·调查报告与分析·

杭州市售海产品中副溶血性弧菌污染对居民健康影响：基于监测数据的定量风险评估

王玲莉，蒋皓，肖骁，黄利明，徐虹

杭州市疾病预防控制中心（杭州市卫生监督所），杭州 310021
通信作者：徐虹，E-mail：xuhong@hzcdc.com.cn

【摘　要】目的 评估浙江省杭州市海产品中副溶血性弧菌（VP）导致居民患病的风险，识别风险关键控制点，提出科学的风险管控建议和措施。**方法** 以 2011—2022 年杭州市售海产品中副溶血性弧菌含量数据和 2015 年杭州市居民食物消费量调查数据为基础，参考文献中副溶血性弧菌的生长模型和相关参数，采用蒙特卡罗方法模拟分析杭州市售海产品中副溶血性弧菌“从市场到餐桌”的生长变化情况，计算居民通过食用海产品摄入致病性副溶血性弧菌的数量，结合剂量–反应关系模型估算居民患副溶血性弧菌胃肠炎的风险。**结果** 杭州市售海产品中副溶血性弧菌阳性率为 31.78%（90%*CI*=28.38%～35.42%），初始污染水平为–0.20（90%*CI*= –0.82～2.04）lg CFU/g；杭州市居民每天通过食用海产品引起副溶血性弧菌胃肠炎的平均发病风险为 1.93×10^{-5}，每年每百万居民因消费海产品导致副溶血弧菌感染而患病的人数约为 7 044 例。敏感性分析表明，患病风险与初始污染水平、储运温度和时间等参数有较高相关性。**结论** 杭州市居民食用海产品存在一定的健康风险，控制零售海产品中副溶血性弧菌污染浓度，严格控制水产品储运温度和时间是减少副溶血性弧菌感染的关键。

【关键词】 副溶血性弧菌（*Vibrio parahaemolyticus*）；海产品；定量风险评估；食源性疾病；杭州市

Quantitative risk assessment of the effect of *Vibrio parahaemolyticus* in retail seafood on the health of residents in Hangzhou city: based on monitoring data

WANG Lingli, JIANG Hao, XIAO Xiao, HUANG Liming, XU Hong (*Hangzhou Center for Disease Control and Prevention (Hangzhou Health Supervision Institution)*, *Hangzhou* 310021, *China*)
Corresponding author: XU Hong, E-mail: xuhong@hzcdc.com.cn

【Abstract】 Objective To estimate the risk of *Vibrio parahaemolyticus*-caused illness associated with the consumption of seafood in Hangzhou, and identify the key points for risk control, thereby providing evidence for adopting effective risk management measures. **Methods** The surveillance data of *V. parahaemolyticus* concentration in seafood in Hangzhou from 2011 to 2022 and Hangzhou residents′ seafood consumption data in 2015 were extracted. According to the growth model of *V. parahaemolyticus* and related parameters from scientific literature, the Monte Carlo simulation method was employed to analyze the change of *V. parahaemolyticus* concentration in seafood from market to table and quantify the exposure of *V. parahaemolyticus* in the residents by consuming seafood in Hangzhou. Finally, a dose-response model was adopted to assess the risk of gastroenteritis caused by *V. parahaemolyticus*. **Results** The positive rate of *V. parahaemolyticus* in retail seafood in Hangzhou was 31.78% (90%*CI*: 28.38%–35.42%), with an initial contamination level of –0.20 (90%*CI*: –0.82 to 2.04) lg CFU/g. The average daily incidence risk of gastroenteritis caused by *V. parahaemolyticus* in seafood among residents was 1.93×10^{-5} in Hangzhou. The number of people infected with *V. parahaemolyticus* per million residents per year due to seafood consumption was 7 044. The sensitivity analysis showed that the risk was mainly and positively correlated with the initial contamination level of *V. parahaemolyticus* in seafood and the transportation and storage temperature and time of seafood. **Conclusions** There is certain health risk due to the consumption of seafood in Hangzhou. The risk could be effectively reduced by controlling the contamination level of *V. parahaemolyticus* in retail seafood and strictly controlling the storage and transportation temperature and time of seafood.

【Keywords】 *Vibrio parahaemolyticus*; seafood; quantitative risk assessment; foodborne disease; Hangzhou city

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0 DOI：10.11847/zgggws1146910
基金项目：杭州市医药卫生科技重点项目（ZD20230095）
第一作者：王玲莉（1980—），副主任医师，硕士，研究方向：食品安全风险监测和风险评估。
收稿日期：2025-01-09　修回日期：2025-03-24　录用日期：2025-09-15
利益冲突：不存在　伦理审查：免除审查　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

微生物性食源性疾病是全球重要的食品安全问题，副溶血性弧菌（*Vibrio parahaemolyticus*, Vp）是引起细菌性食源性疾病的主要致病菌，由该菌引起的食源性疾病常与食用未经充分煮熟的海产品有关。1950 年在日本发生的一次暴发性食物中毒事件中首次分离出副溶血性弧菌[1]，为革兰氏阴性、无芽孢和荚膜、单端单鞭毛的球杆菌，兼性厌氧或微需氧，最适生长温度为 30～37 ℃，最适 pH 值 7.4～8.0，广泛分布于近海岸的海水、海水沉积物及鱼、虾、蟹、贝等水产品中。一般认为副溶血性弧菌的主要致病作用与其可产生耐热直接溶血素（thermostable direct hemolysin, TDH）和耐热直接相关溶血素（thermostable direct related hemolysin, TRH）有关[2]。副溶血性弧菌感染引起的食源性疾病主要以胃肠炎为主，潜伏期一般为 4～24 h，临床症状包括腹泻、头痛、恶心、呕吐、腹部绞痛和低热，严重的还会引起败血症危及生命。我国食源性疾病暴发事件监测系统数据显示，副溶血性弧菌已经超过沙门氏菌，成为食源性疾病暴发最主要的致病因素[3]。

风险评估已成为当前国际社会普遍应用的食品安全宏观管理模式，是制定完善食品安全标准和解决国际食品贸易争端的重要依据。微生物定量风险评估通过采用数学模型预测微生物在食品中各环节的变化，最终计算并描述其风险大小。可识别食品从销售、运输到贮存、加工过程中的主要风险来源，以此提出干预措施，为食品安全问题提供可行的解决途径。鉴于浙江省杭州市售海产品中副溶血性弧菌污染严重且居民海产品消费量较大，本研究对居民通过食用海产品感染副溶血性弧菌病的风险进行初步定量风险评估，以期为海产品中副溶血性弧菌的风险管理提供理论依据。结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 数据收集　包括海产品中副溶血性弧菌污染水平数据、人群海产品消费水平和消费习惯数据的收集以及评估参数的设定。

1.1.1 污染水平数据　海产品中副溶血性弧菌含量数据来自 2011—2022 年杭州市食品安全风险监测，涵盖杭州市各区、县（市）农贸市场、超市、水产批发市场及餐饮店等的监测样本。包括 203 份鱼类、69 份甲壳类、185 份贝壳类和 15 份软体动物类共 472 份海产品。采用 GB 4789.7—2008《食品卫生微生物学检验副溶血性弧菌检验》或 GB 4789.7—2013《食品微生物学检验副溶血性弧菌检验》对样本进行定量检测，检出限为 0.3 MPN/g。

1.1.2 消费量数据　浙江省疾病预防控制中心于 2015 年开展居民食物消费量调查，该调查采用整群随机抽样方法在全省选择 10 个调查点（杭州市淳安县和建德市是其中两个调查点），每个调查点抽取 3 个乡镇（街道），每个乡镇（街道）抽取 2 个村（居委会），每个村（居委会）抽取 50 户，每个被抽中家庭中所有≥3 岁常住家庭成员在签署“知情同意书”后确认为调查对象。通过 3 次非连续的 24 h 膳食回顾法，获得 308 户 925 名≥3 岁对象的食物消费量数据和体重数据。调查问卷来自浙江省 2015 年居民食物消费状况调查工作手册。

1.1.3 其他评估参数　海产品消费行为习惯参数包括海产品购买后运输时间、运输温度、储存方式及储存时间、生食比例主要来源于参考文献 [4–5]。采用 pert（0.5，1，2.5）分布[4–5] 描述海产品从零售点到消费者家中的运输时间，Kumaraswamy（4.031 3，9.322 1，0，50）分布（根据杭州市 2014—2016 年 1 096 d 的每日最高气温数据拟合得到）描述海产品从零售到厨房运输过程的环境温度；采用 pert（0.5，1，3）分布[4–5] 描述厨房常温储存时间，采用 pert（0.5，6，48）分布[4–5] 描述厨房冷藏储存时间；根据购买后常温储存和冷藏储存的人群比例（44%:56%）[4]，采用 Discrete[({N 常温:N 冷藏)，(44%:56%)] 分布描述海产品经厨房储存后副溶血性弧菌的总体污染水平；居民生食海产品的比例分布函数为 Beta（33，559）[4]。食品中致病性副溶血性弧菌比例，采用 uniform（0.04，0.33）分布[6] 描述。

1.2 方法

1.2.1 居民致病性副溶血性弧菌暴露水平　采用 Normal（38.90，40.49，Truncate（0，））分布描述居民海产品消费量（*A*）；结合海产品生食比例（*P*2）、致病性副溶血性弧菌比例（*P*1）及经储存后海产品中副溶血性弧菌含量（*Nt*），根据公式 $D=(10\text{^}Nt)\times P1\times A\times P2$，得到居民通过消费不同储存模式海产品摄入致病性副溶血性弧菌的量（*D*）。

1.2.2 患病概率　将杭州市居民通过食用海产品摄入致病性副溶血性弧菌的量（*D*）代入剂量–反应模型：$1-[1+D/(1.3\times10^6\times27)]^{-0.6}$，运用@risk7.6 软件拟合杭州市居民由于食用海产品引起副溶血性弧菌肠胃炎的概率。

1.3 主要评估模型

1.3.1 副溶血性弧菌生长动力学模型　采用预测微生物模型估算市售海产品中副溶血性弧菌从零售、运输、储存到消费阶段的变化情况。有数据表明，环境温度保持在 20～30 ℃，在 2～3 h 内海

产品副溶血性弧菌的数量可以从 10^2/g～10^3/g 增加到>10^5/g，但在温度<7 ℃ 时开始死亡，最高死亡率在 0～4 ℃ 范围内[7]；温度在 5～15 ℃ 时，副溶血性弧菌生长很缓慢，基本不生长[4]。

本研究通过分析比较当前国内外副溶血性弧菌在各种基质中的生长预测模型，结合杭州市居民的海产品消费特点，决定采用上海海洋大学唐晓阳等[8]建立的致病性副溶血性弧菌大流行克隆株 O3:K6 在南美白对虾中的生长预测模型（一级模型 $Nt=N0+\mu m\times(t-\lambda)$，二级模型 $\sqrt{\mu m}=0.032\,8\times(T-1.046)$；其中 μm 为细菌最大比生长速率，$\lambda$ 为延滞期，$N0$ 为细菌初始污染水平，Nt 为时间为 t 时的细菌污染水平，T 为环境温度）来估计杭州市售出海产品中副溶血性弧菌在 16～40 ℃ 之间的生长情况；采用一级失活模型（$Nt=N0-(1/D)\times t$，D 值表示细菌降低一个 log 所需的时间，取 4 ℃ 时 D 值拟合值 173.5）来模拟≤5 ℃ 海产品中副溶血性弧菌的失活情况；温度处在 6～15 ℃ 之间时，采用不生长模型估计海产品中副溶血性弧菌的消长情况。

1.3.2　剂量–反应关系模型　剂量–反应关系模型描述人体摄入副溶血性弧菌的量与患病概率之间的对应关系，主要基于国外进行的多项人体试食实验的数据[9–10]，拟合数学模型，并外推人群预期暴露的风险。本次评估使用的模型参考了世界卫生组织和美国食品药品监督管理局公布的评估报告[11]。其数学公式表达为：

$$\Pr(\text{ill}|\text{d})=1-\left(1+\frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \qquad (1)$$

其中 Pr(ill|d)是摄食一定剂量的副溶血性弧菌后患病的概率；d 是致病性副溶血性弧菌的摄入量（CFU）；α 和 β 是 Beta-Poisson模型的形状和位置参数，分别设置为 0.6 和 1.31×10^6。

1.4　*评估方法*（表 1）　本次评估以杭州市零售海产品中副溶血性弧菌的初始污染水平为起点，根据副溶血性弧菌生长模型和相关参数，采用蒙特卡罗模拟方法，分析杭州市售海产品中副溶血性弧菌“从市场到餐桌”的生长变化情况。结合本市居民海产品消费量调查数据，通过剂量–反应关系模型估算居民通过食用海产品罹患副溶血性弧菌胃肠炎的风险，评估模型各种参数设置见表 1。敏感性分析采用 Spearman 相关分析，方法分析各因素与居民通罹患副溶血性弧菌病的相关关系。相关关系的绝对值越大，表示该因素对发病风险的影响越大。模型的运算及敏感性分析均在 @risk7.6 版进行。

表 1　风险评估参数设置
Table 1　Setting of risk assessment parameters

阶段	变量	定义	单位	公式
销售阶段	$P0$	VP初始污染率	%	Beta(151, 323)
	Lp	阳性样品VP污染水平	lg MPN/g	RiskCumul(–0.522 9, 3.041 4, {–0.521 4, –0.520 0, –0.443 7…., 3.041 4}, {0.013 2, 0.019 9, 0.092 7, 0.99})
	Ln	阴性样品VP污染水平	lg MPN/g	log(1/2LOD, 10)
	$N0$	VP初始污染水平	lg MPN/g	RiskDiscrete({Lp:Ln}, {$P0$:(1–$P0$)})
运输阶段	T	零售点到家庭的温度	℃	Kumaraswamy(4.0313, 9.3221, 0, 50)
	t	零售点到家庭的时间	h	pert(0.5, 1, 2.5)
	Um	生长速率	/h	(0.032 8×(T–1.046))^2
	M	海产品中VP最大生长密度	lg MPN/g	Uniform(6, 9)
		生长模型	lg MPN/g	$N0+Um\times(t-\lambda)$
		运输过程VP变化水平	lg MPN/g	if(or(T>15, T=15), 生长模型, if(and(T<15, T>4), 不生长模型, 失活模型)
	$N1$	运输过程VP最终污染水平	lg MPN/g	if($N1$>M, M, $N1$)
家庭储藏阶段	$t1$	厨房常温放置时间	h	pert(0.5, 1, 3)
		生长模型	lg MPN/g	$N1+Um\times(t1-\lambda)$
		厨房常温储存过程VP变化水平		if(or(T>15, T=15), 生长模型, if(and(T<15, T>4), 不生长模型, 失活模型)
	$N2$	厨房常温放置后VP菌量		if($N2$>M, M, $N2$)
	$t2$	厨房冷藏时间	h	pert(0.5, 6, 48)

续表 1
Table 1 Continued

阶段	变量	定义	单位	公式
	N2′	厨房冷藏后VP污染水平	lg MPN/g	*N*1–(1/*D*)×t2
	Nt	厨房储存后VP总体污染水平	lg MPN/g	riskdiscrete({*N2*:*N2′*}, {44%:56%})
				if(*Nt*>*M*, *M*, *Nt*)
消费阶段	*P*1	致病性VP比例	%	uniform(0.04, 0.33)
	A	海产品消费量	g/人·天	Normal[38.90, 40.49, Truncate(0,)]
	*P*2	海产品生食比例	%	beta(33, 559)
	D	消费海产品摄入致病性VP的量	MPN/g	*D*=(10^*Nt*)×*P*1×*A*×*P*2
患病概率	*Pd*	每人每天因食用海产品可能导致VP感染的患病概率	%	$1–[1+D/(1.3\times10^{6}\times27)]^{-0.6}$
	person	杭州市常住人口	人	11 965 000
	case-day	杭州市每天因食用海产品可能导致VP感染的患病例数	例	*Pd*×person
	case-year	杭州市每年因食用海产品可能导致VP感染的患病例数	例	case-day×365
	case-day-million	杭州市每百万人每天因食用海产品可能导致VP感染的患病例数	例	case-day×1 000 000
	case-year-million	杭州市每百万人每年因食用海产品可能导致VP感染的患病例数	例	case-day-million×365

1.5　统计分析　风险评估过程采用国际通用软件@Risk7.6(Palisade, USA)，在 Excel 2016 环境下建立评估模型。该模型采用蒙特卡洛模拟技术[12–13]，每一变量分布的模拟均采用 Latin Hypercube 抽样方法进行抽样，5 000 次迭代，1 次模拟。

2 结　果

2.1　杭州市海产品消费情况　根据 2015 年杭州市居民食物消费量调查结果，居民每天海产品的平均消费量为 38.90 g/d，标准差为 40.49 g/d。因此，设定杭州市居民海产品消费量分布为 Normal [38.90, 40.49, Truncate(0,)]。

2.2　市售海产品中副溶血性弧菌各阶段污染水平变化

2.2.1　市售海产品中副溶血性弧菌初始污染水平（图 1）　对 2011—2021 年采集 472 份海产品进行副溶血性弧菌定量检测，150 份样品中副溶血性弧菌检测阳性，阳性率为 31.78%(90%*CI*=28.38%～35.42%)。150 份阳性定量结果的 95% 污染水平范围为 0.36 MPN/g～125.9 MPN/g。根据拟合结果，杭州市售海产品中副溶血性弧菌初始污染水平 *N*0 为–0.20(90%*CI*= –0.82～2.04)lg(CFU/g)。

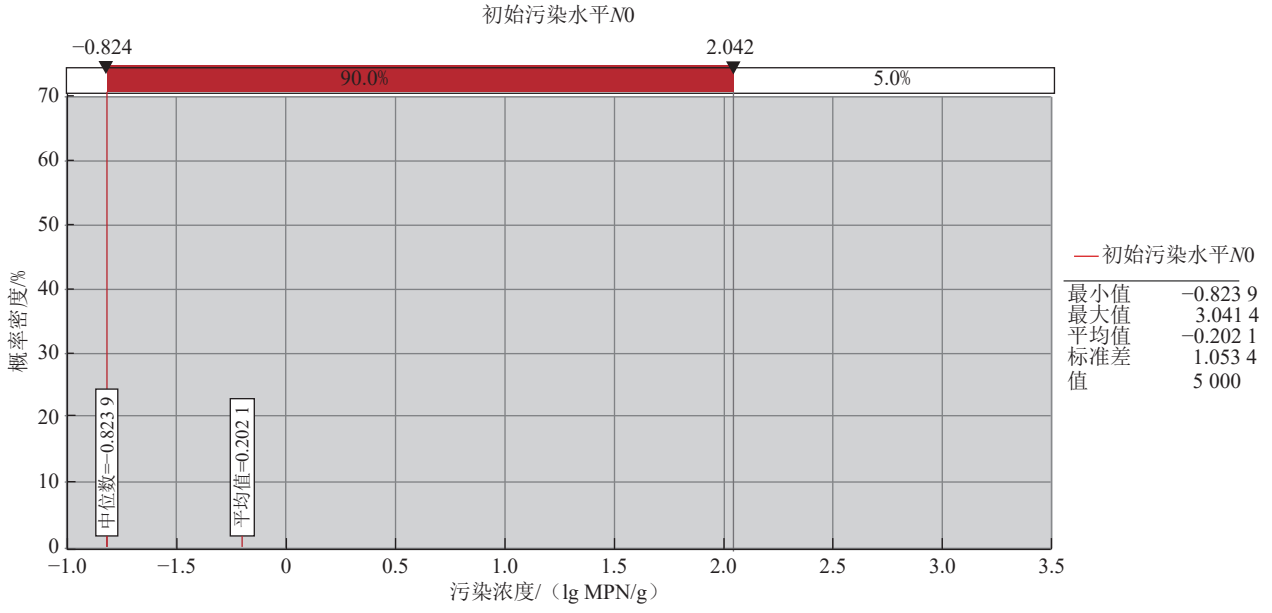


图 1　杭州市售海产品中副溶血性弧菌初始污染水平
Fig. 1　Initial contamination level of *Vibrio parahaemolyticus* in retail seafood

2.2.2　海产品经运输后副溶血性弧菌变化(图 2)　根据副溶血性弧菌生长预测模型和运输的时间和温度等参数，拟合得到运输后副溶血性弧菌的平均污染浓度 $N1$ 为 0.26(90%CI=−0.80～2.57)lg(CFU/g)。

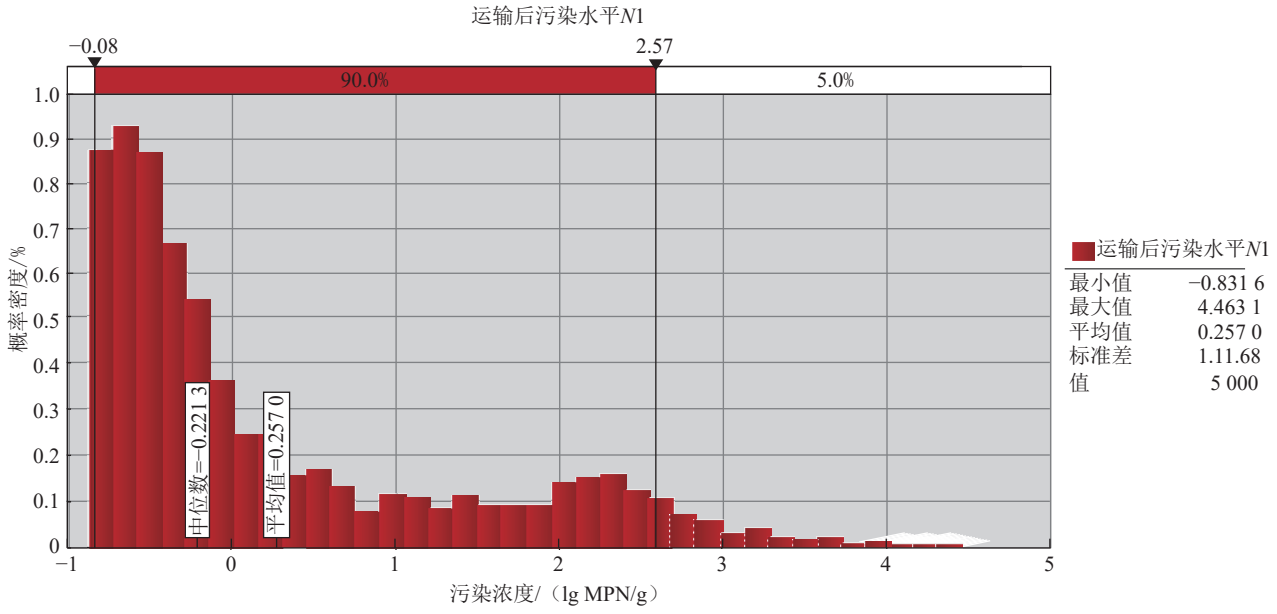


图 2　杭州市售海产品经运输后副溶血性弧菌污染水平

Fig. 2　Contamination level of *Vibrio parahaemolyticus* in retail seafood after transportation

2.2.3　海产品厨房储存后副溶血性弧菌变化(图 3)　根据副溶血性弧菌生长预测模型和厨房储存时间及温度等参数，拟合得到不同储存模式后副溶血性弧菌的污染水平。结果显示，冷藏储存后副溶血性弧菌的平均污染浓度(N 冷藏)为 0.18 lg(CFU/g)，较储存前消减 0.08 lg(CFU/g)；常温储存后副溶血性弧菌的平均污染浓度(N 常温)为 0.77 lg(CFU/g)，较储存前增长 0.51 lg(CFU/g)；储存后总体污染水平(Nt)为 0.45 lg(CFU/g)。常温储存后海产品中副溶血性弧菌平均污染水平(CFU/g)是冷藏储存后的 4 倍。

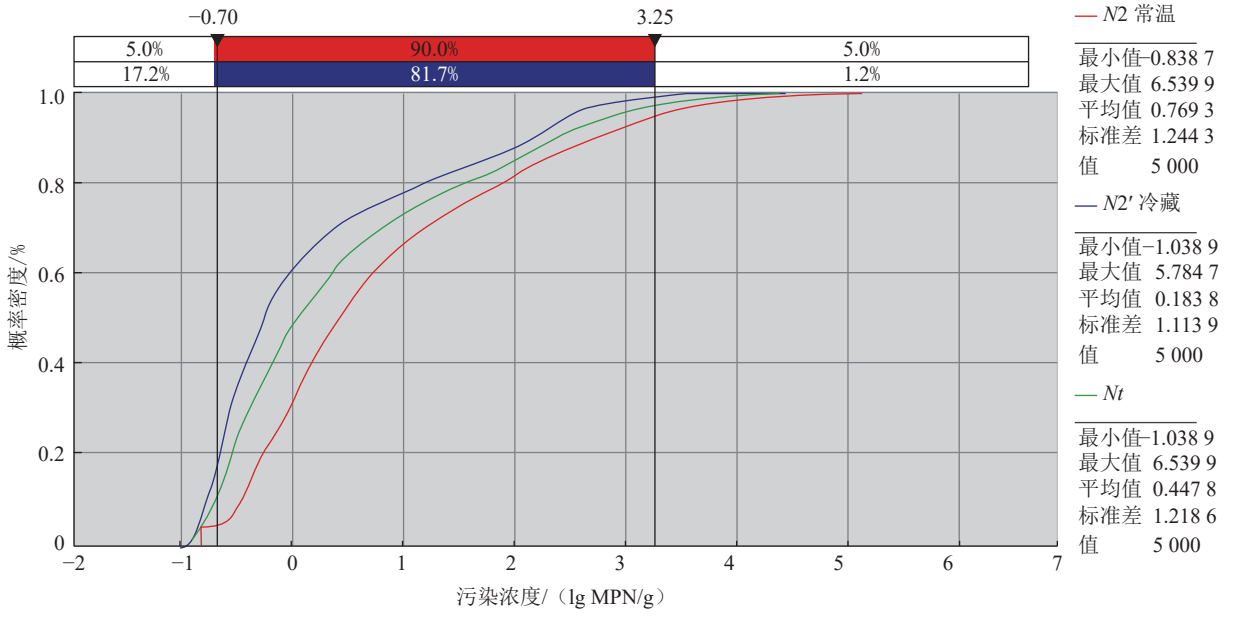


图 3　海产品经厨房储存后副溶血性弧菌污染水平

Fig. 3　Contamination level of *Vibrio parahaemolyticus* in retail seafood after storage in kitchen

2.3　居民致病性副溶血性弧菌暴露水平(图 4)　根据居民海产品消费量(A)，结合海产品生食比例($P2$)、致病性副溶血性弧菌比例($P1$)及经储存后海产品中副溶血性弧菌含量(Nt)，由公式 D=(10^Nt)×$P1$×A×$P2$，得到居民食用不同储存模式海产品摄入致病性副溶血性弧菌的量(D)。

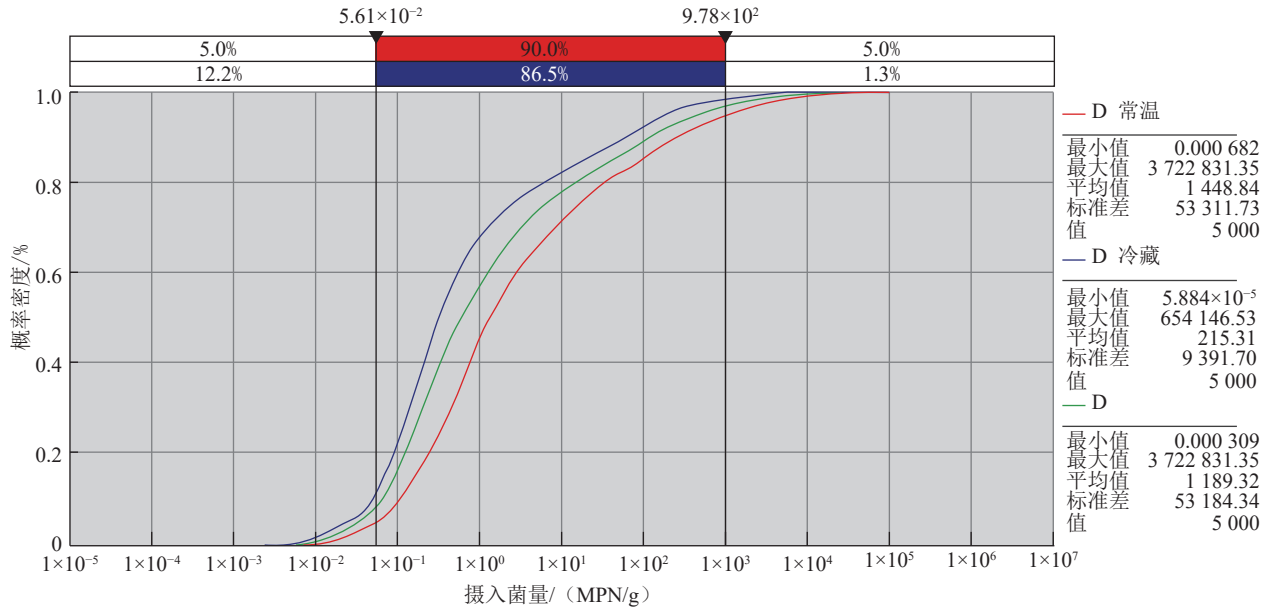


图 4　不同储存模式后居民摄入致病性副溶血性弧菌水平

Fig. 4　Level of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* ingested by residents after storage in different modes

2.4　患病概率（图 5、表 2）　运用@risk7.6 软件拟合杭州市居民由于食用海产品引起副溶血性弧菌胃肠炎的概率，并对不同储存方式和不同季节的风险差异分别进行评估。

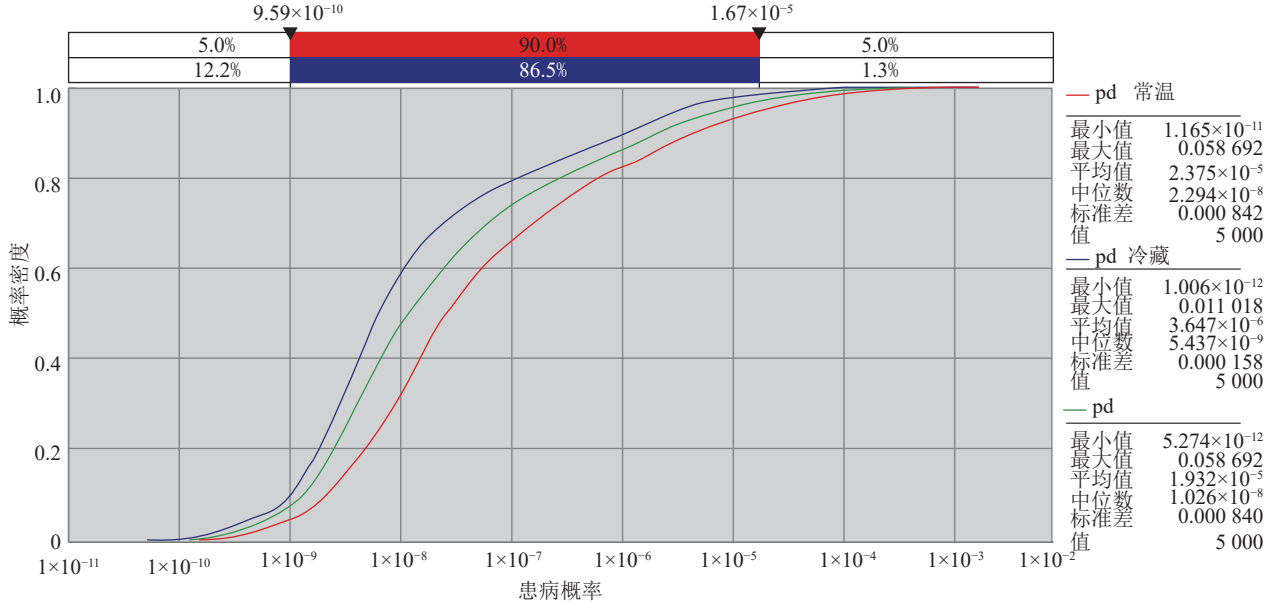


图 5　不同储存模式后居民消费海产品患病风险

Fig. 5　Disease risk associated with consumption of seafood after storage in different modes

表 2　居民不同季节消费海产品后患病风险

Table 2　Disease risk associated with consumption of seafood in different seasons

季节	最小值	最大值	众数	$\bar{x}$	$S_{\bar{x}}$
春	8.56×10^{-10}	5.85×10^{-4}	1.14×10^{-7}	2.46×10^{-5}	6.46×10^{-5}
夏	1.81×10^{-7}	1.82×10^{-2}	3.65×10^{-6}	1.52×10^{-4}	1.78×10^{-3}
秋	2.87×10^{-9}	2.29×10^{-3}	1.57×10^{-6}	5.47×10^{-5}	2.46×10^{-4}
冬	1.71×10^{-10}	5.33×10^{-5}	1.13×10^{-8}	4.43×10^{-7}	5.33×10^{-6}
全年	3.76×10^{-9}	1.85×10^{-3}	2.52×10^{-7}	1.93×10^{-5}	1.81×10^{-4}

杭州市居民每天通过食用海产品引起副溶血性弧菌胃肠炎的平均发病风险为 1.93×10^{-5}，每年每百万居民因消费海产品导致副溶血弧菌感染而患病的人数约为 7 044 例。对杭州市居民采用不同储存方式的风险差异进行估计，居民食用常温储存海产品后引起副溶血性弧菌胃肠炎的平

均发病风险(2.38×10^{-5})是食用冷藏储存海产品发病风险(3.65×10^{-6})的 6.5 倍。对居民春、夏、秋、冬 4 季食用海产品摄入致病性副溶血性弧菌量而引起胃肠炎的风险差异进行评估：居民夏季感染副溶血性弧菌胃肠炎的平均风险是冬季的 342 倍，春夏秋冬患病风险比例为 55:342:123:1，模拟获得的季节差异结果与食源性疾病监测系统实际上报的数据基本一致。

2.5 敏感性分析(表 3) 敏感性分析是发现潜在的与发病风险密切相关的因素，从而为干预措施提供参考依据。Spearman 相关分析结果显示，不论是常温还是冷藏储存模式，海产品中副溶血性弧菌初始污染水平对人群患病风险的影响最大，相关系数为 0.69～0.74，其次为运输温度(相关系数为 0.26～0.43)、运输时间(相关系数 0.19～0.26)及常温储存时间(相关系数 0.22)；海产品消费量(相关系数 0.27～0.33)、致病性副溶血性弧菌比例(相关系数 0.20～0.26)对患病的影响较为相似。此外，在冷藏模式下，储存时间与患病风险呈负相关，相关系数为–0.07。副溶血性弧菌的最大生长密度对患病基本没有影响。

表 3 副溶血性弧菌(VP)胃肠炎危险因素相关性分析
Table 3 Correlation analysis of risk factors for gastroenteritis caused by *Vibrio parahaemolyticus* (VP)

感染相关因素	相关系数值	
	常温储存	冷藏储存
初始污染水平	0.69	0.74
环境温度	0.43	0.26
海产品消费量	0.27	0.33
厨房常温储存时间	0.22	—
储存冷藏时间	—	–0.07
致病性VP比例	0.20	0.26
运输时间	0.19	0.26
海产品生食比例	0.05	0.07
最大生长密度	0.00	0.01

3 讨 论

自 20 世纪 50 年代发现副溶血性弧菌以来，在沿海国家和地区的海产品中均有较高水平的检出，并持续引起食源性疾病的暴发[14–16]。在当前水产品消费日益增长的情况下，副溶血性弧菌–海产品是我国生物性食源性疾病最需要优先控制的病原体食品组合[3]。

本研究初步构建了杭州市海产品中副溶血性弧菌的暴露评估模型，模拟了海产品从市场到餐桌中副溶血性弧菌污染水平的变化过程，并估算了杭州市居民通过食用海产品感染副溶血性弧菌胃肠炎的风险。结果显示，杭州市居民每天因生食半生食海产品引起副溶血性弧菌胃肠炎的平均发病风险为 1.93×10^{-5}，此结果与宁波市[17]的研究结果相近。按照杭州市 1 196.5 万的常住人口计算，每天因食用海产品感染副溶血性弧菌胃肠炎的人数为 230 例，而杭州市食源性疾病监测报告系统结果显示，平均每年上报的副溶血性弧菌胃肠炎病例为 187 例(104～276)，表明受社区急性胃肠炎患者就诊率和送检率的影响，只有小部分病例由实验室检测确诊并上报公共卫生机构，哨点医院报告的食源性疾病确诊病例仍然很少，应积极探索改善食源性疾病监测系统的策略。本研究对不同储存方式的风险差异评估结果显示，厨房常温储存海产品过程中副溶血性弧菌增长明显，最终导致的发病风险较冷藏储存的风险显著升高。因此，建议消费者购买水产品后应尽量避免常温储存。此外，本研究对居民春、夏、秋、冬 4 个季节生食海产品引起胃肠炎的风险分别进行模拟分析，获得的季节性差异与食源性疾病监测系统实际上报的数据较为一致，再次证明副溶血性弧菌的生长和繁殖高度依赖环境温度的变化。

本研究敏感性分析结果表明，初始污染水平与最终暴露量的相关性最高。因此，通过控制零售海产品中副溶血性弧菌污染浓度是降低发病人数的关键所在。建议相关部门加强对养殖和捕捞环节海产品中副溶血性弧菌的定量监测，严格做到产品从海岸到市场的冷链运输，从源头控制海产品副溶血性弧菌污染；加强对零售市场和餐饮机构的卫生管理，有效控制零售期间海产品贮存的环境温度，缩短销售时间，尽量减少农贸市场摊主的过夜销售等，尤其在气温较高的夏季。敏感性分析显示，海产品购买后的运输温度、运输时间、厨房常温储存时间、海产品消费量也是影响最终暴露量的重要因素。建议政府在气温较高的夏秋高发季节应加强对居民的宣传教育，倡导安全的消费行为模式，如提醒消费者低温冷藏海产品、缩短从零售点到厨房的运输时间、采用低温运输、控制室温储存和加工时间、尽量不生食海产品等。

由于微生物本身的特异性及其在食品等基质中不断变化等特点，导致对其进行的风险评估比化学性评估更为复杂。菌株之间的差异是微生物风险评估中不确定性的一个重要因素。由于不同型别副溶血性弧菌在不同基质中的生长情况存在差异，因此，本次评估所使用的生长预测模型与不同流行株在不同种类海产品中的实际消长情况可能存在一定偏差。本次评估将居民购买海产

品后运输温度设定为环境温度，未考虑低温运输方式的比例，因此，可能会在一定程度上高估患病的风险。此外，本评估中的其他一些参数设置参考了文献数据，且未对海产品在厨房处理过程中与其他即食类食物交叉污染所产生的致病风险进行评估，这也给模型估计带来一些不确定性。

针对本评估的不确定性，有必要加强杭州市微生物风险评估数据库的构建，加强食物中致病菌的定量监测和食物消费习惯调查，模拟食物厨房处理过程构建交叉污染模型，继续收集科学的、必要的参数信息，提高微生物定量风险评估结果的准确性。

数据可用性声明　根据相关法律法规和政策要求，本研究食物中的污染物含量无法公开原始数据。

参考文献

[1] Fujino T, Okuno Y, Nakada D, et al. On the bacteriological examination of shirasufood poisoning[J]. Medical Journal of Osaka University, 1953, 4(2/3): 299-304.

[2] 高玮, 潘迎捷, 赵勇, 等. 上海市水产品中副溶血性弧菌的分离、鉴定及毒力基因和血清型分布 [J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(2): 278-282.

[3] 吴鹏, 刘继开, 戴月, 等. 2010—2020 年中国大陆副溶血性弧菌引发食源性疾病暴发调查 [J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(1): 73-78.

[4] 林静. 对虾中副溶血性弧菌预测模型的建立及定量风险评估研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2015.

[5] 姬华. 对虾中食源性弧菌预测模型建立及风险评估 [D]. 无锡: 江南大学, 2012.

[6] 白瑶, 叶淑瑶, 闫韶飞, 等. 2015 年我国食源性副溶血性弧菌毒力基因及耐药特征研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(6): 2318-2324.

[7] Miles D W, Ross T, Olley J, et al. Development and evaluation of a predictive model for the effect of temperature and water activity on the growth rate of *Vibrio parahaemolyticus*[J]. International Journal of Food Microbiology, 1997, 38(2/3): 133-142.

[8] 唐晓阳. 水产品中副溶血性弧菌风险评估基础研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.

[9] Sanyal S C, Sen P C. Human volunteer study on the pathogenicity of Vibrio parahaemolyticus[M]//Fujino T, Sakaguchi G, Sakazaki R, et al. International Symposium of *Vibrio parahaemolyticus*. Tokyo: Saikon, 1974: 139-145.

[10] Takikawa I. Studies on pathogenic halophilic bacteria[J]. Yokohama Medical Bulletin, 1958, 9(5): 313-322.

[11] Aiso K, Fujiwara K. Feeding tests of the pathogenic halophilic bacteria[J]. Ann Res Inst Food Microbiol. Chiba Univ, 1963, 15: 34-38. [11] World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Risk assessment of *Vibrio parahaemolyticus* in seafood[R/OL]. [2016-03-22]. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44566/1/9789241548175_eng.Pdf.

[12] 刘兆平, 李凤琴, 贾旭东. 食品中化学物风险评估原则和方法 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.

[13] 白新明. 蔬菜农药残留对人体健康急性风险概率评估研究 [J]. 食品科学, 2014, 35(5): 208-212.

[14] Fearnley E, Leong L E X, Centofanti A, et al. Vibrio parahaemolyticus foodborne illness associated with oysters, Australia, 2021–2022[J]. Emerging Infectious Diseases, 2024, 30(11): 2271-2278.

[15] Wu K, Zou D Z, Long Y Y, et al. Contamination of *Vibrio parahaemolyticus* in crayfish for sale[J]. Frontiers in Microbiology, 2024, 15: 1388658.

[16] Chen L L, Wang J K, Chen J, et al. Epidemiological characteristics of *Vibrio parahaemolyticus* outbreaks, Zhejiang, China, 2010–2022[J]. Frontiers in Microbiology, 2023, 14: 1171350.

[17] 王李伟, 张昭寰, 赵勇, 等. 市售水产品中副溶血性弧菌污染的定量风险评估 [J]. 上海预防医学, 2016, 28(6): 365-371.