DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260325008
引用格式: 郝民, 王恒伟, 王银会, 等. 即食熟肉制品中单核细胞增生李斯特氏菌耐药与生物膜形成能力相关研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(17): 241–247.
Hao Min, Wang Hengwei, Wang Yinhui, et al. Study on the correlation between drug resistance and biofilm forming ability of *Listeria monocytogenes* in instant delicatessen meats [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(17): 241–247. (in Chinese with English abstract).

即食熟肉制品中单核细胞增生李斯特氏菌耐药与生物膜形成能力相关研究

郝　民, 王恒伟, 王银会, 宋衍燕*
[北京市朝阳区疾病预防控制中心(朝阳区卫生健康监督所), 北京　100021]

摘　要: 目的　研究北京市朝阳区即食熟肉制品单核细胞增生李斯特氏菌(单增李斯特菌)的药物敏感性与生物膜形成能力。**方法**　共收集分离自即食熟肉制品的 41 株单增李斯特菌, 使用聚合酶链式反应法(polymerase chain reaction, PCR)与血清凝集结合的方式进行血清学分型, 采用微量肉汤稀释法进行药物敏感性试验、96 孔板结晶紫染色法与 PCR 分别进行生物膜形成能力与生物膜形成相关基因检测。**结果**　单增李斯特菌共包含 4 种血清型: 1/2a 型 46.34% (19/41)、1/2b 型 29.27% (12/41)、1/2c 型 21.95% (9/41)、4b 型 2.44% (1/41)。红霉素、四环素、青霉素、庆大霉素、万古霉素耐药率分别为 9.76%、7.32%、4.88%、4.88%、2.44%, 未发现氨苄西林、环丙沙星、氯霉素耐药株。90.24% (37/41)菌株具有成膜能力: 弱菌膜形成能力、中等菌膜形成能力、强菌膜形成能力菌株分别占 70.73% (29/41)、14.63% (6/41)、4.88% (2/41); 耐药菌株均有菌膜形成能力。菌膜形成相关基因 *flaA*、*degU*、*motB*、*sigB*、*yneA*、*agrA*、*relA*、*luxS*、*bapL* 携带率分别为 100.00% (41/41)、97.56% (40/41)、97.56% (40/41)、95.12% (39/41)、95.12% (39/41)、92.68% (38/41)、92.68% (38/41)、87.80% (36/41)、41.46% (17/41); *agrA* 在不同菌膜形成能力菌株中的分布不同(P<0.05), 菌膜形成能力更强的菌株携带率更高。**结论**　北京市朝阳区即食熟肉制品单增李斯特菌以 1/2a 型为主, 存在具有菌膜形成能力的耐药菌株, 可能会增加耐药菌株的持续污染隐患。

关键词: 单核细胞增生李斯特氏菌; 即食熟肉制品; 耐药性; 生物膜
中图分类号: TS201.3　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)17–0241–07

Study on the correlation between drug resistance and biofilm forming ability of *Listeria monocytogenes* in instant delicatessen meats

HAO Min, WANG Heng-Wei, WANG Yin-Hui, SONG Yan-Yan*
[*Chaoyang District Center for Disease Prevention and Control* (*Chaoyang District Health Superrision Institute*), *Beijing* 100021, *China*]

收稿日期: 2026-03-25
基金项目: 2024—2026 年首都卫生发展科研专项公共卫生研究方向重点攻关项目(首发 2024-1G-4362)
第一作者: 郝民(1984—), 女, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为食品风险监测与食品安全。E-mail: shandonghaomin@126.com
***通信作者:** 宋衍燕(1975—), 女, 博士, 主任技师, 主要研究方向为食品安全。E-mail: songyanyancdc@163.com

ABSTRACT: Objective To study the drug sensitivity and biofilm forming ability of *Listeria monocytogenes* isolated from instant delicatessen meats in Chaoyang District, Beijing. **Methods** A total of 41 strains of *Listeria monocytogenes* isolated from instant delicatessen meats were collected. Serotyping was performed by combining polymerase chain reaction (PCR) with serum agglutination. Drug sensitivity tests were conducted using the micro-broth dilution method, and the biofilm forming ability and genes related to biofilm formation were detected by 96-well plate crystal violet staining and PCR. **Results** *Listeria monocytogenes* was classified into 4 kinds of serotypes: 1/2a serotype 46.34% (19/41), 1/2b serotype 29.27% (12/41), 1/2c serotype 21.95% (9/41) and 4b serotype 2.44% (1/41). The resistant rates of erythromycin, tetracycline, penicillin, gentamicin, vancomycin were 9.76%, 7.32%, 4.88%, 4.88%, 2.44%. No resistant strains to ampicillin, ciprofloxacin and chloramphenicol were detected. The 90.24% (37/41) of the tested strains exhibited biofilm-forming capacity, among which weak, moderate and strong biofilm-forming isolates accounted for 70.73% (29/41), 14.63% (6/41) and 4.88% (2/41), respectively. All drug-resistant strains exhibited biofilm-forming ability. The positive rates of *flaA*, *degU*, *motB*, *sigB*, *yneA*, *agrA*, *relA*, *luxS*, *bapL* were 100.00% (41/41), 97.56% (40/41), 97.56% (40/41), 95.12% (39/41), 95.12% (39/41), 92.68% (38/41), 92.68% (38/41), 87.80% (36/41) and 41.46% (17/41). The distribution of *agrA* differed significantly among strains with varying biofilm-forming abilities (P<0.05), and strains with stronger biofilm-forming capacity showed a higher carriage rate of *agrA*. **Conclusion** *Listeria monocytogenes* isolates from instant delicatessen meats in Chaoyang District, Beijing is predominantly 1/2a serotype. Drug-resistant strains with biofilm-forming capacity are identified, which may increase the risk of persistent contamination by drug resistant strains.

KEY WORDS: *Listeria monocytogenes*; instant delicatessen meats; drug resistance; biofilm

0 引 言

单核细胞增生李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes*, 简称单增李斯特菌), 革兰氏阳性无芽孢杆菌, 是一种重要的食源性致病菌。它可以导致李斯特菌病, 临床表现为发热性肠胃炎、脑膜炎、败血症、流产等。对于儿童、老年人、免疫功能低下者和孕妇等高危人群, 单增李斯特菌具有较高致病风险, 致死率可达 20%~30%[1]。据美国疾病预防控制中心报道, 每年美国约 1600 人感染单增李斯特菌, 超 1500 人住院 260 人死亡, 较高的住院率和病死率为其带来了沉重的经济负担[2]。而欧盟食品安全局和欧洲疾病预防控制中心联合发布的《欧盟同一健康 2024 年人畜共患病报告》指出: 2024 年欧盟(26 个成员国)共报告 3041 例李斯特菌病例, 死亡病例占比 9.90%[3]。

单增李斯特菌在环境中广泛存在, 具有形成生物膜的能力, 难以从食品加工和零售设施中完全清除。因此, 在即食食品中检出单增李斯特菌是可以预料到的。美国的多项风险评估研究表明: 即食食品尤其是熟食肉制品是美国李斯特菌病的首要感染源, 83%李斯特菌病例与食用零售环节受污染的即食熟食产品相关[4−5]。在美国, 2024 年 5~9 月食用熟食切片肉类引起的李斯特菌病暴发, 导致 61 人感染、10 人死亡; 2022—2025 年由于食用即食肉类和禽类制品出现 24 例李斯特菌病例、其中 3 人死亡[6]。在我国, 即食熟肉制品也是居民餐桌上的常见菜肴, 比如酱卤肉、腌肉、腊肉、熏烤肉等。为了保障居民的食品安全, GB 29921—2021《食品安全国家标准 预包装食品中致病菌限量》也规定熟肉制品和即食生肉制品均不得检出单增李斯特菌, 但仍有从即食熟肉制品中分离到单增李斯特菌的研究报道。刘肖等[7]在 145 件成都采集的预包装冷藏熟肉制品中, 29 件样品检出单增李斯特菌, 检出率 20.00%。北京市也在 2021 年报告了一例免疫低下患者因食用预包装冷藏即食食品导致的李斯特菌病[8]。但目前针对北京市即食熟肉制品中单增李斯特菌污染状况的研究仍较少。

鉴于此, 本研究针对北京市朝阳区即食熟肉制品中分离到的单增李斯特菌进行血清分型、药物敏感性以及生物膜形成能力分析, 以了解北京市朝阳区即食熟肉制品中单增李斯特菌的污染状况及其生物膜形成能力, 为北京市朝阳区即食熟肉制品产业制定相应监测及防控措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 菌株来源

本研究所用 41 株单增李斯特菌, 分离自北京市朝阳区国家食品污染物监测采集到的即食熟肉制品。所有菌株均经生化鉴定复核为单增李斯特菌。药敏质控菌株为: 金黄色葡萄球菌 ATCC29213, 肺炎链球菌 ATCC49619。

1.1.2 仪器与试剂

S1000^{TM} 伯乐聚合酶链式反应仪(美国伯乐公司); QIAxcel Advanced 毛细管电泳仪、Taq PCR Master Mix Kit(德国 Qiagen 公司); Multiskan FC 型酶标仪(美国 Thermo Fisher Science 公司); Centrifuge 5430R 低温高速离心机(德国 Eppendorf 公司)。

脑心浸液培养基(brain heart infusion, BHI)(英国

Oxoid 公司); 李斯特菌血清分型试剂盒(日本生研会社); 引物合成[英潍捷基(上海)贸易有限公司]; 革兰阳性菌药敏检测板(上海星佰生物有限公司); 结晶紫溶液(纯度 1%, 北京索莱宝科技有限公司）; 无水乙醇(优级纯, 北京化工厂); 改良 Welshimer 肉汤培养基(modified Welshimer's broth, MWB, 印度孟买 HiMedia 公司)。

1.2　试验方法

1.2.1　血清学分型

采用聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)与血清凝集试验结合的方法[9]检定菌株血清型别。

1.2.2　药物敏感性试验

根据美国临床与实验室标准化协会(Clinical and Laboratory Standards Institute, CLSI)的推荐, 采用微量肉汤稀释法针对氨苄西林(ampicillin, AMP)、青霉素(penicillin, PEN)、红霉素(erythromycin, ERY)、万古霉素(vancomycin, VAN)、环丙沙星(ciprofloxacin, CIP)、四环素(tetracycline, TET)、氯霉素(chloramphenicol, CAP)、庆大霉素(gentamicin, GEN)进行最低抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)测定。参照 CLSI M45 第 3 版李斯特菌属和芽胞杆菌属节点进行耐药结果判读。金黄色葡萄球菌 ATCC 29213 和肺炎链球菌 ATCC 49619 耐药结果均在质控范围内。

1.2.3　菌膜形成能力测定

采用 96 孔板结晶紫染色法[10]进行菌株菌膜形成能力测定的具体操作如下: 复苏冻存菌株接种于 BHI 固体培养基, 37 ℃培养 18 h; 挑取单个菌落接种于 BHI 液体培养基, 30 ℃ 130 r/min 过夜培养至稳定期; 取 100 μL 菌液加入至 MWB 培养基后充分混匀, 取 200 μL 混合液加入至 96 孔板中(70%乙醇冲洗晾干)37 ℃培养 48 h(以不加菌液的 MWB 为空白对照, 每株菌 3 次生物学重复 4 次技术重复)。培养后的 96 孔板移去培养液, 使用无菌双蒸水清洗 3 次后于室温晾干 45 min, 每孔加 200 μL 1%结晶紫溶液染色 45 min。弃去染色液后使用无菌双蒸水清洗 3 次后自然风干, 每孔加 200 μL 95%乙醇脱色 15 min。每孔取 100 μL 脱色液转移至新的 96 孔板, 酶标仪测定其吸光度值($OD_{595\ nm}$)。以阴性对照平均 $OD_{595\ nm}$ 加上 3 倍的标准差为 ODc 基准, OD<ODc 为不形成菌膜, 1ODc<OD<2ODc 为弱菌膜形成能力, 2ODc<OD<4ODc 为中等菌膜形成能力, OD>4ODc 为强菌膜形成能力。

1.2.4　菌膜形成相关基因测定

针对(*flaA*、*motB*、*luxS*、*agrA*、*sigB*、*degU*、*yneA*、*relA*、*bapL*) 9 种菌膜形成相关基因设计引物[11](表 1), 进行 PCR 扩增。PCR 反应体系(25 μL): Taq PCR Master Mix 12.5 μL, 上、下游引物(10 μmol/L)各 1 μL, DNA 模板 1 μL, 灭菌水 9.5 μL。PCR 反应条件: 预变性 94 ℃, 3 min; 变性 94 ℃、1 min, 退火时间 1 min, 延长 72 ℃, 10 min, 30 个循环; 再延长 72 ℃, 10 min。扩增产物由毛细管凝胶电泳进行分析。

表 1　单增李斯特菌生物膜相关基因扩增条件

Table 1　Amplification conditions for biofilm-related genes of *Listeria monocytogenes*

基因	功能	引物序列(5′-3′)	退火温度/℃	片段大小/bp
flaA	鞭毛合成	F: ATGAAAGTAAATACTAATATCA	51	864
		R: TTAGCTGTTAATTAATTGAGTT		
motB	鞭毛合成	F: GTGGCCAAGCGTCGCAAGA	55	828
		R: CTACTCATCTTCATCAAGCGT		
luxS	群体感应	F: ATGGCAGAAAAAATGAATGTAG	55	468
		R: TTATTCACCAAACACATTTTTCC		
agrA	群体感应	F: ATGCTACCGGTTTTTATTTG	55	729
		R: ATGGCGAAAGAACAAAATCT		
sigB	抗逆反应	F: ATGCCAAAAGTATCTCAACCTG	51	780
		R: TTACTCCACTTCCTCATTCTG		
degU	抗逆反应	F: ATGGCACTCAAAATCATGATTG	52	687
		R: TTAGCGAATGTATACCCAGC		
yneA	抗逆反应	F: TCACTTTAAAATTAATTTGGGAT	54	330
		R: TTACTGATTTGCTAGTTGAATTG		
relA	抗逆反应	F: ATGGCGAAAGAACAAAATCT	50	2217
		R: TTAGTTCATTAATCTTCTCAC		
bapL	表面黏附蛋白	F: TGGTGCTCCATTTGACATTC	52	488
		R: CGTTAATTGGTCCATATTCG		
		R: TTATTCATCATCTAGTAAACTTA		

1.3 数据处理

数据分析使用 SPSS 17.0 统计软件, 组间比较采用 χ^2 检验(必要时使用Fisher确切概率法), $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 血清型别分布

41 株菌株包含 4 种血清型: 1/2a 型 46.34% (19/41)、1/2b 型 29.27% (12/41)、1/2c 型 21.95% (9/41)、4b 型 2.44% (1/41), 优势血清型为 1/2a 型。

2.2 药物敏感性试验结果

41 株菌株 8 种抗生素的最低抑菌浓度(minimal inhibitory concentration, MIC)分布值见表 2。17.07% (7/41)分离株为耐药株: 2.44% (1/41)分离株对 VAN 耐药, 4.88% (2/41)分离株对 PEN、GEN 耐药, 7.32% (3/41)分离株对 TET 耐药, 9.76% (4/41)分离株对 ERY 耐药。其中, 有两株菌对两种抗生素耐药, 一株菌对 4 种抗生素多重耐药。未发现菌株对 AMP、CIP、CAP 耐药。

2.3 菌膜形成能力测定结果

2.3.1 不同血清型菌株菌膜形成能力分布

41 株菌具有生物膜形成能力的占 90.24% (37/41), 其中 70.73% (29/41)菌株为弱菌膜形成能力: 13 株 1/2a、9 株 1/2b、6 株 1/2c、1 株 4b; 14.63% (6/41)菌株为中等菌膜形成能力: 3 株 1/2a、1 株 1/2b, 2 株 1/2c; 4.88% (2/41)菌株为强菌膜形成能力: 1 株 1/2a、1 株 1/2b。无菌膜形成能力菌株仅 9.76% (4/41), 2 株 1/2a、一株 1/2b、一株 1/2c, 结果如图 1、2。

2.3.2 耐药菌株在不同菌膜形成能力菌株中的分布

不同菌膜形成能力菌株的耐药略有不同(表 3)。无菌膜形成能力菌株对 8 种抗生素均敏感。耐药菌株均有菌膜形成能力, 具有不同的菌膜形成能力。弱菌膜形成能力菌株对 PEN、VAN、ERY、TET、GEN 耐药率分别为 3.45% (1/29)、3.45% (1/29)、6.90% (2/29)、6.90% (2/29)、6.90% (2/29); 一菌株对 PEN、ERY、VAN、TET 的 4 重耐药株。中等菌膜形成能力株中存在 2 株(2/6)耐药菌株: 一株对 PEN、ERY 同时耐药; 一株仅对 TET 耐药。强菌膜形成能力株中仅有一株菌(1/2)对 ERY 耐药。

表 2 41 株单增李斯特药物敏感性试验结果汇总

Table 2 Summary of drug susceptibility test results of 41 *Listeria monocytogenes* isolates

抗生素	MIC 分布值对应的菌株数量(*n*)									MIC_{50}[1]	MIC_{90}[2]	耐药菌株	
	32.000	16.000	8.000	4.000	2.000	1.000	0.500	0.250	0.125			数量(*n*)	耐药率/%
AMP	0	0	0	0	4	5	26	4	2	0.50	1.00	0	0.00
PEN	0	0	2	0	0	4	28	7	0	0.50	1.00	2	4.88
ERY	0	0	0	2	2	0	7	30	0	0.25	0.50	4	9.76
VAN	0	0	1	0	37	3	0	0	0	2.00	2.00	1	2.44
CIP	0	0	0	0	9	32	0	0	0	1.00	2.00	0	0.00
TET	0	3	0	4	34	0	0	0	0	2.00	4.00	3	7.32
CAP	0	26	15	0	0	0	0	0	0	16.00	16.00	0	0.00
GEN	0	2	5	0	34	0	0	0	0	2.00	8.00	2	4.88

注: [1]表示抑制 50%菌株的最低抑菌浓度; [2]表示抑制 90%菌株的最低抑菌浓度。MIC 的单位为 μg/mL。

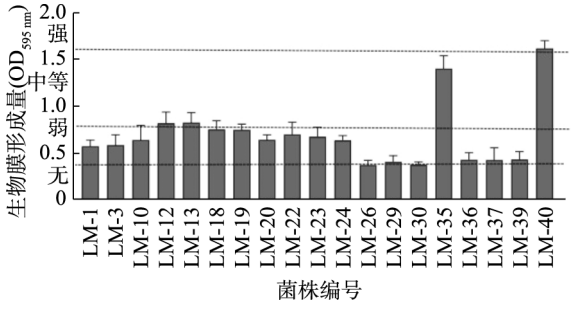


图 1 1/2a 型菌株生物膜形成能力汇总

Fig.1 Summary of biofilm-forming ability of serotype 1/2a strains

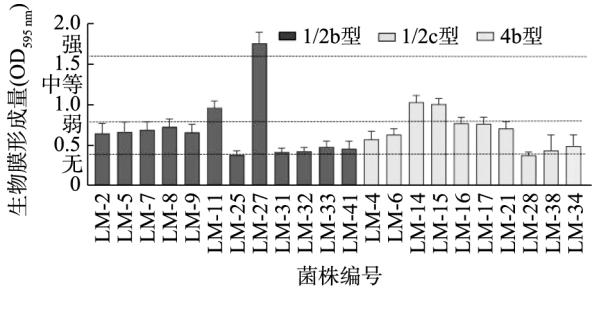


图 2 1/2b、1/2c、4b 型菌株生物膜形成能力汇总

Fig.2 Summary of biofilm-forming ability of serotype 1/2b, 1/2c, 4b strains

表 3　不同菌膜形成能力菌株的耐药菌株分布情况

Table 3　Distribution of drug resistant strains among different biofilm-forming abilities strains

菌膜形成能力	菌株数(占比/%)							
	AMP	PEN	ERY	VAN	CIP	TET	CAP	GEN
无 (n=4)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
弱 (n=29)	0 (0.00)	1 (3.45)	2 (6.9)	1 (3.4)	0 (0.00)	2 (6.90)	0 (0.00)	2 (6.90)
中等 (n=6)	0 (0.00)	1 (16.67)	1 (16.67)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (16.67)	0 (0.00)	0 (0.00)
强 (n=2)	0 (0.00)	0 (0.00)	1 (50.0)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)

2.4　菌膜形成相关基因分布

41 株分离株普遍携带菌膜形成相关基因: *flaA*、*degU*、*motB*、*sigB*、*yneA*、*agrA*、*relA*、*luxS*、*bapL* 携带率分别为 100.00% (41/41)、97.56% (40/41)、97.56% (40/41)、95.12% (39/41)、95.12% (39/41)、92.68% (38/41)、92.68% (38/41)、87.80% (36/41)、41.46% (17/41)。根据对不同生物膜相关基因在不同菌膜形成能力菌株中分布的统计学分析(表 4)发现: 仅 *agrA* 在不同菌膜形成能力菌株中的分布不同(P<0.05), 菌膜形成能力更强的菌株携带率更高。

表 4　不同生物膜相关基因在不同菌膜形成能力菌株中的分布情况

Table 4　Distribution of different biofilm-associated genes in varying biofilm-forming abilities strains

生物膜相关基因	无菌膜形成能力 (n=4)		弱菌膜形成能力 (n=29)		中等菌膜形成能力 (n=6)		强菌膜形成能力 (n=2)		χ^2	P
	阳性菌株	携带率/%	阳性菌株	携带率/%	阳性菌株	携带率/%	阳性菌株	携带率/%		
flaA	4	100.00	29	100.00	6	100.00	2	100.00	-	-
degU	4	100.00	28	96.55	6	100.00	2	100.00	0.424	0.802
relA	4	100.00	27	93.10	5	83.33	2	100.00	1.255	0.416
yneA	4	100.00	27	93.10	6	100.00	2	100.00	0.870	0.676
motB	4	100.00	28	96.55	6	100.00	2	100.00	0.424	0.803
luxS	4	100.00	25	86.21	5	83.33	2	100.00	1.015	0.532
sigB	3	75.00	28	96.55	6	100.00	2	100.00	4.028	0.147
agrA	2	50.00	28	96.55	6	100.00	2	100.00	12.017	0.040
bapL	1	25.00	12	41.38	3	50.00	1	50.00	0.687	0.310

注: -表示该项统计学检验无意义, 未进行 χ^2 检验。

3　讨论与结论

本研究对 2016 年以后北京市朝阳区食品污染物监测数据的分析发现: 即食熟肉制品分离到的单增李斯特菌占据相当一部分比重(分离到 41 株单增李斯特菌)。提示应高度关注即食熟肉制品中单增李斯特菌的污染风险。国家食品安全风险评估中心[12]曾提到熟肉制品可能是我国居民食源性李斯特菌病风险较高的食品类别, 应作为重点食品进行监管。Niu 等[13]开展的中国首例将单增李斯特菌感染患者与疑似食品及其生产环境明确关联的综合性调查, 也明确了即食熟肉制品辣椒酱蒸鸡为其污染源头。单增李斯特菌分为 14 个血清群, 其中 1/2a、1/2b、1/2c 和 4b 型为食品和临床分离菌株的主要血清型[14], 本研究菌株的优势血清型为 1/2a 型。

单增李斯特菌对头孢类抗生素天然耐药, 临床上治疗李斯特菌病的药物以 β-内酰胺类和 GEN 为主, 对青霉素过敏的病例可使用磺胺类、TET 和 ERA[15]。近年来, 单增李斯特菌的耐药性不断加剧, 多重耐药菌株亦逐渐增多。本研究中发现了 7 株耐药株, 其中 ERY、TET 的耐药率比较高。中国一项对食品、牲畜和临床样本单增李斯特菌分离株药物敏感性的研究同样发现: 分离株对 TET 的耐药率最高, 其次为 ERY[16]。耐药菌株的出现, 除受抗生素使用所带来的选择压力影响外, 还与通过水平基因转移获得的可移动遗传元件密切相关[17−18]。

为了适应生存环境, 细菌和其自身分泌的胞外聚合物质可组成具有一定结构的细胞群体即生物膜[19]。黏附在不锈钢、聚丙烯等食品接触表面以营养缺陷型即生物膜形式存在的单增李斯特菌, 可以耐受消毒剂、低温等不利环

境而长时间存活。这易于形成持久性的污染源头，从而给食品安全带来隐患。有研究数据表明: 60%的食物中毒事件与食源性致病菌的菌膜形成有关[20]。本研究中 90.24%的单增李斯特菌具有生物膜形成能力，且不同血清型菌株菌膜形成能力并无差异。

在单增李斯特菌菌膜形成过程中，大量的基因如群体感应、运动和抗逆等相关基因参与其中。本研究选取了上述 3 类中的 9 个基因进行分析发现: 群体感应相关基因 *agrA* 在菌膜形成能力更强的菌株中携带率更高。群体感应系统(quorum sensing, QS)是由特定的信号分子(即自诱导物)实现的细胞与细胞之间的信号交流。当细菌感受到外界不利条件的胁迫，会接收到 QS 系统发出的信号聚集在一起形成生物膜。QS 系统主要有 2 种，肽介导的 *Agr* 系统为其中之一，由编码蛋白质 *AgrA*、*AgrB*、*AgrC*、*AgrD* 的 4 种基因组成。当 *AgrC* 识别自诱导肽后，信号被 *agrA* 编码的转录调节因子 *AgrA* 转导到下游基因。有研究表明, *agrA* 或 *agrD* 缺失的 EGD-e 菌株成膜能力明显下降[21]，与本研究一致。此外，生物膜分泌的胞外聚合物质还可以通过阻止抗生素渗透、延缓抗生素扩散的方式，来助于内部细菌的存活。本研究中的耐药株仅存在于有菌膜形成能力的菌株。

本研究对北京市朝阳区即食熟肉制品中单增李斯特菌分离株的耐药和生物膜形成能力进行了研究发现，污染菌株普遍具有菌膜形成能力且耐药菌株均有菌膜形成能力。由于菌膜不仅能够形成物理阻隔屏障，阻碍抗菌药物、消毒试剂接触菌体作用靶点，大幅削弱抑菌杀菌效果；而且菌膜内部缺氧、营养贫瘠的特殊微环境，会促使细菌进入低速生长乃至休眠状态，大幅规避抗菌药物、消毒试剂对繁殖期菌体的杀伤作用[22–25]。耐药菌株还可依托强大的菌膜附着特性长期定植于器械表面、环境台面、管道水体等各类介质中，常规清洁消毒手段难以将其彻底清除，从而形成持续性隐性污染源[26–30]。但是本研究仅包含 41 株单增李斯特菌，后续会在此次研究基础上针对即食熟肉制品开展专项调查、进一步深入开展研究。此外，研制新型抗菌药物和研究彻底清除生物膜的手段对控制单增李斯特菌食源性污染同样具有重要意义。

参考文献

[1] 张晓媛, 刘玉竹, 张鹏航, 等. 2019 年北京市食源性单增李斯特菌的分子特征和耐药性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9343–9348.
Zhang Xiaoai, Liu Yuzhu, Zhang Penghang, et al. Molecular characteristics and drug resistance of foodborne *Listeria monocytogenes* in Beijing in 2019 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(24): 9343–9348.

[2] Zhang Xin, Wang Shouwei, Chen Xi, et al. Review controlling *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meat and poultry products: an overview of outbreaks, current legislations, challenges, and future prospects [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 116: 24–35.

[3] European Food Safety Authority (EFSA) and European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). The European union one health 2024 zoonoses report [J]. EFSA Journal, 2025, 23(12): e9759.

[4] Tanui C K, Benefo E O, Karanth S, et al. A machine learning model for food source attribution of *Listeria monocytogenes* [J]. Pathogens, 2022, 11(6): 691.

[5] Filipello V, Mughini-Gras L, Gallina S, et al. Attribution of *Listeria monocytogenes* human infections to food and animal sources in Northern Italy [J]. Food Microbiology, 2020, 89: 103433.

[6] 美国疾病控制与预防中心. *Listeria* outbreaks [DB/OL]. [2026-03-03]. https: //www. cdc. gov/listeria/outbreaks/index. html.
Centers for Disease Control and Prevention. *Listeria* outbreaks [DB/OL]. [2026-03-03]. https: //www. cdc. gov/listeria/outbreaks/index. html.

[7] 刘肖, 孙宏虎, 刘丽莎, 等. 成都市预包装即食冷藏熟肉制品中单核细胞增生李斯特氏菌污染特征和致病潜力研究[J]. 中华预防医学杂志, 2025, 59(4): 443–450.
Liu Xiao, Sun Honghu, Liu Lisha, et al. Analysis of the contamination characteristics and pathogenic potential of *Listeria monocytogenes* in pre-packaged and refrigerated ready-to-eat cooked meat products in Chengdu City [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2025, 59(4): 443–450.

[8] 刘肖, 孙宏虎, 王翔, 等. 成都市预包装非真空冷藏即食熟肉制品中单核细胞增生李斯特菌定量风险评估[J]. 四川大学学报(医学版), 2025, 56(1): 239–246.
Liu Xiao, Sun Honghu, Wang Xiang, et al. Quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in prepackaged, non-vacuum sealed, refrigerated ready-to-eat cooked meat products in Chengdu [J]. Journal of Sichuan University (Medical Sciences), 2025, 56(1): 239–246.

[9] 郝民, 阮明捷, 王恒伟, 等. 北京市朝阳区单核细胞增生李斯特菌关键毒力基因缺失与致病性关联性研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 75–81.
Hao Min, Ruan Mingjie, Wang Hengwei, et al. Study of association between deletion of key virulence genes and pathogenicity of *Listeria monocytogenes* in Chaoyang District of Beijing [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2022, 34(1): 75–81.

[10] 王静, 周昌艳, 陈秀金, 等. 生鲜畜禽肉来源单核细胞性李斯特菌的基因组特征及其菌膜形成能力分析[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 142–149.
Wang Jing, Zhou Changyan, Chen Xiujin, et al. Genome characteristics and biofilm formation ability of *Listeria monocytogenes* from fresh livestock and poultry meat [J]. Food Science, 2023, 44(10): 142–149.

[11] 叶正兴, 王艳, 李培京, 等. 单增李斯特菌 1/2a 血清型菌株生物膜形成能力及相关基因差异研究[J]. 中国人兽共患病学报, 2013, 29(4): 354–360, 008.
Ye Zhengxing, Wang Yan, Li Peijing, et al. Biofilm formation of *Listeria monocytogenes* serotype 1/2a strains and the diversity in correlated genes [J]. Chinese Journal of Zoonoses, 2013, 29(4): 354–360, 008.

[12] 国家食品安全风险评估专家委员会. 熟肉制品中单核细胞增生李斯特菌初步定量风险评估(摘要)[R/OL]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2022-11-16. https: //www. cfsa. net. cn/fxpg/fxpgbg/wsw/index. shtml.
National Expert Committee on Food Safety Risk Assessment. Preliminary quantitative risk assessment of *Listeria monocytogenes* in cooked meat products (abstract) [R/OL]. Beijing: China National Center for Food Safety Risk Assessment, 2022-11-16. https://www.cfsa.net. cn/fxpg/

fxpgbg/wsw/index. shtml.

[13] Niu Yanlin, Wang Chao, Liu Yuzhu, et al. Pre-packaged cold-chain ready-to-eat food as a source of sporadic listeriosis in Beijing, China [J]. Journal of Infection, 2024, 89(4): 106254.

[14] 宋泽萱, 纪顺师, 王艳, 等. 中国单增李斯特菌的基因组特征研究[J]. 中国人兽共患病学报, 2021, 37(5): 379–386.
Song Zexuan, Ji Shunshi, Wang Yan, et al. Genomic characterization analysis of *Listeria monocytogenes* strains in China [J]. Chinese Journal of Zoonoses, 2021, 37(5): 379–386.

[15] 汪忆梦, 于明明, 刘德辉, 等. 2020—2023 年潍坊市畜禽肉和临床样本中单增李斯特菌的遗传多样性、毒力因子和抗生素耐药性研究[J]. 中国人兽共患病学报, 2025, 41(6): 629–635.
Wang Yimeng, Yu Mingming, Liu Dehui, et al. Genetic diversity, virulence factors, and antibiotic resistance of *Listeria monocytogenes* from livestock and poultry meat and clinical samples in Weifang during 2020—2023 [J]. Chinese Journal of Zoonoses, 2025, 41(6): 629–635.

[16] Anwar T M, Pan Hang, Chai Wenqin, et al. Genetic diversity, virulence factors, and antimicrobial resistance of *Listeria monocytogenes* from food, livestock, and clinical samples between 2002 and 2019 in China [J]. International Journal of Food Microbiology, 2022, 366: 109572.

[17] Chakraborty S, Nandi S, Das S, et al. *Listeria monocytogenes* virulence, antimicrobial resistance and environmental persistence: a review [J]. Pathogens, 2020, 9(8): 628.

[18] Veenhuizen J, Waller J L, Korir G, et al. Evidence of horizontal gene transfer and environmental selection impacting antibiotic resistance evolution in soil-dwelling *Listeria* [J]. Microorganisms, 2024, 12(5): 947.

[19] 胡丽丽, 董庆利, 夏阳, 等. 单增李斯特菌生物膜形成及其调控机制研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 276–282.
Hu Lili, Dong Qingli, Xia Yang, et al. Advances on the formation and regulation mechanism of *Listeria monocytogenes* biofilm [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 276–282.

[20] 王静, 周昌艳, 陈秀金, 等. 生鲜畜禽肉来源单核细胞性李斯特菌的基因组特征及其菌膜形成能力分析[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 142–149.
Wang Jing, Zhou Changyan, Chen Xiujin, et al. Genome characteristics and biofilm formation ability of *Listeria monocytogenes* from fresh livestock and poultry meat [J]. Food Science, 2023, 44(10): 142–149.

[21] 刘昀阁, 罗欣, 董鹏程, 等. 基于群体感应的单增李斯特菌生物膜形成与控制研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 303–310.
Liu Yunge, Luo Xin, Dong Pengcheng, et al. Biofilm formation and control of *Listeria monocytogenes* based on quorum sensing: a review [J]. Food Science, 2019, 40(21): 303–310.

[22] Elbehiry A, Marzouk E. Stress-driven tolerance and persistence of Listeria monocytogenes across the farm-to-fork continuum [J]. Biology, 2026, 15(4): 310.

[23] Byun K H, Kim H J. Survival strategies of Listeria monocytogenes to environmental hostile stress: biofilm formation and stress responses [J]. Archives of Microbiology, 2023, 205(11): 385.

[24] Singh S, Singh S K, Chowdhury I, et al. Recent advances in anti-biofilm strategies to combat antimicrobial resistance [J]. Antibiotics, 2021, 10(11): 1312.

[25] Charron R, Boulanger M, Briandet R, et al. Biofilms as protective cocoons against biocides: from bacterial adaptation to One Health issues [J]. Microbial Biotechnology, 2023, 16(7): 1301–1322.

[26] 王帆, 冯洪燕, 张亚新, 等. 高功率脉冲微波对单增李斯特菌生物膜抑制作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(18): 120–125.
Wang Fan, Feng Hongyan, Zhang Yaxin, et al. Inhibitory effects of high power pulsed microwave on biofilm-forming of *Listeria monocytogenes* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(18): 120–125.

[27] Behnke A, Hahn S, Fischer A, et al. Stress-driven tolerance and persistence of Listeria monocytogenes across the farm-to-fork continuum [J]. Biology, 2025, 15(2): 310.

[28] Rincón-Gamboa J, Gómez-Gutiérrez C, López-Garzón J, et al. Persistence of *Listeria monocytogenes*: an integrative narrative review [J]. Frontiers in Microbiology, 2026, 17: 1721836.

[29] Møretrø T, Langsrud S. *Listeria monocytogenes* biofilms in food-associated environments: a persistent enigma [J]. Microorganisms, 2023, 11(10): 2492.

[30] Gómez D, Rodríguez-Lazaro D, Carrasco E, et al. Genetic diversity, biofilm formation, and antibiotic resistance in *Listeria monocytogenes* isolated from meat-processing plants [J]. Foods, 2023, 12(14): 2674.

(责任编辑: 韩晓红　蔡世佳)