

不同介质间采用矩阵量化气单胞菌的交叉污染*

董庆利¹ 王海梅¹ Pradeep K Malakar² 刘阳泰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: 为定量描述气单胞菌在不同介质间的转移及变化过程,基于单个细菌在每次转移过程中只能被转移到一个介质表面的假设,采用矩阵方式将气单胞菌的转移路径及被转移的可能性集中于一个二维的数据表格之中,并对不同场景下气单胞菌在不同介质表面的交叉污染水平进行分析。结果表明,采用矩阵方式不仅可用于探究交叉污染对细菌受体表面带菌量的变化,同时可定量分析细菌供体表面带菌量的变化,如在分割冷却猪肉前、后,猪肉中气单胞菌的带菌量平均值分别为 3.02 lg CFU/g、1.82 lg CFU/g。对不同场景下各介质带菌量的量化结果证实:分割冷却猪肉后,若及时对被污染的案板、刀具等介质进行清洗或更换,可有效降低交叉污染水平并可预防二次交叉污染的发生。

关键词: 气单胞菌 交叉污染 矩阵 介质

中图分类号: TS201.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)04-0219-07

Applying Matrix to Quantify Cross-contamination of *Aeromonas* spp. among Different Medium

Dong Qingli¹ Wang Haimei¹ Pradeep K Malakar² Liu Yangtai¹

(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 transfer approach and transfer probability of *Aeromonas* spp. under various food-handling scenarios were centralized in a two-dimensional data table by applying matrix method, which aimed at quantifying cross-contamination of *Aeromonas* spp. among different food-contact surfaces. Results showed that the number of *Aeromonas* spp. on donor and recipient surface could be calculated simultaneously, for instance, the average values of *Aeromonas* spp. in chilled pork before and after cross-contamination were 3.02 lg CFU/g and 1.82 lg CFU/g, respectively. Results also confirmed that proper conducts after splitting pork including cleaning contaminated boards, knives, hands and/or just changing them into clean ones before splitting *Brassica chinensis* could effectively reduce cross-contamination level. The study of microbial cross-contamination could be helpful for setting good hygienic practice guidelines for consumers, and it could provide a theoretical basis for assessing the potential risk of cross-contamination.

Key words: *Aeromonas* spp. Cross-contamination Matrix Medium

引言

气单胞菌属于革兰氏阴性兼性厌氧短杆菌,广泛分布于自然界,可引起人类腹泻、败血症等多种疾病,是一种人畜共患病的病原菌,同时也是猪肉中优势腐败菌之一^[1]。近年关于气单胞菌引起食源性

疾病的报道日益增多^[2-4],为降低病原菌造成的危害,监测其生长及变化规律尤为重要。其中,厨房制备食物阶段,致病菌从被污染的食物原材料、加工者、食品容器及厨房环境等经交叉污染转移到即食食品等是消费者感染食源性致病菌最常见的原因^[5]。目前,国内外专家对致病菌在厨房内交叉污

收稿日期: 2015-01-13 修回日期: 2015-02-16

* 国家自然科学基金资助项目(31271896)和上海市自然科学基金资助项目(12ZR1420500)

作者简介: 董庆利,副教授,主要从事畜产品安全与质量控制研究,E-mail: dongqingli@126.com

染的研究取得较大进展^[6-10]。近年来,本课题组对气单胞菌的生长建模和风险评估研究取得了较大进展^[11-15],并对气单胞菌在不同场景下及不同介质表面之间的转移率^[16]、气单胞菌在案板、刀具表面的恢复率及其在案板、刀具表面存活能力进行了测定^[17]。在已有研究中,研究者在对细菌的转移进行描述时,常采用转移率概率分布的形式对交叉污染对细菌受体表面带菌量的变化进行计算。此种方式在对单一交叉污染途径进行描述时可得到较理想的结果,但对多途径的交叉污染进行量化时存在一定弊端。

本文采用矩阵的形式对不同场景下气单胞菌在不同介质之间的转移过程进行量化。首先对构建不同场景下气单胞菌转移概率矩阵所缺少的数据进行补充(已有数据参照文献[16-17]),进而基于矩阵理论构建气单胞菌的转移概率矩阵,并据此对各介质发生交叉污染前后的带菌量进行计算,为科学评估细菌在厨房内微生物的交叉污染提供理论参考。

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[18]配制,气单胞菌培养基(RYAN)购于山东青岛海博生物技术有限公司。

1.2 手表面气单胞菌的恢复率

将0.1 mL气单胞菌菌悬液接种于洁净手掌表面特定区域内(2 cm×2 cm),采用擦拭取样法^[19]重复3次对介质表面气单胞菌进行恢复取样,试验重复8次。对手表面气单胞菌恢复率进行计算时参照文献[17],并采用@Risk 5.5软件对其进行最佳分布拟合。

1.3 气单胞菌的残留率

分割猪肉过后若对被污染的案板、刀具、手等不进行清洗或替换,且忽略短时间内气单胞菌在介质表面的失活,那么交叉污染前后各介质表面所带气单胞菌总量不变。但如果在分割冷却猪肉之后,及时对被污染介质进行清洗或替换,则会带走部分气单胞菌,导致分割猪肉后各介质带菌量总和小于猪肉初始带菌量。在文献[16]中缺少使用定量清水对案板、刀具及手表面气单胞菌残留率的测定,现对此部分试验和数据进行补充,试验操作及数据处理

方式如下。

采用一定方式将20 μL菌悬液分别接种于案板、手、刀具特定区域内(2 cm×2 cm),之后使用200 mL无菌水冲洗各介质表面,并采用擦拭取样法对介质表面残留的气单胞菌数量进行测定。每组试验重复6次。残留率表达式为

$$T_{ii} = \frac{N_c}{N_o}$$

式中 T_{ii} ——气单胞菌残留率
 N_o ——介质表面气单胞菌初始接种量
 N_c ——经清水清洗后介质表面气单胞菌的残留量

1.4 转移率的校正

气单胞菌在不同场景下及不同介质之间的转移率可参照文献[16]。其中,冷却猪肉表面所带气单胞菌在分割猪肉过程中向案板、刀具及手的转移率,采用试验测定所得的气单胞菌在案板、刀具^[17]及手表面恢复率进行校正,其表达式为

$$T' = \frac{T}{D'_{RR}}$$

式中 T' ——经恢复率校正后的转移率期望值
 T ——试验测得的转移率经@Risk软件拟合后得到的最佳分布
 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 转移概率矩阵的构建

为简化交叉污染模拟过程并减小数据短缺造成的不确定性,仅考虑厨房中食物制备过程中气单胞菌交叉污染涉及的重要介质和途径。根据王海梅等^[16]对不同场景下气单胞菌从冷却猪肉到青菜的交叉污染模拟过程可知,涉及介质包括冷却猪肉、案板、刀具、手及青菜,涉及途径包括分割猪肉(CM)和分割青菜(CL)。若分割猪肉后对被猪肉污染的案板、刀具、手不做任何处理(场景1)或采用清水清洗被污染介质之后再分割青菜(场景2),涉及介质包括上述5种中的全部^[16]。若分割猪肉后及时更换案板(场景3),则可将从猪肉到刀具和手转移的气单胞菌数量进行加和,在计算被污染的刀具和手表面气单胞菌在分割青菜过程中向青菜的转移率时,可将二者视为同一个污染源。分割猪肉后及时更换刀具(场景4)或彻底清洗被污染的手(场景5)同理。

假设在交叉污染发生之前,仅有冷却猪肉被气单胞菌污染,案板、刀具、手、青菜等介质经特定方式杀菌后均为洁净状态。假设气单胞菌交叉污染过程

中涉及 m 个介质,分别用符号 $\{M,B,H,K,L\}$ 表示猪肉、案板、手、刀具、青菜,用 $k \in \{CM, CL\}$ 表示分割猪肉、分割青菜,通过 k 途径,介质 i 表面细菌经交叉污染转移到介质 j 表面的概率表示为 T_k ,矩阵中各元素表示为 $T_{i,j}^k$ 。

若用 b_i 表示某介质表面气单胞菌的数量,则可用向量 $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 表示某种状态下各个介质表面气单胞菌的数量。若用向量 $\mathbf{b}$ 和 $\mathbf{b}'$ 分别代表交叉污染发生前、后各介质表面的带菌量,则两者之间关系式为

$$\mathbf{b}' = \mathbf{b}T_k \tag{3}$$

猪肉中气单胞菌的初始污染水平 N_0 参照董庆利等^[15]对某市冷却猪肉中气单胞菌从销售至家庭贮藏阶段的暴露评估结果,则分割猪肉前各介质的初始带菌量 $\mathbf{b}_0 = (N_0, 0, 0, 0, 0)$ 。在分割冷却猪肉的过程中,气单胞菌被不断从猪肉表面转移至案板、手及刀具表面,在每次转移过程中,单个气单胞菌仅能被转移至 3 个介质中的其中 1 个。假设: $T_1 = T'_{MB}(1 - T'_{MH})(1 - T'_{MK})$, $T_2 = T'_{MH}(1 - T'_{MB})(1 - T'_{MK})$, $T_3 = T'_{MK}(1 - T'_{MB})(1 - T'_{MH})$, 其中 T'_{MB} 、 T'_{MH} 、 T'_{MK} 分别表示在分割猪肉过程中,气单胞菌从猪肉到案板、手、刀具的转移率。则在分割猪肉过程中,气单胞菌的转移概率矩阵表示为

$$T_{CM} = \begin{bmatrix} 1 - T_1 - T_2 - T_3 & T_1 & T_2 & T_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

分割猪肉后,各介质表面带菌量 $\mathbf{b}_{M1} = \mathbf{b}_0 T_{CM} = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)$ 。

若分割猪肉后,被污染的介质不经过任何清洗或替换而直接被用于分割青菜(场景 1),气单胞菌在分割青菜过程中的转移概率矩阵表示为

$$T_{CL1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - T'_{BL1} & 0 & 0 & T'_{BL1} \\ 0 & 0 & 1 - T'_{HL1} & 0 & T'_{HL1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 - T'_{KL1} & T'_{KL1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中 T'_{BL1} ——案板表面气单胞菌到青菜转移率(场景 1)

T'_{HL1} ——手表面气单胞菌到青菜转移率(场景 1)

T'_{KL1} ——刀具表面气单胞菌到青菜转移率(场景 1)

此时各介质带菌量 $\mathbf{b}_{L1} = \mathbf{b}_0 T_{CM} T_{CL1} = (b_{11}, b_{21}, b_{31}, b_{41}, b_{51})$ 。

分割猪肉后,若及时对被气单胞菌污染的介质采用定量清水进行清洗(场景 2),则 3 个介质表面部分气单胞菌会被水带走,从而影响 3 个介质表面气单胞菌的总量。假设经过清水洗涤后,案板、手及刀具表面气单胞菌的残留率分别是 T_{BB} 、 T_{HH} 、 T_{KK} ,则此种场景下,气单胞菌在分割青菜过程中的转移概率矩阵表示为

$$T_{CL2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (1 - T'_{BL2})T_{BB} & 0 & 0 & T'_{BL2} \\ 0 & 0 & (1 - T'_{BL2})T_{HH} & 0 & T'_{HL2} \\ 0 & 0 & 0 & (1 - T'_{KL1})T_{KK} & T'_{KL2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中 T'_{BL2} ——案板表面气单胞菌到青菜转移率(场景 2)

T'_{HL2} ——手表面气单胞菌到青菜转移率(场景 2)

T'_{KL2} ——刀具表面气单胞菌到青菜转移率(场景 2)

此时各介质带菌量为 $\mathbf{b}_{L2} = \mathbf{b}_0 T_{CM} T_{CL2} = (b_{12}, b_{22}, b_{32}, b_{42}, b_{52})$ 。

若分割冷却猪肉后及时更换案板,气单胞菌的总数也将发生变化,此时可将被污染的手和刀具视作切割青菜过程中的同一污染源,此时三者所带气单胞菌的数量 $\mathbf{b}_{M2} = (b_1, b_3 + b_4, b_5)$,此种场景下,气单胞菌在分割青菜过程中的转移概率矩阵表示为

$$T_{CL3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - T'_{HKL} & T'_{HKL} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

式中 T'_{HKL} ——手和刀具表面到气单胞菌的转移率

此时猪肉、手和刀具、青菜所带气单胞菌的数量为 $\mathbf{b}_{L3} = \mathbf{b}_{M2} T_{CL3} = (b_{13}, b_{343}, b_{53})$ 。

同理,场景 4 和场景 5 下各介质表面气单胞菌的最终数量为 $\mathbf{b}_{L4} = \mathbf{b}_{M3} T_{CL4} = (b_{14}, b_{244}, b_{54})$ 、 $\mathbf{b}_{L5} = \mathbf{b}_{M4} T_{CL5} = (b_{15}, b_{234}, b_{55})$ 。其中, $\mathbf{b}_{M3} = (b_1, b_2 + b_4, b_5)$ 、 $\mathbf{b}_{M4} = (b_1, b_2 + b_3, b_5)$, T_{CL4} 和 T_{CL5} 分别表示为

$$T_{CL4} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - T'_{BHL} & T'_{BHL} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$T_{CL5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - T'_{BKL} & T'_{BKL} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{9}$$

式中 T'_{BHL} ——案板和手表面到气单胞菌转移率
 T'_{BKL} ——案板和刀具表面到气单胞菌转移率

2 结果与分析

2.1 手表面恢复率的分布拟合

采用@Risk 5.5 软件对手表面气单胞菌的恢复率进行最佳分布拟合得知,Normal(0.73, 0.16) 可对恢复率进行较好地描述,其中最大值和最小值分别为 0.89 和 0.44。

2.2 介质表面气单胞菌的残留率

为满足构建场景 2 下气单胞菌转移概率矩阵的需求,补充了使用定量清水清洗案板、手和刀具后气单胞菌的残留率,如表 1 所示,3 种介质表面残留率的平均值分别为 0.099、0.018、0.062,标准差分别是 0.064、0.017、0.039。经 SPSS 18.0 软件显著性检验可知,经定量清水冲洗后,案板、刀具表面气单胞菌的残留率无显著性差异($p > 0.05$),而手表面气单胞菌的残留率显著低于前两者($p < 0.05$)。

表 1 经清洗后不同介质表面气单胞菌的残留率

Tab.1 Residual rate of *Aeromonas* spp. on boards, hands and knives after cleaning

介质类型	变量	残留率
案板	T_{BB}	0.099 ± 0.064^a
手	T_{HH}	0.018 ± 0.017^b
刀具	T_{KK}	0.062 ± 0.039^{ab}

注:同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

2.3 气单胞菌的转移率

对王海梅等^[16]测定所得的不同场景下气单胞菌的转移率采用@Risk 5.5 软件进行最佳分布拟合,并对冷却猪肉所带气单胞菌向案板、手、刀具的转移率采用恢复率进行校正,如表 2 所示。由文献[16]可知,试验测定所得猪肉中气单胞菌到案板、刀具及手的转移率的平均值分别为 0.16、0.012、0.12,而经过最佳分布拟合及恢复率校正后,三者的平均值分别为 0.33、0.018、0.25,此结果与上述文献中经试验测定所得的转移率平均值有一定偏差。

2.4 交叉污染前后介质表面的带菌量

(1)猪肉初始污染水平

冷却猪肉中气单胞菌的初始污染水平如图 1 所示,污染范围从 $-0.81 \lg \text{CFU/g}$ (5% 置信水平)至 $7.65 \lg \text{CFU/g}$ (95% 置信水平)。

(2)分割猪肉后各介质表面气单胞菌污染水平

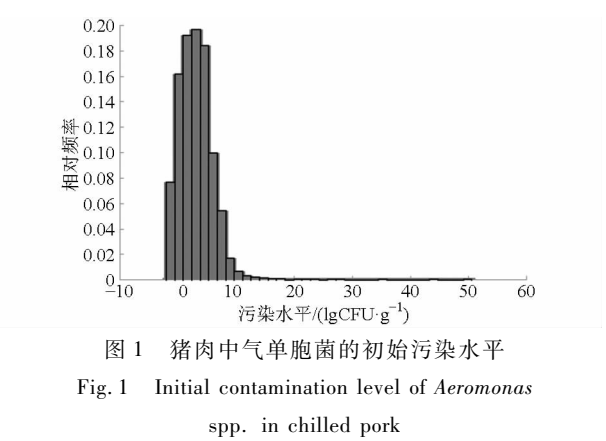
分割猪肉过程中,气单胞菌被部分转移至案板、手和刀具表面并部分残留于猪肉表面。根据 1.5 节中所构建的气单胞菌转移概率矩阵,以场景 1 为例,

表 2 气单胞菌在不同厨房介质间的转移率

Tab.2 Transfer rates of *Aeromonas* spp. between kitchen objects

不同状态	变量	数值	操作行为	转移途径
分割猪肉	T'_{MB}	0.33	CM	冷却猪肉到案板
	T'_{MK}	0.018	CM	冷却猪肉到刀具
	T'_{MH}	0.25	CM	冷却猪肉到手
场景 1	T'_{BL1}	0.20	CL	案板到青菜
	T'_{KL1}	0.052	CL	刀具到青菜
	T'_{HL1}	0.087	CL	手到青菜
场景 2	T'_{BL2}	0.004 3	CL	清洗后的案板到青菜
	T'_{KL2}	0.000 84	CL	清洗后的刀具到青菜
	T'_{HL2}	0.004 3	CL	清洗后的手到青菜
场景 3	T'_{KHL}	0.18	CL	更换案板后刀具及手到青菜
场景 4	T'_{BHL}	0.37	CL	更换刀具后案板及手到青菜
场景 5	T'_{BKL}	0.22	CL	彻底清洗手后案板及刀具到青菜

注:场景 1 ~ 5 如文献[16]中所示。



对分割猪肉及分割青菜前后不同介质表面气单胞菌数量进行计算。

冷却猪肉被分割后其表面气单胞菌的残留水平及案板、手、刀具表面污染水平分别如图 2 ~ 5 所示。从图 2 可知,冷却猪肉中气单胞菌的残留污染范围从 $-0.48 \lg \text{CFU/g}$ (5% 置信水平)至 $4.51 \lg \text{CFU/g}$ (95% 置信水平)。分割冷却猪肉后案板、手及刀具的污染范围分别为: $-0.19 \lg \text{CFU/cm}^2$ (5% 置信水平)至 $1.86 \lg \text{CFU/cm}^2$ (95% 置信水平)、 $-0.13 \lg \text{CFU/cm}^2$ (5% 置信水平)至 $1.23 \lg \text{CFU/cm}^2$ (95% 置信水平)、 $-0.007 7 \lg \text{CFU/cm}^2$ (5% 置信水平)至 $0.069 \lg \text{CFU/cm}^2$ (95% 置信水平)。

(3)分割青菜后各介质表面气单胞菌污染水平

若分割冷却猪肉后,对被污染的介质不经任何处理而直接用于分割青菜(场景 1),则分割青菜后,案板、手、刀具表面气单胞菌的残留水平分别如图 6 ~ 8 所示。污染范围分别从 $-0.16 \lg \text{CFU/cm}^2$ (5% 置信水平)至 $1.50 \lg \text{CFU/cm}^2$ (95% 置信水平)、 $-0.11 \lg \text{CFU/cm}^2$ (5% 置信水平)至 $1.16 \lg \text{CFU/cm}^2$ (95% 置信水平)、 $-0.006 9 \lg \text{CFU/cm}^2$ (5% 置信

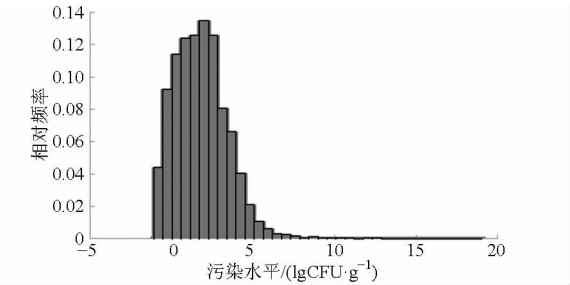


图 2 被分割后的冷却猪肉中气单胞菌的污染水平
Fig. 2 Contamination level of *Aeromonas* spp. on chilled pork after cutting

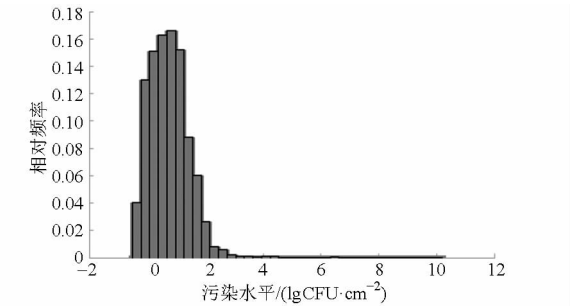


图 3 分割冷却猪肉后案板表面气单胞菌的污染水平
Fig. 3 Contamination level of *Aeromonas* spp. on boards after cutting chilled pork

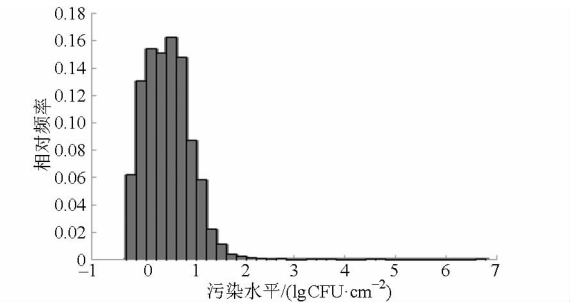


图 4 分割冷却猪肉后手表面气单胞菌的污染水平
Fig. 4 Contamination level of *Aeromonas* spp. on hands after cutting chilled pork

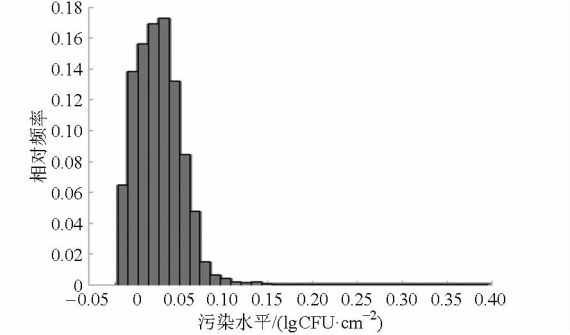


图 5 分割冷却猪肉后刀具表面气单胞菌的污染水平
Fig. 5 Contamination level of *Aeromonas* spp. on knives after cutting chilled pork

水平)至 0.066 lg CFU/cm² (95% 置信水平)。

采用被气单胞菌污染的案板、刀具等分割青菜时,气单胞菌被部分转移至青菜表面。此时,青菜中气单胞菌污染水平见图 9。

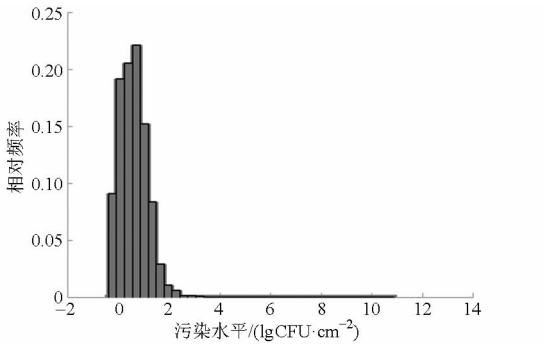


图 6 分割青菜后案板表面气单胞菌的污染水平
Fig. 6 Contamination level of *Aeromonas* spp. on boards after cutting *B. chinensis*

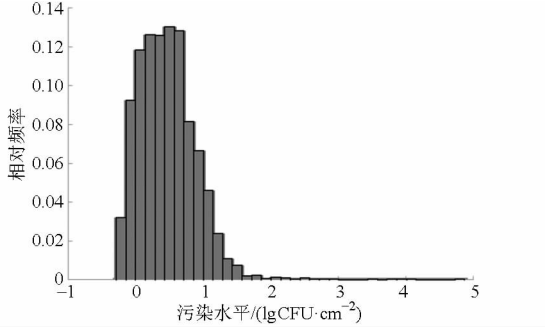


图 7 分割青菜后手表面气单胞菌的污染水平
Fig. 7 Contamination level of *Aeromonas* spp. on hands after cutting *B. chinensis*

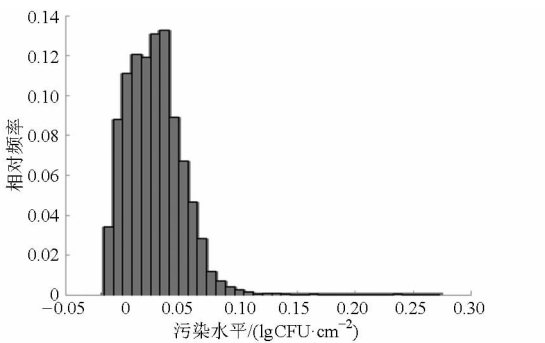


图 8 分割青菜后刀具表面气单胞菌的污染水平
Fig. 8 Contamination level of *Aeromonas* spp. on knives after cutting *B. chinensis*

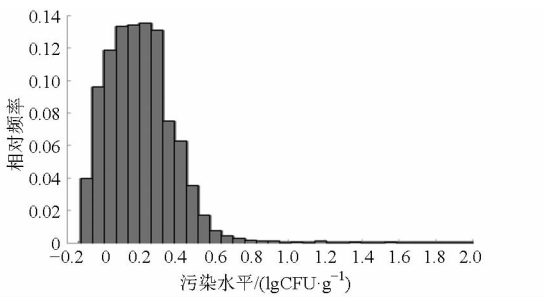


图 9 经交叉污染后青菜中气单胞菌的污染水平
Fig. 9 Contamination level of *Aeromonas* spp. on *B. chinensis* trough cross-contamination

从图 9 可知,交叉污染导致青菜中气单胞菌的污染水平从 -0.052 lg CFU/g (5% 置信水平)至

0.49 lg CFU/g(95% 置信水平)。由此可知,采用转移矩阵形式得到的青菜中气单胞菌的污染水平低于文献[16]中采用转移率概率分布加和形式计算得到的青菜中气单胞菌污染水平(−0.008 lg CFU/g(5%置信水平)至1.44 lg CFU/g(95%置信水平))。

2.5 不同场景下各介质污染水平

不同场景下气单胞菌的交叉污染途径和气单胞

菌在不同介质间的转移率均有所不同,图1~9仅对分割猪肉后及场景1下分割青菜后各介质表面的带菌量进行了描述,表3对其他场景下各介质表面气单胞菌的污染水平进行了补充。从表3可得知分割猪肉前后及分割青菜前后各介质表面气单胞菌数量的平均值及90%的置信区间。

表 3 不同场景下不同状态时各介质表面气单胞菌的污染水平

Tab.3 Contamination level of <i>Aeromonas</i> spp. on different items at different stages				
状态	场景	介质	带菌量平均值	污染范围(90% 置信区间)
分割猪肉前		猪肉	3.02 lg CFU/g	[−0.81 lg CFU/g, 7.65 lg CFU/g]
		猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.48 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
分割猪肉后		案板	0.75 lg CFU/cm ²	[−0.19 lg CFU/cm ² , 1.86 lg CFU/cm ²]
		手	0.51 lg CFU/cm ²	[−0.13 lg CFU/cm ² , 1.23 lg CFU/cm ²]
		刀具	0.028 lg CFU/cm ²	[−0.007 7 lg CFU/cm ² , 0.069 lg CFU/cm ²]
		青菜	0	0
		猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.49 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
分割青菜后	场景 1	案板	0.61 lg CFU/cm ²	[−0.16 lg CFU/cm ² , 1.50 lg CFU/cm ²]
		手	0.47 lg CFU/cm ²	[−0.11 lg CFU/cm ² , 1.16 lg CFU/cm ²]
		刀具	0.026 lg CFU/cm ²	[−0.006 9 lg CFU/cm ² , 0.066 lg CFU/cm ²]
		青菜	0.20 lg CFU/g	[−0.052 lg CFU/g, 0.49 lg CFU/g]
		猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.49 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
	场景 2	案板	0.074 lg CFU/cm ²	[−0.020 lg CFU/cm ² , 0.18 lg CFU/cm ²]
		手	0.009 4 lg CFU/cm ²	[−0.002 4 lg CFU/cm ² , 0.023 lg CFU/cm ²]
		刀具	0.001 5 lg CFU/cm ²	[−0.000 78 lg CFU/cm ² , 0.001 6 lg CFU/cm ²]
		青菜	0.003 7 lg CFU/g	[−0.002 5 lg CFU/g, 0.003 8 lg CFU/g]
		猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.49 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
分割青菜后	场景 3	手和刀具	0.44 lg CFU/cm ²	[−0.12 lg CFU/cm ² , 1.10 lg CFU/cm ²]
		青菜	0.098 lg CFU/g	[−0.025 lg CFU/g, 0.25 lg CFU/g]
		猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.49 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
	场景 4	案板和手	0.68 lg CFU/cm ²	[−0.17 lg CFU/cm ² , 1.68 lg CFU/cm ²]
		青菜	0.40 lg CFU/g	[−0.10 lg CFU/g, 1.00 lg CFU/g]
	场景 5	猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.49 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
		案板和刀具	0.49 lg CFU/cm ²	[−0.13 lg CFU/cm ² , 1.22 lg CFU/cm ²]
		青菜	0.14 lg CFU/g	[−0.038 lg CFU/g, 0.35 lg CFU/g]
		猪肉	1.82 lg CFU/g	[−0.49 lg CFU/g, 4.51 lg CFU/g]
		案板和刀具	0.49 lg CFU/cm ²	[−0.13 lg CFU/cm ² , 1.22 lg CFU/cm ²]
		青菜	0.14 lg CFU/g	[−0.038 lg CFU/g, 0.35 lg CFU/g]

3 讨论

基于单个细菌在一次交叉污染发生的过程中只能被转移到一个介质表面的假设,采用矩阵方式将气单胞菌的转移路径及被转移的可能性集中于一个二维数据表格之中。与采用转移率概率分布探究交叉污染对介质表面带菌量的方式相比,该方式有一些显著优点,即不仅能对细菌受体带菌量的变化进行计算,同时也能量化细菌供体带菌量的变化。如在分割冷却猪肉前,猪肉中气单胞菌的带菌量的平均值为3.02 lg CFU/g,对其进行分割后,由于气单胞菌向案板、手及刀具的转移,此时猪肉中气单胞菌带菌量的平均值为1.82 lg CFU/g。

另外,从上文结果可知,在场景1下,采用矩阵

形式得到的青菜中气单胞菌的污染水平低于采用转移率概率分布计算得到的青菜中气单胞菌污染水平。产生上述现象的原因可能如下:两种计算方式均采用蒙特卡罗抽样随机抽样方法,在使用转移率概率分布的加和形式计算交叉污染对青菜中气单胞菌带菌量的影响时,随机抽样的方式可能导致加和后的转移率出现异常值(大于1)^[20],从而高估气单胞菌在不同介质间的交叉污染水平;而采用矩阵方式对交叉污染进行量化时,严格基于单个细菌只能被转移到一个介质表面的假设,可有效避免上述现象^[10]。

此外,研究表明,消费者分割冷却猪肉后的不同行为会对各介质表面气单胞菌的数量产生重要影响。如在场景1时,案板、手、刀具及青菜的最终带

菌量的平均值分别为 0.61、0.47、0.026 lg CFU/cm² 和 0.20 lg CFU/g, 90% 的置信区间分别为 [-0.16 lg CFU/cm², 1.50 lg CFU/cm²]、[-0.11 lg CFU/cm², 1.16 lg CFU/cm²]、[0.006 9 lg CFU/cm², 0.066 lg CFU/cm²] 和 [-0.052 lg CFU/g, 0.49 lg CFU/g]; 场景 2 下, 各介质的最终带菌量分别为 0.074、0.009 4、0.001 5 lg CFU/cm² 和 0.003 7 lg CFU/g, 90% 的置信区间分别为 [-0.020 lg CFU/cm², 0.18 lg CFU/cm²]、[-0.002 4 lg CFU/cm², 0.023 lg CFU/cm²]、[-0.000 78 lg CFU/cm², 0.001 6 lg CFU/cm²] 和 [-0.002 5 lg CFU/g, 0.003 8 lg CFU/g]。由此可知, 对分割猪肉后被污染的介质进行及时清洗, 可有效降低交叉污染水平。此外, 在场景 3 和场景 5 时, 即分割猪肉后及时更换案板或及时清洗双手均能有效降低各介质表面气单胞菌的污染水平。在 Ravishankarp 等^[6] 和 Soares 等^[21] 研究中也得到上述类似结论。在场景 4 时(更换刀具)青菜的污染水平高于场景 1, 产生此结果的原因推论如下: 试验测

定所得转移率存在一定偏差; 刀具对交叉污染的影响较小。本文研究也证实, 作为交叉污染中介质的案板、刀具、手等, 在某些场景下分割青菜后仍具有较高的带菌量, 由董庆利等^[17] 对气单胞菌在不同食物接触表面存活能力的研究结果可知, 气单胞菌在介质表面具有一定的存活能力, 此现象极易导致二次交叉污染的发生。科学有效地对交叉污染中介质进行清洗对于降低致病菌交叉污染水平具有较大实际意义。

4 结束语

采用矩阵对气单胞菌在不同场景及不同介质间的转移途径和可能性进行了定量描述, 此种方式可对分割猪肉及分割青菜前后各介质表面气单胞菌的数量变化进行同时量化, 且在对多途径交叉污染进行定量时效果优于采用概率分布的加和形式。此外, 此研究可为消费者行为习惯提供科学指导, 并为科学评估致病菌交叉污染对人们健康带来的潜在风险提供理论基础。

参 考 文 献

1 李苗云. 冷却猪肉中微生物生态分析以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 anlysis of microbial ecology in chilled pork and shelf life predictive model[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006. (in Chinese)

2 曲芬, 崔恩博, 夏光明, 等. 肝硬化患者气单胞菌败血症 50 例临床特征及转归[J]. 中华内科杂志, 2003, 42(12): 840-842.

3 董利平, 周缀琴. 一起嗜水气单胞菌引起的食物中毒[J]. 中国人兽共患病杂志, 2005, 21(7): 637.

4 卞爱红, 贺玉静. 一起由嗜水气单胞菌引起的食物中毒调查报告[J]. 中国病原生物学杂志, 2010, 5(8): 2.

5 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)

6 Ravishankar S, Zhu L B, Jaroni D. Assessing the cross contamination and transfer rates of *Salmonella enterica* from chicken tolettuce under different food-handling scenarios[J]. Food Microbiology, 2010, 27(6): 791-794.

7 Dawson P, Han I, Cox M, et al. Residence time and food contact time effects on transfer of *Salmonella typhimurium* from tile, wood and carpet: testing the five-second rule [J]. Journal of Applied Microbiology, 2007, 102(4): 945-953.

8 Sattar S A, Springthorpe S, Mani S, et al. Transfer of bacteria from fabrics to hands and other fabrics: development and application of a quantitative method using *Staphylococcus aureus* as a model[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 90(6): 962-970.

9 Smid J, De Jonge R, Havelaar A H, et al. Variability and uncertainty analysis of the cross-contamination ratios of salmonella during pork cutting[J]. Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis, 2013, 33(6): 1100-1115.

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 董庆利, 曾静, 余华星, 等. 不同贮藏温度下冷却猪肉货架期预测模型的构建[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 304-308.
Dong Qingli, Zeng Jing, Yu Huaxing, et al. Predictive modeling of the shelf-life of chilled pork at different temperatures[J]. Food Science, 2012, 33(20): 304-308. (in Chinese)

12 董庆利, 曾静, 丁甜, 等. 猪肉中气单胞菌生长与失活的 Gompertz 模型构建[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 118-122.
Dong Qingli, Zeng Jing, Ding Tian, et al. Establishment of Gompertz model for the growth and inactivation of *Aeromonas* spp. in pork[J]. Food Science, 2011, 32(11): 118-122. (in Chinese)

13 董庆利, 高翠, 丁甜, 等. 冷却猪肉中气单胞菌生长预测模型的建立和检验[J]. 生物加工工程, 2012, 10(2): 50-54.
Dong Qingli, Gao Cui, Ding Tian, et al. Establishment and evaluation of predictive model for growth of *Aeromonas* spp. from chilled pork[J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2012, 10(2): 50-54. (in Chinese)

20 Price J C. An approach for analysis of reflectance spectra[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 64(3): 316 – 330.

21 王昌佐, 王纪华, 王锦地, 等. 裸土表层含水量高光谱遥感的最佳波段选择[J]. 遥感信息, 2003(4): 33 – 36.
Wang Changzuo, Wang Jihua, Wang Jindi, et al. The choice of best detecting band of hyperspectral remote sensing on surface water content of bare soil[J]. Remote Sensing Information, 2003(4): 33 – 36. (in Chinese)

22 Hu Xueyu. Application of visible/near-infrared spectra in modeling of soil total phosphorus[J]. Pedosphere, 2013, 23(4): 417 – 421.

23 Chang Chengwen, Laird D A. Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N[J]. Soil Science, 2002, 167(2): 110 – 116.

24 刘伟东, Baret F, 张兵, 等. 应用高光谱遥感数据估算土壤表层水分的研究[J]. 遥感学报, 2004, 8(5): 434 – 442.
Liu Weidong, Baret F, Zhang Bing, et al. Using hyperspectral data to estimate soil surface moisture under experimental conditions[J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(5): 434 – 442. (in Chinese)

25 Meer F V D. Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5(1): 55 – 68.

26 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

27 孙建英, 李民赞, 郑立华, 等. 基于近红外光谱的北方潮土土壤参数实时分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(3): 426 – 429.
Sun Jianying, Li Minzan, Zheng Lihua, et al. Real-time analysis of soil moisture, soil organic matter, and soil total nitrogen with NIR spectra[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(3): 426 – 429. (in Chinese)

28 Bowers S A, Smith S J. Spectrophotometric determination of soil water content[J]. Soil Science Society of America Journal, 1972, 36(6): 978 – 980.

29 Lobell D B, Asner G P. Moisture effects on soil reflectance[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(3): 722 – 727.

30 Liu Weidong, Baret F, Gu Xingfa, et al. Relating soil surface moisture to reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(2 – 3): 238 – 246.



(上接第 225 页)

14 董庆利, 高翠, 丁甜, 等. 不同试验条件下猪肉中气单胞菌生长预测模型的建立和验证[J]. 华南农业大学学报, 2012, 33(1): 82 – 86.
Dong Qingli, Gao Cui, Ding Tian, et al. Establishment and validation of growth predictive model of *Aeromonas* spp. from pork under different experimental conditions[J]. Journal of South China Agricultural University, 2012, 33(1): 82 – 86. (in Chinese)

15 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)

16 王海梅, 董庆利, 刘箐, 等. 不同场景下冷却猪肉中气单胞菌到青菜的交叉污染[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 196 – 200.
Wang Haimei, Dong Qingli, Liu Qing, 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)

17 董庆利, 王海梅, Pradeep K Malakar, 等. 气单胞菌在不同食物接触表面的存活与交叉污染[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 65 – 71.
Dong Qingli, Wang Haimei, Pradeep K Malakar, et al. Survival and cross-contamination of *Aeromonas* spp. on different food-contact surfaces[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(3): 65 – 71. (in Chinese)

18 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.

19 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.

20 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.

21 Soares V M, Pereira J G, Viana C, et al. Transfer of *Salmonella enteritidis* to four types of surfaces after cleaning procedures and cross-contamination to tomatoes[J]. Food Microbiolgy, 2012, 30(2): 453 – 456.