菌的致病物质之一是血浆凝固酶,可引起成人腹泻或食物中毒的暴发;常见感染食品为各类肉制品、冷荤、生牛奶,其次为蛋及蛋制品、乳酪及蔬菜、水果、饮料等食品。全国屡次因食用感染大肠埃希氏菌食品出现中毒事件的报道^[4-5]。

高密度、集约化的养殖模式是导致大肠埃希氏菌感染的重要来源之一,大肠埃希氏菌在外界环境中不仅具有长期保存生命的特性,耐受性强^[6],在低温下仍可存活,而本研究拟探究基于城市生活中所能购买的生禽类产品,以整只生鲜类、或经过分割二次加工包括冷却、冷冻的散装产品为研究对象的大肠埃希氏菌检出情况。为了减少感染带来的损失,抗生素的使用必不可少,但是大量的使用抗生素导致生禽类体内及周围环境中细菌产生耐药性^[7],而抗生素耐药性已经成为全球严重的公共卫生问题,成为了全球公共健康的第三大威胁^[8-10]。因此进一步掌握产品中分离大肠埃希氏菌耐药分布情况,对于指导禽类养殖企业规范用药、保障质量安全非常重要。

本研究对市售生禽类产品中的大肠埃希氏菌进行分离和鉴定,通过药敏敏感性实验确定菌株的耐药谱,为合理用药及大肠埃希氏菌多重耐药机制的进一步研究提供实验数据。

1 材料与方法

1.1 材料、菌株与试剂

实验所用样品来源于网络销售(淘宝、京东等)、线下销售(超市、集贸市场等)共 65 份,其中整只生鲜类 19 份、分割冷却类 19 份、分割冷冻类 27 份。样品在 4 h 内送至实验室进行后续操作。

药敏实验用质控菌株(*Escherichia coli* ATCC25922, 中国工业微生物保藏中心提供)。

E. coli Broth 肉汤(EC)、麦康凯(MAC)平板、营养琼脂、大肠埃希氏菌生化鉴定套装(北京陆桥技术有限责任公司);

革兰氏阴性菌药物最小抑制浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)测试套装(珠海美华医疗科技有限公司)。

1.2 仪器和设备

SMI12 恒温培养箱(美国 Shellab 公司); Interscience BagMixer 400W 均质器(法国 Interscience 公司); MS6001S TOLEDO 电子天平(感量为 0.1 g, 德国梅特勒-托利多公司); DM2000 生物显微镜(德国徕卡公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 大肠埃希氏菌分离及鉴定

样品采集后,将以低温保存方式运送至实验室。无菌操作取肉体表面组织进行增菌和分离培养^[11];从平板上挑取典型菌落或可疑菌落,移种到营养琼脂平板上进行纯化和扩增,于 $36 \pm 1^\circ\text{C}$ 培养 24 h。取培养物进行革兰氏染色和生化鉴定。取纯化培养物进行靛基质、Methyl Red Voges Proskauer Broth (MR-VP)和柠檬酸盐利用实验^[12]。

1.3.2 药物敏感实验

按照世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐的微量肉汤稀释法定量检测大肠埃希氏菌对抗生素的敏感性;从细菌药物 MIC 测试套装中的 Mueller-Hinton Broth (M-H)肉汤培养基内每孔吸取 100 μL 加入阴性对照孔内。挑取纯培养单个菌落于稀释液瓶内壁研磨,呈细菌悬液 0.5 麦氏单位菌悬液,吸 50 μL 菌悬液,加至 M-H 肉汤培养基内混匀后,加入药敏测试板微孔,每孔 100 μL ;盖上盖子, $36 \pm 1^\circ\text{C}$ 孵育 18~24 h 后判读。

参照美国临床实验室标准化委员会(Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI) 2015 版方法手册为指导原则和执行标准^[13]。按照 1.3.1 方法分离出的大肠埃希氏菌对 15 种抗生素的最小抑制浓度测定。每批实验均用 *Escherichia coli* ATCC25922 进行质量控制,药敏结果分为敏感(S)、中介(I)和耐药(R) 3 种形式对 MIC 做出判定。

1.4 数据处理

本研究测定数据进行 3 次重复,组间两两比较使用方差检验分析法进行处理, $P < 0.05$ 有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 大肠埃希氏菌的分离与鉴定

从 MAC 平板挑取大肠埃希氏菌典型菌落^[14],进行革兰氏染色,在显微镜下可观察到菌体为两端钝圆,散在或成对中等红色,为革兰氏阴性菌;通过生化鉴定 65 份产品中分离得到 55 株菌可判定为大肠埃希氏菌,检出率高达 84.62%,未加工或不同加工工艺生禽类产品大肠埃希氏菌检出率不同,见图 1。基于大肠埃希氏菌代谢蛋白质中的

色氨酸能力^[15], 见表 1; 靛基质阳性为典型大肠埃希氏菌 (*Typical Escherichia coli*) 共 45 株, 分离率为 81.82%; 阴性为非典型大肠埃希氏菌 (*Atypical Escherichia coli*) 共 10 株, 分离率为 18.18%。

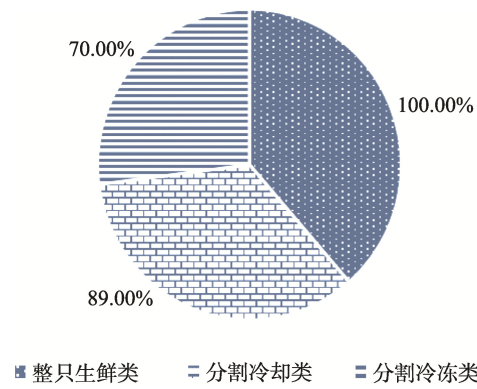


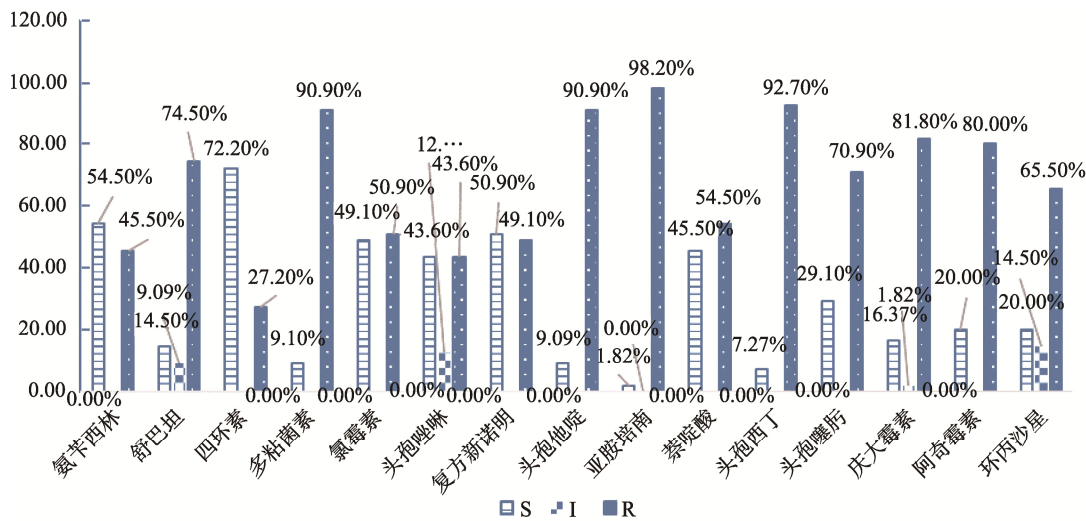
图 1 不同的规格产品大肠埃希氏菌检出率
Fig.1 Detection rate of *Escherichia coli* in products with different specifications

表 1 大肠埃希氏菌生化鉴定表型结果				
Table 1	Biochemical identification results of <i>Escherichia coli</i>			
靛基质 (I)	甲基红 (MR)	VP 实验 (VP)	柠檬酸盐 (C)	鉴定
+	+	-	-	典型大肠埃希氏菌
-	+	-	-	非典型大肠埃希氏菌

注: +表示阳性; -表示阴性。

2.2 药敏实验结果

根据不同浓度实验孔是否出现浑浊(沉淀), 确定是否



注: S: 敏感; I: 中介; R: 耐药, 下同。
图 2 分离大肠埃希氏菌药敏情况
Fig.2 Drug sensitivity status of isolated *Escherichia coli*

有细菌生长, 从而确定大肠埃希氏菌抗菌药物的最小抑制浓度; 质控菌株对 15 种抗生素 MIC 结果均在质控范围内, 表明药敏结果可靠。

本研究分离得到的 55 株大肠埃希氏菌对供试抗生素有不同程度的耐药性, 见图 2。耐药率排在前 4 位为亚胺培南(98.20%)、头孢西丁(92.70%)、头孢他啶(90.90%)、多粘菌素(90.90%); 庆大霉素、阿奇霉素、舒巴坦、头孢噻肟、环丙沙星、萘啶酸、氯霉素耐药率为 50%~90%; 而敏感度最高的是四环素(72.20%), 说明此种抗生素有较好的抑菌效果; 其次是氨苄西林和复方新诺明, 敏感率都高于 50%以上。从总体来看, 大肠埃希氏菌的 11 种抗生素耐药率远高于敏感率, 耐药情况严重。

表型不同大肠埃希氏菌对 15 种抗生素的药物结果见表 2, 典型大肠埃希氏菌和非典型大肠埃希氏菌对亚胺培南、头孢西丁、头孢他啶、多粘菌素耐药率均大于 85%, 其中非典型大肠埃希氏菌对亚胺培南和多粘菌素完全耐药, 达 100.00%; 非典型大肠埃希氏菌对四环素也最为敏感(敏感率为 80.00%)。然而通过对敏感(S)、中介(I)、耐药(R)3 者统计学计算, *P* 都大于 0.05, 无显著性差异; 说明大肠埃希氏菌在株内药敏水平表现基本一致。

2.3 大肠埃希氏菌多重耐药性

55 株大肠埃希氏菌都表现出多重耐药性, 见表 3。其中耐 3~6 种抗生素的有 7 株菌(12.73%); 耐 7~10 种抗生素有 16 株(29.09%); 耐 11~14 种抗生素有 22 株(40.00%); 耐 15 种抗生素的菌株最多, 共 8 株, 占总菌株数的 14.55%, 未检测到无耐药菌株。有 46 株菌同时携带 4 种高耐药率的抗生素(亚胺培南、头孢西丁、头孢他啶、多粘菌素), 占比 83.64%。

表 2 大肠埃希氏菌抗生素药敏实验结果
Table 2 Antibiotic susceptibility test results of *Escherichia coli*

抗生素		D	F	D	F	D	F
		S		I		R	
β-内酰胺类	氨苄西林	24/53.33%	6/60.00%	0/0.00%	0/0.00%	21/46.67%	4/40.00%
	舒巴坦	7/15.56%	1/10.00%	3/6.67%	2/20.00%	34/75.56%	7/70.00%
	亚胺培南	1/2.22%	0/0.00%	0/0.00	0/0.00%	44/97.78%	10/100.00%
头孢菌类	头孢西丁	3/6.67%	1/10.00%	0/0.00%	0/0.00%	42/93.33%	9/90.00%
	头孢噻肟	13/28.89%	3/30.00%	0/0.00%	0/0.00%	32/71.11%	7/70.00%
	头孢他啶	4/8.89%	1/10.00%	0/0.00%	0/0.00%	41/91.11%	9/90.00%
	头孢唑啉	18/40.00%	6/60.00%	6/13.33%	1/10.00%	21/46.67%	3/30.00%
四环素	四环素	32/71.11%	8/80.00%	0/0.00%	0/0.00%	13/28.89%	2/20.00%
多肽类	多粘菌素	5/11.11%	0/0.00%	0/0.00%	0/0.00%	40/88.89%	10/100.00%
氯霉素类	氯霉素	21/46.67%	6/60.00%	0/0.00%	0/0.00%	24/53.33%	4/40.00%
磺胺类	复方新诺明	24/53.33%	4/40.00%	0/0.00%	0/0.00%	21/46.67%	6/60.00%
喹诺酮类	萘啶酸	22/48.89%	3/30.00%	0/0.00%	0/0.00%	23/51.11%	7/70.00%
氨基糖苷类	庆大霉素	6/13.33%	3/30.00%	1/2.22%	0/0.00%	38/84.44%	7/70.00%
大环内酯类	阿奇霉素	8/17.78%	3/30.00%	0/0.00%	0/0.00%	37/82.22%	7/70.00%
喹诺酮类	环丙沙星	10/22.22%	1/10.00%	6/13.00%	7/70.00%	29/64.44%	2/20.00%
P		0.88		0.51		0.54	

注: D: 典型大肠埃希氏菌数(n=45)/百分比(%); F: 非典型大肠埃希氏菌数(n=10)/百分比(%)。

表 3 大肠埃希氏菌的多重耐药情况
Table 3 Multidrug resistance status of *Escherichia coli*

耐药种数	菌株数(n=55)	耐药率/%	耐药种数	菌株数(n=55)	耐药率/%
2	2	3.64	9	5	9.09
3	1	1.82	10	3	5.45
4	1	1.82	11	7	12.73
5	4	7.27	12	6	10.91
6	1	1.82	13	6	10.91
7	5	9.09	14	3	5.45
8	3	5.45	15	8	14.55

3 讨论与结论

冯杰等^[16]采集宁夏地区 108 份羊源病料中分离到 58 株大肠埃希氏菌, 分离率达到 53.7%; 傅伟欣等^[17]对福建省生畜禽中致泻大肠埃希氏菌污染研究, 结果检出率为 7.2% (35/484); ABDALLAH 等^[18]在埃及采集鸡肉产品, 大肠埃希氏菌分离率为 33.93%。本研究从 65 份加工生禽类产品中大肠埃希氏菌检出率高于 80.00%, 说明市售的生禽类产品中大肠埃希氏菌具有高污染率, 并且分离出大多都

为典型大肠埃希氏菌, 对之后的药敏分析更具有代表性。肉类冷却工艺既能保持肉体高营养也能抑制微生物的生长繁殖^[19]; 冷冻工艺中大肠埃希氏菌检测率低于冷却工艺, 是因为后者超低温能使微生物停止进行生命活动^[20]; 以上 2 种加工工艺会对菌体造成了不同程度的损伤, 不仅达到长期存储的目的, 同时也降低了检出率; 而未加工生鲜类生禽类产品更适合大肠埃希菌存活, 并且可迅速繁殖。药敏实验结果显示分离的大肠埃希氏菌呈高水平广谱耐药; 抗生素耐药性高于 50%的有 11 种, 其中 3 种属于

头孢菌类、2 种属于 β -内酰胺类、2 种属于喹诺酮类、其余氨基糖苷类、大环内酯类、多肽类和氯霉素各 1 种; 耐药率最高的为 β -内酰胺类, 是 β -内酰胺类的一大类抗生素, 最具有代表性的为青霉素^[21], 此类抗生素具有杀菌活性强、毒性低、适应症广及临床疗效好的优点, 是应用最为广泛的一类抗生素, 同时残留物可通过多种方式传递, 并经微生物作用影响土壤生态系统的稳定^[22-23]; 本研究中 β -内酰胺环类为氨苄西林、舒巴坦和亚胺培南同其他 β -内酰胺环类抗生素有相似抑菌广谱性, 对革兰氏阳性、阴性的需氧和厌氧菌都具有抗菌作用; 但从研究结果看出大肠埃希氏菌对 β -内酰胺环类耐药率高, 是因为为长期大剂量的使用, 使大肠埃希氏菌已大范围的产生 β -内酰胺酶使药物失活、耐性程度逐渐增强、潜在的扩大了传播范围^[24]; 另外大肠埃希氏菌为典型革兰氏阴性菌, 其细胞壁中主要成分为磷脂, 而肽聚糖只占 1%~10%, 该类药物直接影响正在繁殖的细菌细胞, 所以被称为繁殖期杀菌剂^[25]。基于本研究受试菌对四环素具有显著的抗菌作用, 其原因是四环素类抗生素可通过与细菌胞内核糖体 30S 亚基形成可逆结合体, 抑制蛋白质合成起到抗菌效果^[26]; 次于四环素敏感率的氨苄西林和复方新诺明, 可与四环素类作为复合抗菌药物, 共同或替换使用于禽类养殖系统中。

冯世文等^[27]对广西规模化猪场分离的 120 株大肠埃希氏菌耐药检测, 多重耐药情况严重, 具有丰富的耐药谱型; 冀亚路等^[28]分析不同地区规模化生猪养殖场耐药现状, 发现含有 2 类以上抗生素耐药基因的大肠杆菌比例高达 82.28% (144/175)。而本研究所分离的大肠埃希氏菌 100% 菌株都为多重耐药性。肉类本身富含高营养物质, 为大肠埃希氏菌提供了丰富的养分, 适合其快速地繁殖, 而经过加工后市售产品, 交叉污染也是造成多重耐药性重要原因^[29]。一种抗生素或小剂量无法达到杀菌效果后, 同时使用多种抗生素或在长期不断地加大剂量, 都是造成大肠埃希氏菌具有多重耐药性的原因。大肠埃希氏菌是条件致病菌, 发生与流行感染是呈世界性分布, 流行性最大的可能是与区域经济条件和社会卫生状况等有一定的联系^[30-31], 加强饲养管理、注意加工场地环境卫生情况等都是控制大肠埃希氏菌感染最有效手段^[32]。同时长期大量使用多种抗生素也导致产品的抗生素残留及耐药基因向人体的转移, 并且某些耐药基因能够在肠道正常菌与致病菌之间发生转移, 给人体健康构成了潜在的威胁^[33-34]。需要长期定时抗生素药敏监控, 及时掌握生禽类产品中抗生素耐药性的演变情况, 在临床上谨慎选择敏感药物, 交替使用, 从而减少耐药性的产生, 提高治疗效果, 本研究通过对生禽类产品抗生素药性进行研究, 可以为禽类产品用药提供可靠的依据。

参考文献

[1] 姚勇. 关于食品中大肠杆菌检测方法的研究[J]. 食品安全导刊, 2014, (9): 74-76.

- YAO Y. On the detection of *E. coli* in food research [J]. Chin Food Saf Magaz, 2014, (9): 74-76.
- [2] BELINA D, HAILU Y, GOBENA T, *et al.* Prevalence and epidemiological distribution of selected foodborne pathogens in human and different environmental samples in Ethiopia: A systematic review and meta-analysis [J]. One Health Outlook, 2021, 3(1): 1-30.
- [3] 杨跃飞. 临床动物源性大肠杆菌的分离鉴定、耐药基因检测及多位点序列分型分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2022.
- YANG YF. Isolation and identification of clinical animal-derived *Escherichia coli*, detection of drug resistance genes and multilocus sequence typing analysis [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2022.
- [4] 吕虹, 黄伟峰, 黄玉兰, 等. 四川省腹泻患者和食品加工从业人员致泻大肠埃希菌监测分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(8): 1182-1184, 1202.
- LV H, HUANG WF, HUANG YL, *et al.* Monitoring and analysis of diarrheogenic *Escherichia coli* of patients with diarrhoeal and food processing practitioners in Sichuan [J]. Chin J Health Lab Technol, 2016, 26(8): 1182-1184, 1202.
- [5] 熊长辉, 杨梦, 刘晓青, 等. 一次食物中毒相关的侵袭性大肠杆菌分子分型分析[J]. 中国人兽共患病学报, 2015, 31(8): 747-750.
- XIONG CH, YANG M, LIU XQ, *et al.* Molecular typing analysis of invasive *Escherichia coli* associated with a case of food poisoning [J]. Chin J Zoonos, 2015, 31(8): 747-750.
- [6] 马文思, 刘发山. 大肠埃希氏菌在模拟胃肠道环境下耐受性的研究[J]. 昆明学院学报, 2019, 41(3): 113-116.
- MA WS, LIU FS. Study on the tolerance of *Escherichia coli* under simulated gastrointestinal environment [J]. J Kunming Univ, 2019, 41(3): 113-116.
- [7] VON SC, LAUBE H, GUERRA B, *et al.* Emission of ESBL/AmpC-producing *Escherichia coli* from pig fattening farms surrounding areas [J]. Vet Microbiol, 2015, 175(1): 77-84.
- [8] BRAYKOV NP, EISENBERG JN, GROSSMAN M, *et al.* Antibiotic resistance in animal and environmental samples associated with small-scale poultry farming in Northwestern Ecuador [J]. mSphere, 2016, 1(1): e00021-15.
- [9] LYIMO B, BUZA J, SUBBIAH M, *et al.* Comparison of antibiotic resistant *Escherichia coli* obtained from drinking water sources in northern Tanzania: A cross-sectional study [J]. BMC Microbiol, 2016, 16(1): 254.
- [10] 吴莹, 杨璐, 刘艳超, 等. 北京市售鸡肉和猪肉中大肠杆菌污染情况及耐药特征分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(2): 211-216.
- WU X, YANG L, LIU YC, *et al.* Analysis of *E. coli* contamination and drug resistance in chicken and pork sold in Beijing [J]. Chin J Food Hyg, 2022, 34(2): 211-216.
- [11] 王小立. 河北地区牛源大肠杆菌和沙门氏菌的分离鉴定及耐药性分析[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2022.
- WANG XL. Isolation, identification and drug analysis of *Escherichia coli* and *Salmonella* from in Hebei [D]. Qinghuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology, 2022.
- [12] 龙慧, 龙永艳, 王伟, 等. 食物中毒样品中大肠埃希氏菌的分离、检测和鉴定[J]. 现代食品, 2022, 28(5): 142-146.
- LONG H, LONG YY, WANG W, *et al.* Isolation, detection and identification of *Escherichia coli* in food poisoning samples [J]. Mod Food, 2022, 28(5): 142-146.
- [13] Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing; 25th informational supplement, M100-S25 [Z].
- [14] 刘莉, 魏海燕, 王紫薇. 3 种方法检测食品中致泻大肠埃希氏菌检测能力验证结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(17): 6086-6092.

- LIU L, WEI HY, WANG ZW. Analysis of validation results of three methods for detection of diarrhoeal *Escherichia coli* in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(17): 6086–6092.
- [15] 许晓琳, 汪红梅, 何芙蓉. 食品和水中大肠埃希氏菌验证方法的比较[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(8): 2617–2620.
- XU XL, WANG HM, HE FR. Comparison of the methods for the confirmation of *Escherichia coli* in food and water [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(8): 2617–2620.
- [16] 冯杰, 马剑钢, 张新, 等. 宁夏地区羊源大肠埃希氏菌的分离鉴定及耐药性检测[J]. *动物医学进展*, 2022, 43(5): 126–130.
- FENG J, MA JG, ZHANG X, *et al.* Isolation, identification and drug resistance detection of *Escherichia coli* from sheep in Ningxia [J]. *Prog Vety Med*, 2022, 43(5): 126–130.
- [17] 傅祎欣, 洪锦春, 叶素贞, 等. 福建省 2017—2018 年畜禽肉中致泻大肠埃希氏菌污染状况及耐药分析[J]. *海峡预防医学杂志*, 2020, 26(2): 51–53.
- FU YX, HONG JC, YE SZ, *et al.* Contamination and drug resistance of diarrheagenic *Escherichia coli* in livestock and poultry meat in Fujian province, 2017–2018 [J]. *Strait J Prev Med*, 2020, 26(2): 51–53.
- [18] ABDALLAH HM, REULAND EA, WINTERMANS BB, *et al.* Extended-spectrum β -lactamases and/or carbapenemases-producing Enterobacteriaceae isolated from retail chicken meat in Azgagiz, Egypt [J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e136052.
- [19] HAMADA M, ABD EM, FATHALLA SI, *et al.* The potential impact of *Moringa oleifera* for diminishing the microbial contamination and prolonging the quality and shelf-life of chilled meat [J]. *J Pure Appl Microbiol*, 2021, 15(2): 826–838.
- [20] 许磊. 冷冻食品细菌学检验方法分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2010.
- XU L. Analysis of bacteriological test methods for frozen food [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2010.
- [21] 关茹飞, 江萍, 高超, 等. 新疆乌鲁木齐市周边鸡场鸡源沙门氏菌耐药性及耐药基因的检测[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(10): 28–35.
- GUAN RF, JIANG P, GAO C, *et al.* Detection of drug resistance and drug resistance genes of *Salmonella* isolated from chickens in surrounding chicken farms of Urumqi, Xinjiang [J]. *J Agric Sci Technol*, 2017, 19(10): 28–35.
- [22] 张岩, 陶柏秋, 白雪梅. 青霉素的现状及发展[J]. *内蒙古教育(职教版)*, 2012, (5): 78–79.
- ZHANG Y, TAO BQ, BAI XM. The present situation and development of penicillin [J]. *Inner Mongolia Edu*, 2012, (5): 78–79.
- [23] 宋恒宇. 青霉素残留物对土壤微生物的影响分析[J]. *资源节约与环保*, 2022, (6): 9–11.
- SONG HY. Effects of penicillin residues on soil microorganisms [J]. *Res Econ Environ Prot*, 2022, (6): 9–11.
- [24] 申永秀. 沙门氏菌耐药特征及 CTX-M 型超广谱 β -内酰胺酶流行特征与变异性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- SHEN YX. Study on drug resistance characteristics of *Salmonella* and epidemic characteristics and variability of CTX-M type extended spectrum β -lactamases [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019.
- [25] 辛小月, 曲永利, 袁雪, 等. 巴氏杀菌 β -内酰胺类抗奶对犊牛生长和胃肠道发育的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(10): 4251–4261.
- XIN XY, QU YL, YUAN X, *et al.* Effects of pasteurized β -lactam antibiotic milk on growth and development of gastrointestinal tract of calves [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2018, 30(10): 4251–4261.
- [26] 刘世良. 抗菌药物作用机制的研究[J]. *中外医疗*, 2012, 31(4): 135.
- LIU SL. Study on the mechanism of action of antibiotics [J]. *Chin Fore Med Treat*, 2012, 31(4): 135.
- [27] 冯世文, 李军, 李常挺, 等. 广西规模化猪场猪源大肠杆菌耐药表型和耐药基因检测及相关性分析[J]. *中国兽医学报*, 2020, 40(6): 1170–1178.
- FENG SW, LI J, LI CT, *et al.* Detection and correlation analysis of drug phenotypes and genes of porcine *Escherichia coli* from large-scale pig farms in Guangxi [J]. *Chin J Vet Sci*, 2020, 40(6): 1170–1178.
- [28] 冀亚路, 姜秋杰, 袁恒豫, 等. 吉林省规模化猪场断奶仔猪大肠杆菌分离鉴定与耐药表型及耐药基因检测[J]. *中国兽医学报*, 2021, 41(12): 2357–2363.
- JI YL, JIANG QJ, XI HY, *et al.* Isolation, identification, phenotype and gene detection of drug resistance of *E. coli* from weaned piglets in large-scale pig farms Jilin Province [J]. *Chin J Vet Sci*, 2021, 41(12): 2357–2363.
- [29] 周建平. 襄樊市肉食品大肠埃希氏菌污染状况的检测[J]. *安徽农学通报*, 2008, 14(13): 35–36.
- ZHOU JP. Analysis and detection of pathogenic germ *E. coli* from meat in Xiangfan City [J]. *Auhui Agric Sci Bull*, 2008, 14(13): 35–36.
- [30] MOHSIN M, HASSAN B, MARTINS WMBS, *et al.* Emergence of plasmid-mediated tetracycline resistance tet (*X4*) gene in *Escherichia coli* isolated from poultry, food and the environment in South Asia [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 787: 147613.
- [31] ROSARIO AILS, CASTRO VS, SANTOS LF, *et al.* Shiga toxin-producing *Escherichia coli* isolated from pasteurized dairy products from Bahia, Brazil [J]. *J Dairy Sci*, 2021. DOI: 10.3168/jds.2020-19511
- [32] 邓珊珊, 张海, 简俐仲, 等. 规模化猪场猪大肠杆菌的耐药性及相关耐药基因检测[J]. *养猪杂志*, 2021, (1): 113–115.
- DENG SS, ZHANG H, LIN LZ, *et al.* Drug resistance of porcine *Escherichia coli* and detection of related drug resistance genes in large-scale farms [J]. *Swine Prod*, 2021, (1): 113–115.
- [33] MIELE A, BANDERA M, GOLDSTEIN BP. Use of primers selective for vancomycin resistance genes to determine van genotype in enterococci and to study gene organization in *VanA* isolates [J]. *Antim Agent Chem*, 1995, 39(8): 1772–1778.
- [34] 钱璟, 吴哲元, 郭晓奎, 等. 耐药微生物和抗生素耐药基因与全健康[J]. *微生物学通报*, 2022, 8(13): 1–17.
- QIAN J, WU ZY, GU XK, *et al.* Resistant microorganisms and antibiotic resistance genes in whole health [J]. *Microbiol Chin*, 2022, 8(13): 1–17.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介

俞 漪, 高级工程师, 主要研究方向为微生物和 PCR 技术在食品检测中的应用。
E-mail: yuyi@sqi.org.cn