DOI:10.12441/spyswjs.20241217002 [文章编号] 1673-1689(2025)12-0118-08

快速测试片法在冷鲜肉微生物定量检测中的应用

张艳珍[1,2] 刘 宁[3] 王 伟[3] 姚现琦[3] 倪来学[3] 刘云国[1*]

(1. 临沂大学生命科学学院,山东 临沂 276005; 2. 水原大学生命技术学院,韩国 京畿道 水原 18323; 3. 新程金锣肉制品集团有限公司,山东 临沂 276036)

摘要:【目的】旨在评估快速测试片法用于冷鲜肉中微生物质量控制中的关键检测指标菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群检测的可行性。**【方法】**采用重复性试验验证快速测试片的性能,并以国家标准中平板计数法为对照进行方法比对。采用*t*检验评估2种方法检测结果的显著性,并通过线性回归分析其相关性。**【结果】**快速测试片法的重复性偏差$r \leqslant 0.25$,符合ISO 4833—1:2013的要求,与平板计数法的检测结果无显著性差异,两者呈高度正相关。**【结论】**快速测试片法具备良好的重复性与准确性,可用于冷鲜肉中菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群的快速检测,为冷鲜肉的微生物安全监测提供技术支持。

关键词:冷鲜肉;快速测试片法;菌落总数;大肠杆菌/大肠菌群

Application of a Rapid Test Strip Method in Quantitative Detection of Microorganisms in Chilled Meat

ZHANG Yanzhen[1,2] *LIU Ning*[3] *WANG Wei*[3] *YAO Xianqi*[3] *NI Laixue*[3] *LIU Yunguo*[1*]

(1. College of Life Sciences, Linyi University, Linyi 276005, China; 2. Department of Biotechnology, The University of Suwon, Suwon 18323, South Korea; 3. Xincheng Jinluo Meat Products Group Co., Ltd., Linyi 276036, China)

Abstract: [**Objective**] This study aims to evaluate the feasibility of using the rapid test strip method for detecting key microbial quality control indicators in chilled meat, specifically the total plate count and *Escherichia coli*/coliforms. [**Method**] The performance of the rapid test strip method was assessed through repeatability tests, and the national standard plate count method was used as the reference for method comparison. Statistical significance of the quantification results was analyzed by a *t*-test, and linear regression was adopted to analyze the correlation. [**Result**] The repeatability deviation of the rapid test strip method ($r \leqslant 0.25$) met the requirements of ISO 4833—1:2013. No significant difference was observed between the results of the rapid test strip method and the plate count method, and the results of the two methods demonstrated a positive correlation. [**Conclusion**] The rapid test strip method demonstrates good repeatability and accuracy, and thus it can be used for the rapid quantification of the total plate count and *Escherichia coli*/coliforms in chilled meat, providing technical support for microbial safety monitoring in chilled meat.

Keywords: chilled meat; rapid test stripe method; total plate count; *Escherichia coli*/coliforms

冷鲜肉又称冷却肉,是指在低于0 ℃环境下,将肉中心温度降至0~4 ℃,而不产生冰晶的肉类[1]。因肉质鲜嫩、营养价值高,冷鲜肉逐渐成为我国肉类消费的主要选择之一[2]。然而,在生产、加工、运输及零售环节中,冷鲜肉易受环境微生物污染,导致腐败变质,甚至引发食品安全问题[3-4]。因此,快速、准确地检测冷鲜肉中的微生物污染状况至关重要。

基金项目:中央引导地方科技发展资金项目(YDZX2023081);海关总署科研项目(2024HK014)。

通信作者:刘云国(1977—),男,博士,教授,博士研究生导师,主要从事食品微生物研究。E-mail: yguoliu@163.com

收稿日期:2024-12-17 **修回日期:**2025-02-15

微生物菌落总数和大肠菌群（包括大肠杆菌）是评价冷鲜肉质量安全的关键指标，分别用于反映其污染程度[5]和粪便污染风险[6]。食品中菌落总数的检测主要参照国家标准GB 4789.2—2022规定的平板计数法[7]；大肠杆菌和大肠菌群的检测分别依据GB 4789.38—2025和GB 4789.3—2025，采用MPN法或平板计数法[8-9]。这些方法主要依赖培养基中的细菌增殖与菌落形成，虽结果可靠，但存在操作流程烦琐、检测周期长等局限，难以满足大批量样品的快速筛查需求。此外，MPN法在面对高强度检测任务时易引发交叉污染；而基于大肠杆菌葡萄糖醛苷酶分解4-甲基伞形酮-*β*-*D*-葡萄糖苷酸（MUG）底物产生荧光的平板计数法，虽较MPN法操作简便，但其荧光反应易受外界因素干扰[6]。对于大肠菌群的检测，通常使用结晶紫中性红胆盐琼脂培养基进行初筛，随后挑取典型及可疑菌落进行验证，此过程检测周期长，且可疑菌落的甄别难度大，对于产气能力较弱的菌株检出率偏低[10]。因此，开发并应用快速、可靠的微生物检测方法，对于保障冷鲜肉的质量安全具有重要意义。

快速测试片作为一种高效的检测技术，已在食品微生物检测领域得到广泛应用[11-14]。该方法采用标准化的预制培养基和特异性指示剂，通过显色反应增强目标微生物的识别与计数效果。与传统平板计数法相比，其操作简便，检测周期可缩短至24 h，显著提升了检测效率[15]；与分子生物学方法相比，无需依赖昂贵的仪器和专业操作人员，展现出成本优势，更符合企业生产的实际需求。多项研究已验证了该方法的准确性和可靠性。例如，赵立冬等[16]研究发现，在检测熟肉及人工污染熟肉样品的菌落总数时，快速测试片法与国家标准法检测结果具有高度一致性，相关系数分别达到0.897和0.964。Bird等[17]评估了Petrifilm™大肠杆菌/大肠菌群测试片，发现其操作简便、检测快速，且结果与传统方法一致性良好，符合AOAC认证标准。池福敏等[18]的研究也表明，快速测试片法与平板计数法在检测西藏牦牛乳制品中菌落总数和大肠菌群时，结果无显著差异，证明其适用于该类特色产品的微生物快速筛查。此外，该技术已被应用于多种食品基质中单核细胞增生李斯特菌[19]、沙门氏菌[20]、金黄色葡萄球菌[21]、霉菌和酵母[22]的检测，其结果均与平板计数法无显著差异，展现出广泛的适用性。然而，关于快速测试片法在冷鲜肉方面的应用研究与评估报道相对较少。

作者评估了快速测试片法的重复性，并分别采用快速测试片法与平板计数法，对冷鲜肉中的菌落总数和大肠杆菌/大肠菌群进行检测与对比分析，旨在明确2种方法检测结果的一致性，进而验证快速测试片法应用于冷鲜肉微生物检测的可行性，以期为冷鲜肉的微生物安全监测提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷鲜猪肉：新程金锣肉制品集团有限公司，依据GB 4789.17—2024[23]，选取屠宰后冷却24 h的猪里脊肉18份，于1 h内运抵实验室。

平板计数琼脂培养基：北京陆桥技术股份有限公司；大肠杆菌/大肠菌群显色培养基：青岛高科技工业园海博生物技术有限公司；Petrifilm™快速菌落总数测试片、大肠杆菌/大肠菌群测试片：3M中国有限公司。

1.2 仪器与设备

电子分析天平：BSA224S型，赛多利斯科学仪器（北京）有限公司；拍击式均质器：BL-250型，上海比朗仪器有限公司；恒温振荡器：WSZ-100A型，上海一恒科学仪器有限公司；超净工作台：SW-CJ型，苏州安泰空气技术有限公司；立式压力蒸汽灭菌器：YXQ-LS型，上海博迅医疗生物仪器股份有限公司；电热恒温培养箱：DHG-9140A型，上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 样品溶液配制

试验流程见图1。参照GB 4789.2—2022固体和半固体样品的稀释方法[7]，制成1×10^{-1}稀释度样品匀液。用无菌吸管吸取1 mL上述稀释度样品匀液，缓慢注入盛有9 mL无菌生理盐水的无菌试管中，振荡混匀，按此方法依次进行10倍系列稀释，每次稀释更换无菌吸管。

1.4 重复性试验

参照ISO 4833—1：2013标准中关于方法准确度的要求[24]，对快速测试片法的重复性进行考察。由相同检验人员，在短时间内使用相同场地、设备

和方法，对同一份样品进行 2 次独立的检测。通过计算 2 次检测所得菌落总数对数值间的绝对偏差（r）来评估重复性。若 r≤0.25，则判定该方法满足标准的重复性要求。分别按照菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群测试片方法进行上述重复性测试与结果判定。

1.5 菌落总数测定

平板计数法参照 GB 4789.2—2022 测定方法[7]，快速测试片法参照相应说明书操作。选取 1×10^{-1}、1×10^{-2} 和 1×10^{-3} 稀释度样品匀液进行检测。每个样品各稀释度均设置 2 个平行。同时，以 1 mL 无菌生理盐水按相同方法分别加入 2 张测试片中，作为空白对照，如图 1 所示。将所有测试片透明面朝上置于恒温培养箱中，于（36±1）℃条件下培养（24±2）h 后进行菌落计数。记录各稀释度的菌落数，结果以菌落形成单位（colony forming unit，CFU）表示，其数值记为 N/（CFU/g）。对 N 取以 10 为底的常用对数，得到 lg N。

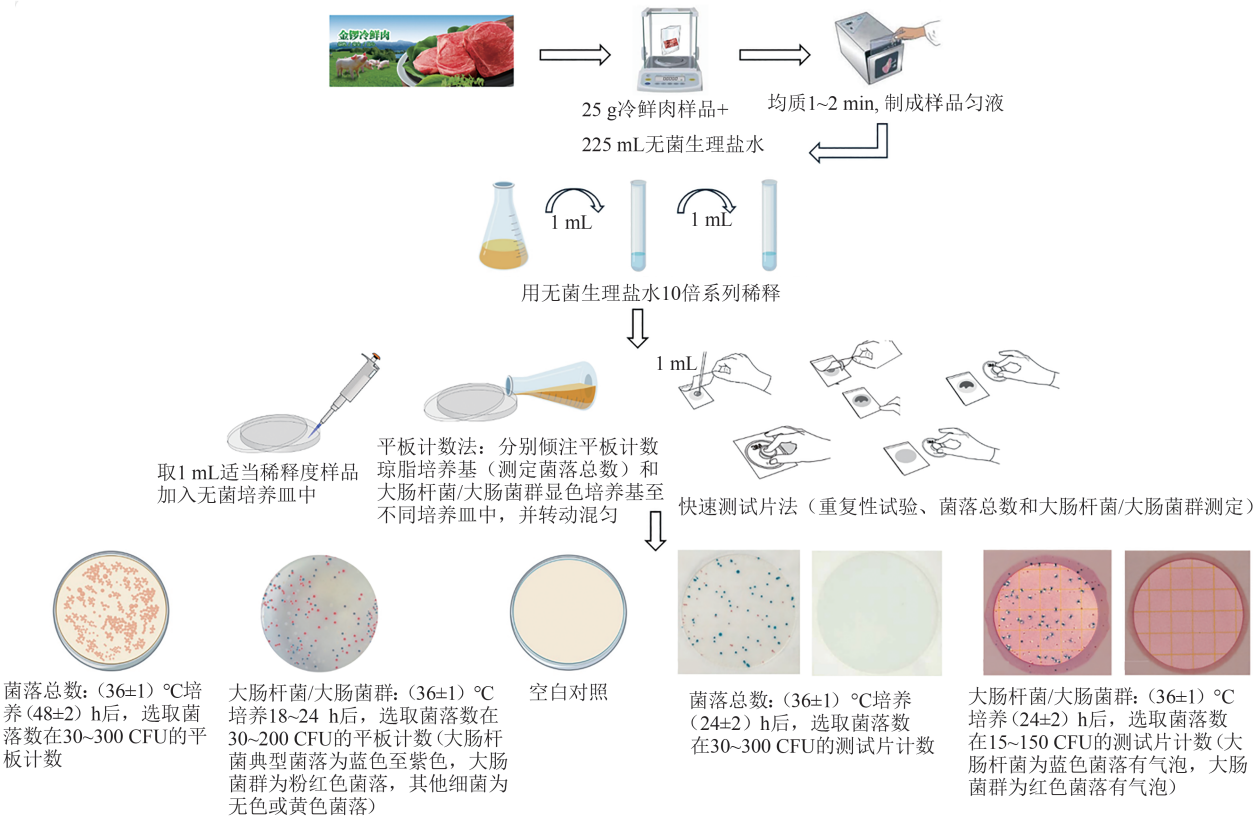


图 1 冷鲜肉中菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群检测流程图

Fig. 1 Flowchart for quantification of total plate count and *Escherichia coli*/coliforms in chilled meat

1.6 大肠杆菌/大肠菌群测定

平板计数法参照 GB 4789.38—2025[8] 和 GB 4789.3—2025[9] 相关方法进行适当调整，使用大肠杆菌/大肠菌群显色培养基进行测定。选取 1×10^{-1}、1×10^{-2} 和 1×10^{-3} 稀释度样品匀液，吸取 1 mL 转移至无菌培养皿中，每个样品各稀释度均设置 2 个平行；同时以 1 mL 无菌生理盐水作为空白对照。随即倾注 10~15 mL 冷却至 45~50 ℃的大肠杆菌/大肠菌群显色培养基，旋转平皿使样液与培养基混匀。待琼脂凝固后，再覆盖层相同培养基。凝固后，将平板倒置于恒温培养箱，于（36±1）℃条件下培养 18~24 h 后计数。快速测试片法参照相应测试片说明书进行操作。

1.7 数据处理

为比较快速测试片法与平板计数法的检测结果，将菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群的计数结果转换为常用对数值。采用配对 t 检验分析 2 种方法测定结果间的差异，P<0.05 表示差异显著。对 2 种方法所得结果进行 Pearson 相关性分析。

2　结果与讨论

2.1　快速测试片的重复性

重复性试验参照ISO 4833—1:2013对准确度重复性的要求进行[24]，结果见表1。菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群测试片的2次测试结果均在可接受范围内。因此，可以认定所用快速测试片的重复性符合要求，重复性良好。

表1　菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群快速测试片重复性检测

Table 1　Repeatability of the rapid test strip method in quantification of total plate count and *Escherichia coli*/coliforms

样品编号	菌落总数/(CFU/g)		可接受限值/(CFU/g)		大肠杆菌/大肠菌群/(CFU/g)		可接受限值/(CFU/g)		结果判定
	第1次	第2次	低限	高限	第1次	第2次	低限	高限	
1	1 950	2 130	1 097	3 468	820	770	461	1 458	符合
2	1 020	1 150	574	1 814	120	140	67	213	符合
3	1 430	1 600	804	2 543	410	360	231	729	符合
4	4 700	5 200	2 643	8 358	370	390	208	658	符合
5	320	450	180	569	210	240	118	373	符合
6	5 300	6 100	2 980	9 425	280	320	157	498	符合
7	1 890	2 030	1 063	3 361	530	550	298	942	符合
8	690	640	388	1 227	320	340	180	569	符合
9	1 280	1 350	720	2 276	470	450	264	836	符合
10	1 320	1 260	742	2 347	560	630	315	996	符合
11	560	580	315	996	1 130	1 240	635	2 009	符合
12	1 540	1 620	866	2 739	700	750	394	1 245	符合
13	2 010	1 930	1 130	3 574	1 280	1 360	720	2 276	符合
14	2 190	1 950	1 232	3 894	1 090	1 120	613	1 938	符合
15	1 840	1 730	1 035	3 272	1 480	1 530	832	2 632	符合
16	730	680	411	1 298	390	430	219	694	符合
17	2 570	2 530	1 445	4 570	560	610	315	996	符合
18	1 330	1 470	748	2 365	1 060	980	596	1 885	符合

注：大肠杆菌未检出，表中仅显示大肠菌群结果。

2.2　快速测试片法与平板计数法检测菌落总数的结果比较

由表2可知，快速测试片法与平板计数法对冷鲜肉样品菌落总数的检测结果相比，对数值差值绝对值$|d\lg N|$的平均值为0.064，满足$|d\lg N|<0.25$的要求[25]，表明2种方法间的比对偏差在可接受范围内。t检验结果进一步显示，2种方法检测菌落总数的结果无显著差异（$t=-0.280\ 8$，$P>0.05$），这与其他研究结果一致[16,18]。不同冷鲜肉样品间的测定结果存在一定差异，这可能源于各批次样品初始微生物负载不同。

将所有菌落总数检测数据进行对数转换后，以快速测试片法计数结果对数值为横坐标，平板计数法计数结果对数值为纵坐标，绘制散点图并进行线性回归拟合，见图2。所得回归方程为$y=0.981\ 4x+0.131\ 3$，$R^2=0.998\ 5$，表明2种方法对菌落总数的检测结果呈正相关，一致性良好。随着冷鲜肉需求的持续增长，快速评估其微生物污染状况尤为重要。菌落总数的增加与颜色变化、异味生成等冷鲜肉品质下降表现显著相关[26]。平板计数法虽可靠性且标准化程度高，但存在检测周期长（通常需48 h以上）、操作烦琐等局限，难以满足流通环节中冷鲜肉微生物污染水平的快速评估需求[15]。而快速测试片法仅需24 h即可获得检测结果，其与平板计数法的结果无显著差异且呈正相关。因此，在实际生产和监管中，可作为平板计数法的有效替代方法，为快速判定冷鲜肉是否符合食品安全标准提供支持。

2.3　快速测试片法与平板计数法检测大肠杆菌/大肠菌群的结果比较

快速测试片法和平板计数法对冷鲜肉样品大肠杆菌/大肠菌群的检测结果如表3所示，$|d\lg N|$的

表 2 菌落总数快速测试片法与平板计数法对冷鲜肉样品检验结果的比较

Table 2 Comparison of total plate counts obtained by the rapid test strip method and the plate count method in chilled meat

样品	快速测试片法		平板计数法		$d$lg N
	计数结果/(CFU/g)	lg N	计数结果/(CFU/g)	lg N	
1	29 500	4.47	36 000	4.56	−0.09
2	1 020	3.01	1 190	3.08	−0.07
3	1 980	3.30	2 500	3.40	−0.10
4	47 000	4.67	54 000	4.73	−0.06
5	290	2.46	350	2.54	−0.08
6	7 400	3.87	8 000	3.90	−0.03
7	18 900	4.28	21 500	4.33	−0.05
8	6 900	3.84	7 600	3.88	−0.04
9	12 800	4.11	14 500	4.16	−0.05
10	1 120	3.05	1 310	3.12	−0.07
11	560	2.75	610	2.79	−0.04
12	520	2.72	650	2.81	−0.09
13	2 010	3.30	2 500	3.40	−0.10
14	2 390	3.38	2 700	3.43	−0.05
15	1 480	3.17	2 010	3.30	−0.13
16	18 900	4.28	20 300	4.31	−0.03
17	25 700	4.41	28 300	4.45	−0.04
18	15 300	4.18	16 200	4.21	−0.03

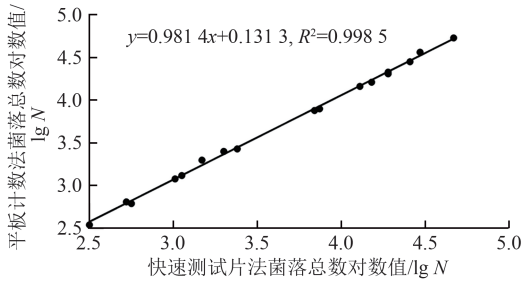


图 2 测试片法与平板计数法检测冷鲜肉菌落总数的相关性分析

Fig. 2 Correlation between the rapid test strip method and the plate count method for the quantification of total plate count in chilled meat

平均值为 0.082，满足|$d$lg N|<0.25 的要求，表明 2 种方法间的比对偏差在可接受范围内。t 检验结果表明，2 种方法检测大肠杆菌/大肠菌群的结果无显著差异（t=−0.276 3，P>0.05），该结果与之前研究报道一致[17]。不同冷鲜肉样品间的大肠杆菌/大肠菌群测定结果存在一定差异，这可能与各批次样品初始微生物负载差异有关，但同批次冷鲜肉样品中的菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群的检测结果之间并无直接关联。

将检测数据对数转换后，以快速测试片法计数结果的对数值为横坐标，平板计数法计数结果的对数值为纵坐标，绘制散点图并进行线性回归拟合，见图 3。所得回归方程为 y=0.927 3x+0.288 7，R^2=0.996 9，表明 2 种方法检测大肠菌群的结果呈正相关，且一致性良好。

使用快速测试片法和平板计数法均未在冷鲜肉样品中检测到大肠杆菌。由于本研究所用样品主要取自冷鲜肉样品的深层组织，这可能是导致大肠杆菌未检测出的主要原因。该结果与既往研究报道相符，即包括鲜肉、冷藏肉和冷冻肉等的肉类表层样品在屠宰、贮藏和运输过程中易受到外界环境污染，故大肠杆菌检出率较高；而深层组织样品因不易受污染，且健康动物的深层组织通常处于无菌状态，因此大肠杆菌的检出量通常低于 10 CFU/g[27]。此外，不同研究采用的检测方法在灵敏度上可能存在差异，有待后续研究进一步探讨。未检出大肠杆菌并不等同于污染风险较低，这可能与其在冷藏、冷冻等环境胁迫下进入低活性状态有关。本研究采用的复合显色培养基可同步检测大肠杆菌/大肠菌群，其原理基于目标菌的特异性酶

表 3　大肠杆菌/大肠菌群测试片法与平板计数法对冷鲜肉样品检验结果的比较

Table 3　Comparison of *Escherichia coli*/coliforms results obtained by the rapid test strip method and the plate count method in chilled meat

样品编号	快速测试片法		平板计数法		$d\lg N$
	计数结果/(CFU/g)	$\lg N$	计数结果/(CFU/g)	$\lg N$	
1	870	2.94	1 050	3.02	−0.08
2	10	1.00	20	1.30	−0.30
3	360	2.56	410	2.60	−0.04
4	2 720	3.43	2 930	3.25	−0.04
5	20	1.30	30	1.48	−0.18
6	520	2.72	780	2.89	−0.17
7	970	2.99	1 110	3.05	−0.06
8	890	2.95	1 000	3.00	−0.05
9	70	1.85	90	1.95	−0.10
10	860	2.93	890	2.95	−0.02
11	1 530	3.18	1 860	3.27	−0.09
12	500	2.70	570	2.76	−0.06
13	1 280	3.11	1 490	3.17	−0.06
14	1 090	3.04	1 300	3.11	−0.07
15	1 480	3.17	1 650	3.22	−0.05
16	3 900	3.59	4 300	3.63	−0.04
17	5 700	3.76	6 100	3.79	−0.03
18	11 600	4.06	12 400	4.09	−0.03

注：大肠杆菌未检出，表中仅显示大肠菌群结果。

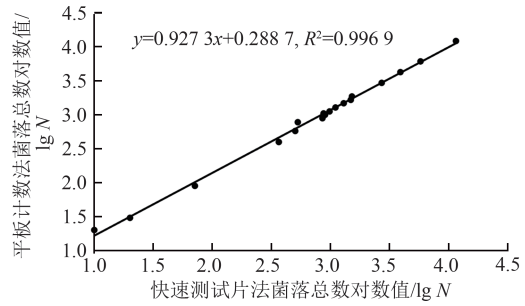


图 3　快速测试片法与平板计数法检测冷鲜肉样品大肠杆菌/大肠菌群检验结果的相关性

Fig. 3　Correlation between the rapid test strip method and the plate count method for quantification of *E. coli*/coliforms in chilled meat

促反应，通过显色差异在同一个培养基上区分大肠杆菌与其他大肠菌群。与 MPN 法和 VRBA 平板计数法相比，该方法大幅缩短了检测时间，显色结果判读更直观，且无需后续验证步骤，适用于快速筛查[28-29]。然而，该方法的检测机制依赖于目标菌的代谢活性，若菌体复苏不充分或显色反应受限，可能影响其对低活性菌株的检测灵敏度和准确性。此外，在不同食品基质中，复合显色培养基对高浓度样品的检测效果良好，但对低浓度样品的灵敏度受前处理和培养条件的影响较大[30]。为更全面地评估冷鲜肉中的微生物污染水平，后续研究可考虑扩大样品来源、种类和数量[31]，优化显色培养基的配方和培养条件[32]，或结合分子生物学方法进行验证[33]，以提高对低活性微生物的检出能力，为冷鲜肉安全风险评估提供更充分的科学依据。

3　结论

本研究通过比较快速测试片法与平板计数法对冷鲜肉样品的检测效果，评估了快速测试片法在菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群检测中的适应性。重复性试验表明，快速测试片法的重复性符合方法学要求。统计分析显示，快速测试片法与平板计数法的检测结果无显著差异且高度正相关，验证了快速测试片法用于冷鲜肉微生物检测的准确性和可靠性。与平板计数法相比，快速测试片在检测效率和操作简便性方面优势显著，适

用于冷鲜肉中菌落总数、大肠杆菌/大肠菌群的快速筛查。目前，针对快速测试片法在冷鲜肉，特别是在不同品类冷鲜肉样品中的适用性和特异性的研究较少，今后需开展更大样本量的验证，优化检测流程，并探索其在冷鲜肉腐败微生物监测中的潜在应用。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 肉与肉制品术语：GB/T 19480—2009[S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[2] 赵钜阳，徐帆. 冻藏时间对生、熟猪肉品质的影响[J]. 食品与生物技术学报，2020，39(10)：98-103.
ZHAO J Y，XU F. Effect of frozen storage time on raw and cooked pork quality[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2020，39(10)：98-103.(in Chinese)

[3] ODEYEMI O A，ALEGBELEYE O O，STRATEVA M，et al. Understanding spoilage microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety，2020，19(2)：311-331.

[4] SHAO L T，CHEN S S，WANG H D，et al. Advances in understanding the predominance，phenotypes，and mechanisms of bacteria related to meat spoilage[J]. Trends in Food Science & Technology，2021，118：822-832.

[5] ALSHEJARI A，KODOGIANNIS V S，LEONIDIS S. Combining feature selection techniques and neurofuzzy systems for the prediction of total viable counts in beef fillets using multispectral imaging[J]. Sensors，2023，23(23)：9451.

[6] 王杰伟，孙万东，吴艳辉，等. 乳糖胆盐体系大肠菌群测试片的研制及性能验证[J]. 食品与发酵工业，2024，50(6)：267-273.
WANG J W，SUN W D，WU Y H，et al. Development and performance verification of a coliform test strip based on lactose bile salt system[J]. Food and Fermentation Industries，2024，50(6)：267-273.(in Chinese)

[7] 中华人民共和国国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定：GB 4789.2—2022[S]. 北京：中国标准出版社，2022.

[8] 中华人民共和国国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠埃希氏菌计数：GB 4789.38—2025[S]. 北京：中国标准出版社，2025.

[9] 中华人民共和国国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数：GB 4789.3—2025[S]. 北京：中国标准出版社，2025.

[10] 许金榜. VRBA 和 3M Petrifilm™ 快速测试片定量检测大肠菌群的性能比较研究[J]. 质量技术监督研究，2021(1)：17-22.
XU J B. Comparative study of performance of violet red bile agar (VRBA) and 3M Petrifilm™ coliform rapid test strip on quantitative detection of coliforms[J]. Quality and Technical Supervision Research，2021(1)：17-22.(in Chinese)

[11] MFILINGE I，MWEGA E，CHOVE L，et al. Detection of bacteria contaminating milk and milk products in Tanzania by conventional and rapid methods[J]. International Journal of Microbiology and Biotechnology，2023，8(4)：87-93.

[12] SCHUMACHER A J，LINGLE C K，SILBERNAGEL K M，et al. Validation of the 3M™ Petrifilm™ coliform count plate for enumeration of coliforms in bottled water：AOAC performance tested method℠ 082101[J]. Journal of AOAC International，2022，105(3)：866-875.

[13] NERO L A，DE FREITAS C F，CARVALHO L M V F，et al. 3M Petrifilm lactic acid bacteria count plate is a reliable tool for enumerating lactic acid bacteria in bacon[J]. Journal of Food Protection，2020，83(10)：1757-1763.

[14] MARQUIS G E，COVAIA S M，TABB A M，et al. Microbiological safety and quality of ceviche，poke，and sushi dishes sold at retail outlets in Orange County，CA[J]. Heliyon，2023，9(6)：e16862.

[15] 徐蕾蕊，付溥博，汪琦，等. 测试片法在食品菌落总数检测中的应用研究[J]. 食品安全质量检测学报，2021，12(2)：472-478.
XU L R，FU P B，WANG Q，et al. Application of the test tablet method in the detection of total number of food colonies[J]. Journal of Food Safety & Quality，2021，12(2)：472-478.(in Chinese)

[16] 赵立冬，赵红阳，石业娇，等. 3M™ Petrifilm™ 快速菌落总数测试片法与食品中菌落总数检测国标方法(GB 4789.2—2010)的比较[J]. 中国微生态学杂志，2018，30(10)：1203-1210，1216.
ZHAO L D，ZHAO H Y，SHI Y J，et al. Comparison of 3M™ Petrifilm™ rapid aerobic count plate method with the national standard (GB 4789.2—2010) in food inspection[J]. Chinese Journal of Microecology，2018，30(10)：1203-1210，1216.(in Chinese)

[17] BIRD P，BASTIN B，KLASS N，et al. Evaluation of the 3M™ Petrifilm™ rapid *E. coli*/coliform count plate for the enumeration of *E. coli* and coliforms：collaborative study，first action：2018.13[J]. Journal of AOAC International，2020，103(2)：513-522.

[18] 池福敏，罗章，辜雪冬，等. 3M 测试片法在西藏牦牛乳

制品微生物检测中的应用[J]. 食品工业，2015，36(12)：201-203.
CHI F M，LUO Z，GU X D，et al. The applications of 3M pereifilm count plate method in microbial detection of Tibet yak dairy products[J]. The Food Industry，2015，36(12)：201-203.(in Chinese)

[19] LIMOGES M，FRONTINO G，DONNELLY C. Comparative recovery of *Listeria* spp. from dairy environmental surfaces using 3M™ and World Bioproducts© environmental swabs with standard enrichment and enumeration methods[J]. Food Control，2020，114：107272.

[20] FALARDEAU J，JOHNSON R P，PAGOTTO F，et al. Occurrence，characterization，and potential predictors of verotoxigenic *Escherichia coli*，*Listeria monocytogenes*，and *Salmonella* in surface water used for produce irrigation in the Lower Mainland of British Columbia，Canada[J]. PLoS One，2017，12(9)：e0185437.

[21] 杜雅正，刘洪梅，安雪征，等. 快速测试片与国标方法测试脱盐乳清粉中金黄色葡萄球菌的对比[J]. 食品工业科技，2021，42(24)：224-228.
DU Y Z，LIU H M，AN X Z，et al. Comparative study of rapid test strips and the national standard method to analyse *Staphylococcus aureus* in desalted whey powder[J]. Science and Technology of Food Industry，2021，42(24)：224-228.(in Chinese)

[22] BIRD P，FLANNERY J，CROWLEY E，et al. Evaluation of the 3M™ Petrifilm™ rapid yeast and mold count plate for the enumeration of yeast and mold in food：collaborative study，first action 2014.05[J]. Journal of AOAC International，2015，98(3)：767-783.

[23] 中华人民共和国国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 肉与肉制品采样和检样处理：GB 4789.17—2024[S]. 北京：中国标准出版社，2024.

[24] Microbiology of the food chain-Horizontal method for the enumeration of microorganisms：part 1：colony count at 30 ℃ by the pour plate technique：ISO 4833—1：2013[S/OL]. 2013.https://www.iso.org/standard/53728.html.

[25] 安雪征，朱亚妮，李颖，等. 快速测试片与国标方法测试脱盐乳清粉中霉菌和酵母的对比研究[J]. 食品科技，2020，45(12)：276-280.
AN X Z，ZHU Y N，LI Y，et al. Comparative study of rapid test strips method and the national standard method to analyse mould and yeast in demineralised whey powder[J]. Food Science and Technology，2020，45(12)：276-280.(in Chinese)

[26] 郇延军，许伟，赵雅娟，等. 冷鲜肉品质评价指标的探讨[J]. 食品科学，2012，33(21)：107-110.
HUAN Y J，XU W，ZHAO Y J，et al. Potential biochemical parameters for quality evaluation of chilled fresh pork[J]. Food Science，2012，33(21)：107-110.(in Chinese)

[27] 蔡玮红，郭新东，万渝平，等. 肉和肉制品中大肠杆菌的检验及计数[J]. 食品研究与开发，2014，35(10)：76-79.
CAI W H，GUO X D，WAN Y P，et al. Examination and enumeration of *Escherichia coli* for meat and meat products[J]. Food Research and Development，2014，35(10)：76-79.(in Chinese)

[28] 卢勉飞，吴清平，蔡芷荷，等. 显色培养基快速检测大肠菌群和大肠杆菌效果的研究[J]. 中华预防医学杂志，2007，41(4)：307-310.
LU M F，WU Q P，CAI Z H，et al. Evaluation on effects of chromogenic medium in rapid detection of coliform and *Escherichia coli*[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine，2007，41(4)：307-310.(in Chinese)

[29] 李红. 显色培养基法快速检测大肠菌群和大肠杆菌的效果分析[J]. 中国冶金工业医学杂志，2017，34(6)：665.
LI H. Effect analysis of rapid detection of coliform and *Escherichia coli* by chromogenic medium method[J]. Chinese Medical Journal of Metallurgical Industry，2017，34(6)：665.(in Chinese)

[30] FUCHS E，RAAB C，BRUGGER K，et al. Performance testing of *Bacillus cereus* chromogenic agar media for improved detection in milk and other food samples[J]. Foods，2022，11(3)：288.

[31] HAUGE S J，ØSTENSVIK Ø，MONSHAUGEN M，et al. Enumeration of *Escherichia coli* in swab samples from pre- and post-chilled pork and lamb carcasses using 3M™ Petrifilm™ Select *E. coli* and Simplate® Coliforms/*E. coli*[J]. Meat Science，2017，130：26-29.

[32] KANG J Y，LEE S H，JO A H，et al. Improving the accuracy of coliform detection in meat products using modified dry rehydratable film method[J]. Food Science and Biotechnology，2020，29(9)：1289-1294.

[33] 刘建学，钟莉娟，钟先锋，等. 原料乳中大肠菌群快速预测模型的建立[J]. 食品与生物技术学报，2008，27(3)：99-103.
LIU J X，ZHONG L J，ZHONG X F，et al. A rapid quantitative assay model of coli group in raw milk[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2008，27(3)：99-103.(in Chinese)

（责任编辑：张馨文）