

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.03.033

气单胞菌在不同食物接触表面的存活与交叉污染*

董庆利¹ 王海梅¹ Pradeep K Malakar² 陆冉冉¹

(1. 上海理工大学医疗器械与食品学院, 上海 200093; 2. 食品研究所肠道健康与食品安全组, 诺里奇 NR4 7UA)

摘要: 为探讨气单胞菌在不同食物接触表面的存活状况,采用擦拭取样法测定气单胞菌于案板、刀具表面的恢复率,并将气单胞菌分别接种于洁净和被污染的案板、刀具表面,评定气单胞菌在不同介质表面、不同时间下的存活状况。根据恢复率和介质表面上气单胞菌存活实测值,采用@ Risk 软件对介质表面实时带菌量的期望值进行计算,并运用一级线性模型对气单胞菌存活特征曲线进行拟合。同时,以案板为交叉污染途径,对气单胞菌在介质表面的存活行为对交叉污染的影响进行了探讨。结果表明:采用擦拭取样法测得的气单胞菌从案板、刀具表面的恢复率的最佳分布拟合结果分别是 Normal(0.66,0.15) 和 Normal (0.72,0.18);气单胞菌在被污染的介质表面存活的时间(7 h)长于其在洁净介质表面的存活时间(3 h 或 2.5 h),且一级线性模型可以较好地对气单胞菌存活曲线进行拟合($R^2 > 0.88$);蒙特卡罗模拟结果表明,忽略气单胞菌在食物接触表面的存活行为会高估其在厨房内的交叉污染水平。

关键词: 气单胞菌 擦拭取样法 恢复率 存活模型 交叉污染

中图分类号: TS201.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)03-0228-07

Survival and Cross-contamination of *Aeromonas* spp. on Different Food Contacts

Dong Qingli¹ Wang Haimei¹ Pradeep K Malakar² Lu Ranran¹

(1. School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

2. Gut Health and Food Safety, Institute of Food Research, Norwich NR4 7UA, UK)

Abstract: The aim of present work is to study the cross-contamination and survival capacity of *Aeromonas* spp. on different food contacts in the kitchen. The recovery ratios of *Aeromonas* spp. using swabbing method from cutting boards and knives were firstly examined. Then, the survival of *Aeromonas* spp. on clean and contaminated cutting boards, stainless steel knives surfaces was studied. Based on the survival data and recovery ratios of *Aeromonas* spp., expected numbers of *Aeromonas* spp. on cutting boards and knives were calculated. Mathematical models describing survival of *Aeromonas* spp. as a function of time were also proposed. Meanwhile, in term of cutting boards as the cross contamination approach, combining survival model and further study were conducted to investigate the influence of the survival of *Aeromonas* spp. on the cross contamination level. Results indicated that the best fitting of recovery ratios of *Aeromonas* spp. from cutting boards and knives obtained by @ Risk were Normal (0.66, 0.15) and Normal (0.72, 0.18), respectively. And *Aeromonas* spp. proved to survive longer on the contaminated cutting boards and knives than on the clean ones. Survival data for *Aeromonas* spp. could be well described by linear model ($R^2 > 0.88$), and models without survival models included would overestimate the risk associated to bacterial transfer.

Key words: *Aeromonas* spp. Swabbing method Recovery ratio Survival model Cross-contamination

收稿日期: 2014-10-31 修回日期: 2014-12-13
* 国家自然科学基金面上资助项目(31271896)、上海市自然科学基金面上资助项目(12ZR1420500)和上海市研究生创新基金资助项目(10-14-308-101)
作者简介: 董庆利,副教授,主要从事畜产品安全和质量控制研究,E-mail: dongqingli@126.com

引言

气单胞菌(*Aeromonas* spp.)是冷却猪肉中常见的优势腐败菌之一^[1],同时也是一种可导致胃肠炎和败血症的人畜共患条件致病菌^[2-3]。董庆利等^[4]在冷却猪肉中气单胞菌的暴露评估研究中表明,经过销售、运输和贮藏 3 个阶段后,约有 22.1% 的冷却猪肉中气单胞菌的含量高于中毒阈值 5 lg cfu/g,对消费者带来一定的食用风险。近年来,气单胞菌引起的食品安全事故频发^[5-8],且上述事故多与食品加工过程中气单胞菌在厨房环境内的交叉污染有关。微生物在厨房内的交叉污染常涉及 3 类基质:交叉污染来源(生鲜肉块等)、中间介质(案板、刀具、手、水龙头等)和最终食物(即食蔬菜等)。

近年来,国内外专家对交叉污染模型的研究取得较大进展,一个完整的交叉污染模型包括 2 个基本要素:细菌从一种基质向另一基质的转移率,以及食物制备过程中与消费者卫生习惯有关行为频率调查数据^[9]。Mylius 等^[10]对食物制备阶段弯曲杆菌的交叉污染模型进行了详细介绍,模型的构建主要包括 5 个步骤:计算鸡肉中弯曲杆菌的初始污染水平;计算消费者卫生习惯行为频率;计算弯曲杆菌在不同介质间的转移率;计算沙拉污染水平;结合弯曲杆菌剂量-效应模型计算因交叉污染导致食物中毒的概率。结果表明,当准备 10⁴ 份“模型餐”时,消费者因交叉污染感染弯曲杆菌的概率为 0.000 52。其中,Mylius 等将与消费者卫生习惯有关行为频率调查数据作为模型的输入项与鸡肉中弯曲杆菌的初始污染水平、转移率等相乘,从而构建交叉污染模型。目前,研究人员通常通过严格控制试验条件、试验步骤和影响因素等,在受控的条件下探究致病菌的交叉污染水平^[11-12]。然而,试验方法自身存在的缺陷及致病菌在食物接触表面的失活对交叉污染的测定结果产生的影响常常被忽略^[13]。

本研究采用擦拭取样法测定气单胞菌于案板、刀具表面的恢复率,并对气单胞菌在不同介质表面、不同时间下的存活状况进行评定。最后,以案板为交叉污染途径,探究气单胞菌在介质表面的存活行为对交叉污染的影响。

1 材料与方法

1.1 菌悬液的配制及培养基的选用

气单胞菌(CICC 23564)购于中国工业微生物菌种保藏管理中心,活化后用无菌接种环挑取长势较好的气单胞菌单菌落,接种于 200 mL 液体培养基,于 27℃ 条件下恒温培养 18 h,制得初始菌悬液

备用。

气单胞菌液体培养基参照文献[14]配制,气单胞菌培养基基础(RYAN)购于青岛海博生物技术有限公司。

1.2 主要设备

SW-CJ-2FD 型净化工作台(上海博讯实业有限公司);YXQ-LS-75SII 型立式压力蒸汽灭菌器(上海博讯实业有限公司医疗器械厂);HWS-150 型恒温恒湿培养箱(上海比朗仪器有限公司);食品级红厨不锈钢刀具;天竹手提竹案板。

1.3 介质表面气单胞菌恢复率的测定

恢复率(Recovery ratio),即采用某种细菌采集方法时,介质表面所带细菌的恢复能力。试验中,将 0.1 mL 气单胞菌菌悬液分别接种于洁净案板和刀具表面由尺子和标记笔选定的特定区域内(2 cm × 2 cm),采用擦拭取样法^[15]重复 3 次对介质表面气单胞菌进行恢复取样。擦拭取样法即采用无菌棉签等对被污染的介质表面进行擦拭,采集细菌后立即将棉签置入无菌生理盐水待测。其中,案板、刀具的灭菌方式参照文献[12],每组试验重复 8 次。

1.4 恢复率的计算及概率分布拟合

恢复率的计算式为

$$D_{RR} = \frac{N'_0}{N_0}$$
 (1)

式中 N_0 ——介质表面气单胞菌的接种量,cfu/cm²
 N'_0 ——通过擦拭取样法测得的气单胞菌的数量,cfu/cm²

运用@ Risk 5.5 软件(美国 Palisade 公司)对每组恢复率进行最佳分布拟合,并根据卡方检验结果选择最适分布。

$$N_E = \frac{N_t}{D'_{RR}}$$
 (2)

式中 N_E ——介质表面气单胞菌存活量的期望值,cfu/cm²

N_t —— t 时刻试验测得的案板或刀具表面气单胞菌带菌量,cfu/cm²

D'_{RR} ——采用擦拭取样法测得的恢复率经 @ Risk 5.5 软件中卡方检验得到的最佳分布

1.5 介质表面气单胞菌存活状况的测定

为测定洁净及被污染案板、刀具的表面气单胞菌的存活状况,于室温(25℃)条件下分别接种 0.1 mL 气单胞菌菌悬液于洁净的和分割过猪肉的案板(2 cm × 5 cm)、刀具(2 cm × 5 cm)表面,试验过程中每 2 h 对分割过猪肉的案板和刀具进行无菌水喷雾。洁净介质表面每 0.5 h、被污染的介质表面每

1 h进行取样。每组试验重复 3 次。

1.6 气单胞菌存活模型的建立与评价

应用 Origin 8.0 软件(美国 OriginLab 公司)中线性模型对气单胞菌在介质表面的存活曲线进行拟合。计算式为

lgS_t = lgN_t - lgN₀ = kt (3)

式中 t——时间,h k——失活速率
lgN_t——t 时刻案板或刀具表面气单胞菌带菌量的对数
lgN₀——随时间无限减小时渐进对数(相当于初始接菌量)
lgS_t——不同时间介质表面气单胞菌带菌量与初始接种量的对数差值,即存活率
均方根误差(RMSE)是判断模型拟合效果的最简单有效的评价参数之一,其表达式为^[16]

R_{MSE} = √(Σ(V_p - V₀)² / (n - p)) (4)

式中 V_p——模型预测值
V₀——试验观测值
n——观测值个数 p——参数个数

精确因子 A_f一般用来验证预测模型的准确度,可以衡量预测值和观测值之间的接近程度;偏差因子 B_f一般作为判断所建预测模型的结构性偏差的参数。其表达式为^[17]

A_f = 10^{Σ |lg(V_p/V₀)| / n} (5)

B_f = 10^{Σ lg(V_p/V₀) / n} (6)

赤池信息(AIC)是衡量统计模型拟合优良性的另一标准,其表达式为^[16]

A_{IC} = n ln(S_{SE} / n) + 2(p + 1) + 2(p + 1)(p + 2) / (n - p - 2) (7)

式中 S_{SE}——残差平方和

1.7 气单胞菌的交叉污染模拟

为探究气单胞菌在介质表面存活行为对交叉污染的影响,分别对整合存活模型前和整合模型后小青菜中气单胞菌污染水平进行了模拟。其中,冷却猪肉中气单胞菌的初始污染水平根据董庆利等^[4]对冷却猪肉中气单胞菌从销售至家庭储存阶段的定量暴露评估结果进行确定,猪肉中气单胞菌向案板的转移率及案板表面气单胞菌向小青菜的转移率可参考王海梅等^[12]的研究。模拟过程中各项参数的设置详见表 1,采用@ Risk 5.5 软件中蒙特卡罗(Monte Carlo)抽样方法对各个参数进行 10 000 次迭代抽样,用概率分布的形式对小青菜中气单胞菌的最终污染水平进行描述。

表 1 交叉污染模拟过程中的参数设置

Tab.1 Parameter settings of cross-contamination simulation

参数	取值
猪肉初始污染水平/(lg cfu·g ⁻¹)	[-0.82, 7.66]
猪肉到案板的转移率 T _{MB}	Beta(0.25, 0.38) ^[12]
案板到小青菜的转移率 T _{BL}	Beta(0.29, 0.32) ^[12]
气单胞菌在被污染案板表面的存活时间/h	Uniform(0, 7)
被污染案板表面气单胞菌衰亡模型	lgN _t = 7.98 - 1.11t
整合存活模型前小青菜污染水平 N _{L1}	N _{L1} = N ₀ T _{MB} T _{BL}
整合存活模型后小青菜污染水平 N _{L2}	N _{L2} = N ₀ T _{MB} (7.98 - 1.11t)/(7.12T _{BL})

2 结果与分析

2.1 恢复率的概率分布拟合

案板、刀具表面气单胞菌的恢复率根据式(1)计算,并采用@ Risk5.5 软件对气单胞菌 2 组恢复率进行最佳分布拟合。从图 1 和图 2 可知,Normal(0.66, 0.15)和 Normal(0.72, 0.18)可分别对 2 组恢复率进行较好的描述。气单胞菌于案板表面的恢复率最小值和最大值分别为 0.39、0.86,于刀具表面的恢复率最小值和最大值分别为 0.46、0.95。

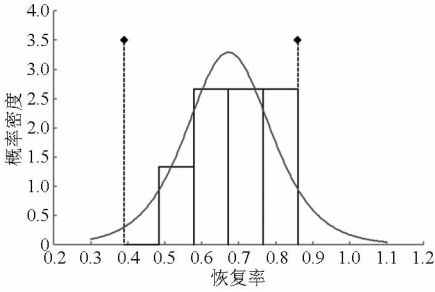


图 1 案板表面气单胞菌恢复率的概率分布拟合
Fig.1 Distribution fitting of recovery ratios of Aeromonas spp. from cutting boards

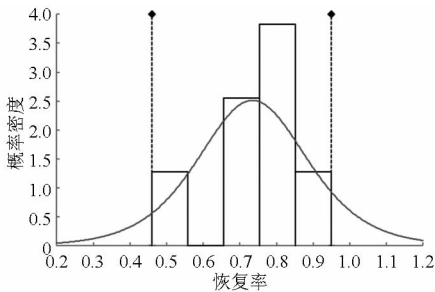


图 2 刀具表面气单胞菌恢复率的概率分布拟合
Fig.2 Distribution fitting of recovery ratios of Aeromonas spp. from knives

2.2 介质表面气单胞菌残存量的期望值

介质表面气单胞菌残存量的期望值可根据介质表面气单胞菌残存量的实测值及恢复率的最佳分布

拟合结果进行计算。不同时间每次试验重复时洁净和被污染介质表面气单胞菌残存量的期望值分别如表 2 和表 3 所示。如在 0 h 时,3 次试验重复下气单胞菌在洁净案板表面残存量的期望值分别为 7.44、7.33 和 7.51 lg cfu/cm²,90% 的置信区间分别为[7.27,7.61]、[7.16,7.51]和[7.35,7.69] lg cfu/cm²。

表 2 不同时间洁净介质表面气单胞菌的残存量的期望值

Tab.2 Expected numbers of survival datas of *Aeromonas* spp. on clean items lg cfu/cm²

时间/h	洁净案板	洁净刀具
0	7.44 [7.27, 7.61] *	7.66 [7.47, 7.85]
	7.33 [7.16, 7.51]	7.52 [7.33, 7.71]
	7.51 [7.35, 7.69]	7.48 [7.30, 7.68]
0.5	6.18 [5.86, 6.20]	4.43 [4.25, 4.63]
	5.73 [5.57, 5.91]	5.09 [4.90, 5.28]
	6.07 [5.90, 6.24]	5.30 [3.12, 5.50]
1.0	5.18 [5.01, 5.35]	4.04 [3.86, 4.24]
	4.89 [4.72, 5.06]	4.01 [3.85, 4.23]
	5.27 [5.11, 5.46]	4.05 [3.83, 4.21]
1.5	4.25 [4.09, 4.43]	2.12 [1.93, 2.32]
	4.66 [4.50, 4.84]	2.01 [1.83, 2.20]
	4.21 [4.05, 4.39]	1.78 [1.60, 1.97]
2.0	2.95 [2.79, 3.12]	0.44 [0.25, 0.63]
	2.65 [2.48, 2.81]	0.61 [0.41, 0.81]
	3.09 [2.92, 3.26]	0.31 [0.15, 0.51]
2.5	1.97 [1.80, 2.13]	0.13 [-0.05, 0.33]
	1.63 [1.44, 1.78]	0.91 [0.73, 1.11]
	1.10 [0.93, 1.26]	-0.17 [-0.35, 0.03]
3.0	-0.14 [-0.31, 0.04]	ND
	0.17 [-0.01, 0.40]	ND
	ND	ND

注:ND 表示在检测限度以下;7.44 [7.27, 7.61]表示介质表面气单胞菌残存量的期望值是 7.44 lg cfu/cm²,90% 的置信区间为 [7.27, 7.61]。其余数据及下表同。

2.3 气单胞菌在介质表面的存活率

不同时间介质表面气单胞菌的存活率见图 3。不同介质表面初始接种量在[7.33, 7.55] lg cfu/cm²之间,从图 3 中可得知,气单胞菌在洁净的案板和刀具表面存活时间相对较短,分别为 3 h 和 2.5 h,当案板、刀具表面被猪肉污染且保持相对潮湿时,气单胞菌的存活时间增长(7 h)。上述结果表明,气单胞菌在洁净介质表面的减少速度快于其在被污染的介质表面的减少速度,介质的表面环境对气单胞菌的存活能力存在一定影响。

2.4 气单胞菌存活模型的建立及评价

应用线性模型对气单胞菌在介质表面存活特征曲线进行拟合,得到的动力学参数及模型评价结果

表 3 不同时间被污染介质表面气单胞菌的残存量的期望值

Tab.3 Expected numbers of survival datas of *Aeromonas* spp. on contaminated items

时间/h	被污染案板	被污染刀具
0	7.33 [7.17, 7.51]	7.62 [7.43, 7.81]
	7.25 [7.09, 7.43]	7.38 [7.19, 7.57]
	7.41 [7.24, 7.58]	7.52 [7.33, 7.71]
1	7.02 [6.85, 7.20]	6.53 [6.35, 6.73]
	7.06 [6.89, 7.23]	6.23 [6.05, 6.42]
	7.09 [6.92, 7.26]	6.41 [6.22, 6.60]
2	6.97 [6.81, 7.15]	4.98 [4.80, 5.18]
	6.93 [6.76, 7.10]	5.13 [4.95, 5.33]
	5.96 [5.81, 6.16]	4.66 [4.48, 4.86]
3	5.39 [5.23, 5.57]	3.31 [3.13, 3.51]
	5.33 [5.15, 5.51]	3.05 [2.86, 3.24]
	4.99 [4.83, 5.17]	3.53 [3.34, 3.72]
4	3.28 [3.11, 3.45]	2.45 [2.27, 2.65]
	2.91 [2.75, 3.09]	1.80 [1.62, 2.00]
	4.00 [3.83, 4.17]	2.38 [2.20, 2.58]
5	1.99 [1.82, 2.16]	1.80 [1.61, 1.99]
	1.74 [1.58, 1.92]	1.75 [1.49, 1.94]
	1.75 [1.58, 1.93]	1.57 [1.38, 1.76]
6	1.55 [1.38, 1.72]	1.06 [0.88, 1.26]
	1.12 [0.95, 1.29]	0.74 [0.49, 0.93]
	0.86 [0.70, 1.04]	1.06 [0.85, 1.26]
7	0.34 [0.18, 0.52]	0.54 [0.35, 0.73]
	-0.14 [-0.30, 0.01]	0.31 [0.13, 0.51]
	0.34 [0.18, 0.52]	0.44 [0.25, 0.63]

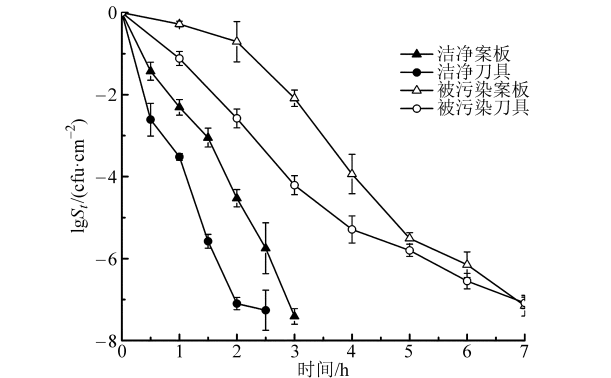


图 3 不同时刻介质表面气单胞菌的数量与初始接种量的对数差值

Fig.3 lgSi of *Aeromonas* spp. on different items at different time

见表 4。决定系数(R^2)是评价模型拟合优度的重要指标之一,其数值越接近 1,拟合效果越好,从表 4 可知,在本研究中 4 种情况下, R^2 分别是 0.99、0.98、0.88、0.96。均方根误差(RMSE)是衡量预测准确度的一种数值指标,可以说明模型预测值的离散程度,其数值越小,模型拟合优度越高,在本研究

中, RMSE 数值均小于 1。精确因子(A_f)和偏差因子(B_f)数值越接近 1, 预测模型的准确性越高、结构性偏差越低, 从表 4 可知, A_f 和 B_f 的数值均在可接受范围之内。赤池信息(AIC)可用于权衡所估计模型的复杂度和模型拟合数据的优良性, 线性模型对气单

胞菌在介质表面存活曲线拟合得到的 AIC 数值分别是 -12.27、3.48、-5.14、-4.84。以上均说明线性模型能够较好地对气单胞菌在介质表面的存活曲线进行描述。

表 4 介质表面气单胞菌失活模型的参数及评价

Tab.4 Model parameters and goodness of fit for log linear model to survival data of <i>Aeromonas</i> spp. on items							
场景	k	$\lg N_0$	R^2	RMSE	A_f	B_f	AIC
洁净案板	-2.37 ± 0.07	7.44 ± 0.08	0.99	0.27	1.55	1.45	-12.27
洁净刀具	-3.51 ± 0.07	7.54 ± 0.07	0.98	0.79	1.08	1.07	3.48
被污染的案板	-1.11 ± 0.02	7.98 ± 0.05	0.88	0.53	1.13	1.05	-5.14
被污染的刀具	-1.04 ± 0.02	7.27 ± 0.09	0.96	0.54	1.15	1.12	-4.84

2.5 交叉污染模拟

将表 1 中相关参数作为输入变量, 分别以是否整合气单胞菌在被污染案板表面的存活模型时小青菜中气单胞菌最终污染水平作为输出变量, 采用 @ Risk 5.5 软件进行 10 000 次蒙特卡罗取样, 所得结果分别如图 4 和图 5 所示。

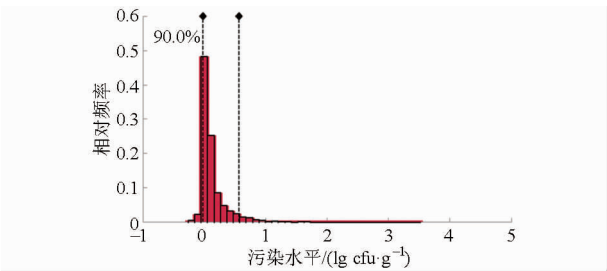


图 4 整合气单胞菌存活模型前小青菜中气单胞菌的污染水平

Fig.4 Contamination level of *Aeromonas* spp. on *Brassica chinensis* without survival model of *Aeromonas* spp.

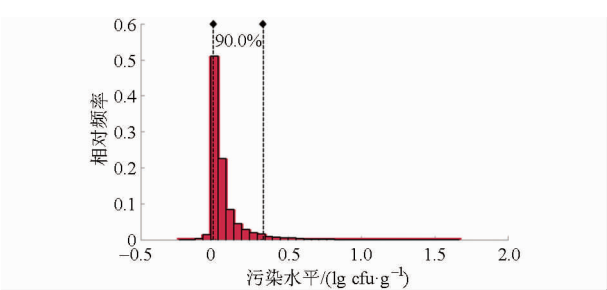


图 5 整合气单胞菌存活模型后小青菜中气单胞菌的污染水平

Fig.5 Contamination level of *Aeromonas* spp. on *Brassica chinensis* with survival model of *Aeromonas* spp.

从图 4 可知, 当不考虑气单胞菌在案板表面的存活时, 通过案板途径的交叉污染导致小青菜中气单胞菌的污染水平从 -0.02 lg cfu/g (5% 置信水平) 升至 0.56 lg cfu/g (95% 置信水平), 均值为 0.13 lg cfu/g。图 5 的模拟结果表明, 当将气单胞菌在案板表面的存活模型整合到交叉污染模型中时,

微生物交叉污染是引起食源性疾病暴发的重要因素之一, 交叉污染的发生水平受菌种自身因素及环境因素等影响^[13]。本文从试验方法着手, 探究了气单胞菌存活模型对交叉污染水平的影响。但研究也存在一定不足, 如在试验过程中, 案板、刀具表面气单胞菌初始污染水平较高, 与实际情况有一定出入, 不同初始接种水平对交叉污染的影响将在后续研究中开展。

为了对食物接触表面所带细菌进行量化, 需要对介质表面细菌进行采集和分离培养, 最常用的非破坏性方法包括擦拭取样法、贴纸法和琼脂接触法等^[13]。其中, 本文用到的擦拭取样法由于操作者在每次试验重复时擦拭力度可能并不相同, 使得气单胞菌于案板和刀具表面恢复率的测定结果分别在 0.39~0.86 和 0.46~0.95 之间变化, 经卡方检验, Normal (0.66, 0.15) 和 Normal (0.72, 0.18) 可对两组恢复率进行较好的拟合。环境条件如温度、湿度、介质的类型等对细菌的存活能力均有一定的影响^[18-20]。例如, 在 Moretro 等^[21]的研究表明, 较高的环境湿度能提高细菌在介质表面的存活能力, Fuster-Valls 等^[19]也得出类似结论: 干燥的环境加速了介质表面金黄色葡萄球菌和阴沟肠杆菌数量的减少。介质表面的清洁度是影响细菌存活能力的另一重要因素, 本试验中气单胞菌在被猪肉污染的介质

表面的存活时间(7 h)要长于其在洁净介质表面的存活时间(3 h 或 2.5 h),可能是由于猪肉中含有的脂肪、蛋白质等物质为细菌提供了营养及抵触干燥的物理屏障,从而提高了细菌对恶劣环境的抵御能力^[18]。本研究以厨房内案板为交叉污染途径,模拟结果表明整合存活模型前、后小青菜中气单胞菌的平均污染水平分别为 0.13、0.071 lg cfu/g,即忽略细菌在介质表面的存活行为会在一定程度上高估交叉污染水平。例如,如果某介质表面的最初污染水平是 5 lg cfu/cm²,细菌的衰亡速率是 1 lg cfu/cm²,那么在 5 h 以后,推测将没有活菌被转移。然而,此现象并非适用于所有的交叉污染过程,如在分割冷却猪肉后,如果立即在被污染的案板上切割小青菜,

则气单胞菌的衰亡即可被忽略。因此,食物制备过程中各操作的步骤是衡量细菌衰亡是否能够对交叉污染水平产生影响的重要指标。

4 结束语

本文首先对试验过程中采集介质表面细菌采用的擦拭取样法进行了评价,并运用线性模型对气单胞菌存活特征曲线进行了拟合,此外,交叉污染模拟证实忽略气单胞菌的失活行为会高估气单胞菌在厨房内的交叉污染水平。对试验方法本身(擦拭取样法)存在的缺陷和气单胞菌在介质表面存活行为的探究,可为更加科学准确地评估细菌在厨房内的交叉污染提供理论参考。

参 考 文 献

- 1 李苗云. 冷却猪肉中微生物生态分析及货架期预测模型的研究[D]. 南京:南京农业大学, 2006.
Li Miaoyun. Study on the analysis of microbial ecology in chilled pork and shelf life predictive model [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- 2 杨嘉龙, 周丽, 站文斌. 杀鲑气单胞菌杀日本鲑亚种胞外产物毒性及免疫原性分析[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(3): 20–23.
Yang Jialong, Zhou Li, Zhan Wenbin. Analysis of virulence and immunogenicity of the extracellular products (ECP) extract from *Aeromonas salmonicida masoucida* [J]. Progress in Fishery Sciences, 2009, 30(3): 20–23. (in Chinese)
- 3 王高学, 黄曾荣. 白斑狗鱼“败血症”病原及组织病理研究[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 383–387.
Wang Gaoxue, Huang Zengrong. Studies on the pathogen and histopathology of septicemia in *esox lucius* [J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(3): 383–387. (in Chinese)
- 4 董庆利, 高翠, 郑丽敏, 等. 冷却猪肉中气单胞菌的定量暴露评估[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 24–27.
Dong Qingli, Gao Cui, Zheng Limin, et al. Quantitative exposure assessment of *Aeromonas* spp. in chilled pork [J]. Food Science, 2012, 33(15): 24–27. (in Chinese)
- 5 殷俊, 朱剑. 无锡市南长区首次由气单胞菌引起食物中毒的调查研究[J]. 当代医学, 2013, 19(36): 155–156.
- 6 张利焱. 一起由气单胞菌引起食物中毒事件的调查分析[J]. 医学动物防治, 2011, 27(3): 264.
- 7 张倩, 姚光海, 谢荣恒. 贵州某大学一起食源性嗜水气单胞菌急性胃肠炎暴发流行[R]//中国流行病学培训项目现场报告, 2012: 71–78.
- 8 Jennifer L P, Jonathan G S. *Aeromonas* spp. clinical microbiology and disease [J]. Journal of Infection, 2011, 62(2): 109–118.
- 9 王海梅, 董庆利, 朱江辉, 等. 厨房中食源性致病菌交叉污染的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(6): 16–21.
Wang Haimei, Dong Qingli, Zhu Jianghui, et al. Research progress of foodborne pathogen cross-contamination in the kitchen [J]. Food and Fermentation Technology, 2014, 50(6): 16–21. (in Chinese)
- 10 Mylius S D, Nauta M J, Havelaar A H. Cross-contamination during food preparation; a mechanistic model applied to chicken-borne campylobacter [J]. Risk Analysis, 2007, 27(4): 803–813.
- 11 Ravishankar S, Zhu L, Jaroni D. Assessing the cross contamination and transfer rates of *Salmonella enterica* from chicken to lettuce under different food-handling scenarios [J]. Food Microbiology, 2010, 27(6): 791–794.
- 12 王海梅, 董庆利, 刘箐, 等. 不同场景下冷却猪肉中气单胞菌到小青菜的交叉污染[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 196–200.
Wang Haimei, Dong Qingli, Liu Jing, et al. Cross-contamination of *Aeromonas* spp. from chilled pork to *Brassica chinensis* under different food-handling scenarios [J]. Food Science, 2014, 35(21): 196–200. (in Chinese)
- 13 Perez-Rodriguez F, Valero A, Carrasco E, et al. Understanding and modelling bacterial transfer to foods: a review [J]. Trends Food Scientific Technology, 2008, 19(3): 131–144.
- 14 陈天寿. 微生物培养基的制造与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 250–579.
- 15 Pérez-Rodríguez F, Posada-Izquierdo G D, Valero A, et al. Modelling survival kinetics of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157:H7 on stainless steel surfaces soiled with different substrates under static conditions of temperature and relative humidity [J]. Food Microbiology, 2013, 33(2): 197–204.
- 16 Karl A S, Uma T, Claire C, et al. Modelling the thermal inactivation of five *Campylobacteraceae* species [J]. Food Control, 2015, 47: 135–140.
- 17 董庆利, 姚远, 赵勇, 等. 铜绿假单胞菌的温度、pH 值和乳酸钠主参数模型构建[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 198–202.

Dong Qingli, Yao Yuan, Zhao Yong, et al. Modelling establishment of the cardinal parameters model as a function of temperature, pH value and sodium lactate for *Pseudomonas aeruginosa* [J]. Transactions of Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1): 198–202. (in Chinese)

18 Wilks S A, Michels H, Keevil C W. The survival of *Escherichia coli* O157 on a range of metal surfaces[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 105(3): 445–454.

19 Fuster-Valls N, Hernández-Herrero M, Marín-de-Mateo, et al. Effect of different environmental conditions on the bacteria survival on stainless steel surfaces[J]. Food Control, 2008, 19(3): 308–314.

20 Perez-Rodriguez F, Begum M, Johannessen G S. Study of the cross-contamination and survival of *Salmonella* in fresh apples[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 184: 92–97.

21 Møretrø T, Heir E, Mo K R, et al. Factor saffecting survival of shigatoxin-producing *Escherichia coli* on abiotic surfaces[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 138(1–2): 71–77.



(上接第 241 页)

19 蔡健荣, 王建黑, 黄星奕, 等. 高光谱图像技术检测柑橘果锈[J]. 光电工程, 2009, 36(6): 26–30.
Cai Jianrong, Wang Jianhei, Huang Xingyi, et al. Detection of rust in citrus with hyperspectral imaging technology[J]. Optoelectronic Engineering, 2009, 36(6): 26–30. (in Chinese)

20 蔡健荣, 王建黑, 陈全胜, 等. 波段比算法结合高光谱图像技术检测柑橘果锈[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 127–131.
Cai Jianrong, Wang Jianhei, Chen Quansheng, et al. Detection of rust in citrus by hyperspectral imaging technology and band ratio algorithm [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1): 127–131. (in Chinese)

21 李江波, 饶秀勤, 应义斌, 等. 基于高光谱成像技术检测脐橙溃疡[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 222–228.
Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin, et al. Detection of navel oranges canker based on hyperspectral imaging technology[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 222–228. (in Chinese)

22 洪添胜, 乔军, Wang Ning, 等. 基于高光谱图像技术的雪花梨品质无损检测[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 151–155.
Hong Tiansheng, Qiao Jun, Wang Ning, et al. Non-destructive inspection of Chinese pear quality based on hyperspectral imaging technique[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 151–155. (in Chinese)

23 Wang J, Nakano K, Ohashi S, et al. Detection of external insect infestations in jujube fruit using hyperspectral reflectance imaging[J]. Biosystems Engineering, 2011, 108(4): 345–351.

24 Lü Q, Tang M. Detection of hidden bruise on kiwi fruit using hyperspectral imaging and parallelepiped classification[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 12: 1172–1179.

25 田野, 赵春晖, 季亚新. 主成分分析在高光谱遥感图像降维中的应用[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2007, 23(5): 58–60.
Tian Ye, Zhao Chunhui, Ji Yaxin. The principal component analysis applied to hyperspectral remote sensing image dimensional reduction[J]. Natural Sciences Journal of Harbin Normal University, 2007, 23(5): 58–60. (in Chinese)

26 Vargas A M, Kim M S, Yang T. Detection of fecal contamination on cantaloupes using hyperspectral fluorescence imagery[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(8): 471–476.