

基于气象因素的细菌性食物中毒预警系统的建立

穆海振^{1*}, 张磊², 周伟东¹, 郑雷军²

(1. 上海市气候中心, 上海 200030; 2. 上海市食品药品监督管理局, 上海 200021)

摘要: **目的** 建立基于气象条件的细菌性食物中毒预警系统。**方法** 基于 1992~2006 年上海地区集体性细菌性食物中毒事件资料和气温、相对湿度的气象数据, 计算在给定的气象条件范围内全年和逐月中毒事件发生的条件概率, 统计黄金周对中毒事件发生概率的影响。**结果** 建立了基于气温和相对湿度的细菌性食物中毒预警系统, 划分了中毒事件预警的等级标准。**结论** 经 2007 年和 2008 年细菌性食物中毒事件实际发生情况的验证, 本研究建立的模型对事件高发期内中毒事件的发生有一定的预报能力。

关键词: 细菌性食物中毒; 气象条件; 预警系统

Establishment of early warning system for bacterial food poisoning based on meteorological factors

MU Hai-Zhen^{1*}, ZHANG Lei², ZHOU Wei-Dong¹, ZHENG Lei-Jun²

(1. Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China; 2. Institute of Shanghai Food and Drug Supervision, Shanghai 200021, China)

ABSTRACT: Objective To establish an early warning system for bacterial food poisoning based on meteorological conditions. **Methods** The conditional probability of food poisoning was analyzed at monthly and yearly scale within a given range of meteorological conditions based on the data of collective bacterial food poisoning and meteorological conditions (air temperature and relative humidity) during 1992~2006 in Shanghai. The impact of “golden week” on risk of food poisoning was also studied. **Results** An early warning system for bacterial food poisoning based on the air temperature and relative humidity was developed as well as the division standard of pre-warning level. **Conclusion** Through the comparison of model prediction value and reported food poisoning events in 2007 and 2008, the model shows a certain forecast ability for the incidence of poisoning during peak period of food poisoning events.

KEY WORDS: bacterial food poisoning; meteorological conditions; early warning system

1 引言

食物中毒是指因食用含有有毒有害物质的食品或被有毒有害物质污染的食品而出现急性、亚急性疾病的现象。根据病原物质的不同, 一般可将食物中毒分为细菌性、化学性、动物性、植物性和真菌性 5 大类。相关研究表明, 我国每年因食物中毒导致的死亡人数高达上百人^[1], 可见食

物中毒已经严重影响了消费者的饮食健康和生命安全。虽然近年来我国的食品安全管理水平有了一定的提高, 食物中毒现象得到了一定的控制, 但因食物中毒而导致死亡的现状并没有得到很大改善, 食物中毒现象的形势依然严峻^[2-5]。有效防范食物中毒事件需要相关部门进一步完善食物中毒事件的风险预警、评估机制和食物中毒事件快速反应机制, 提高针对食物中毒事件的应急处置能力^[6-8]。

*通讯作者: 穆海振, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为应用气候学。E-mail: muhz@hotmail.com

*Corresponding author: MU Hai-Zhen, Master, Senior Engineer, Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China. Email: muhz@hotmail.com

细菌性食物中毒在食物中毒事件中所占的比例最大,其发生呈明显的夏秋高、冬春低的季节特征,同时还与影响食品中致病性细菌存在和消长的各项因素(如食品供应数量、气象条件、食品中微生物污染及食品生产经营单位的总体卫生状况等)有关^[8,9]。有研究表明,武汉市的食物中毒事件与当地的气温、相对湿度和日照时数等因素密切相关^[10];无锡市食物中毒的发生与气温有着密切的关系,当最低气温达 10℃,最高气温达 20℃时就有发生食物中毒的危险^[11];5月~10月是上海地区细菌性食物中毒的高发季节,五一和十一黄金周、梅雨季节(6月下旬到7月上旬)是其中的3个高发时段^[12,13]。

对细菌性食物中毒事件开展预报预警能提醒有关单位和个人采取针对性措施,提前消除食物中毒发生的隐患,对减少食物中毒事件、保障食品安全具有重要意义。段鹤君等^[14]曾采用主成分分析对细菌的生长环境因素数据特征进行提取,与支持向量机相结合建立了针对小样本的、非线性及高维的预测模型,并对所建立的食品安全预警模型进行了有效性验证。本研究在分析上海地区1992~2006年细菌性食物中毒事件的发生特点及其与气象因素关系的基础上,建立基于气象因素的细菌性食物中毒预报模型和预警系统。

2 资料和方法

2.1 数据来源

1992~2008年上海地区报告发生(以下简称发生)的群体性细菌性食物中毒资料,包括各起中毒事件的发生日期、发病人数、引发中毒的食品及其食用和加工日期、肇事单位及检出的致病菌等,由上海市食品药品监督管理局提供。同期上海地区的气象资料,包括日平均气温和日平均相对湿度,由上海市气候中心提供。

2.2 方法

根据1992~2006年上海地区细菌性食物中毒事件发生的基本特点、季节特征及与气象条件的关系^[13],用概率预报法建立逐日细菌性食物中毒发生风险的预报模型,并用2007、2008年细菌性食物中毒事件的实际发生情况对模型进行初步验证,同时构建基于模型预测中毒事件发生概率的预警等级标准。

3 细菌性食物中毒概率预报模型的建立

3.1 预报对象和预报因子的确定

食品的温度和水分活性是食品中细菌生长繁殖的重要条件,前期研究也表明,平均气温和相对湿度是影响上海市细菌性食物中毒发生的2个重要因素。将细菌性食物中毒的逐日发生概率作为预报对象,中毒发生前3天的逐日平均气温及相对湿度作为回归因子,运用逻辑回归模型

(logistic regression)进行回归分析,结果表明,细菌性食物中毒的发生与事件发生前1天的平均气温和相对湿度密切相关^[13],因此本研究选择日平均气温和相对湿度作为预报因子。

3.2 中毒事件发生概率的计算

首先利用历史资料计算出在给定的平均气温和相对湿度区间内细菌性食物中毒事件的频数(见表1),然后根据式(1)计算出在该特定气象条件下细菌性食物中毒事件发生的概率 P ,计算结果详见表2。

$$P_{i,j} = \frac{F_{i,j}}{Q_{i,j}}, i=1.22; j=1.15 \quad (1)$$

式(1)中, $F_{i,j}$ 为1992~2006年间当前1天的日平均气温(T ,单位:℃,下同)满足 $t_{i-1} \leq T < t_i$ (t_i 为给定的气温区间界限值,下同)且日平均相对湿度(H ,单位:%,下同)满足 $h_{i-1} \leq H < h_i$ (h_i 为给定的气温区间界限值,下同)时,细菌性食物中毒事件发生的总天数; $Q_{i,j}$ 为1992~2006年间日平均气温(T)满足 $t_{i-1} \leq T < t_i$ 且日平均相对湿度(H)满足 $h_{i-1} \leq H < h_i$ 的总天数。

由于中毒事件样本数较少,导致部分气象因素较为接近的相邻区间的概率相差较大,考虑到气象因素对中毒事件的影响应该是一个连续的过程,采用式(2)对表2所示的条件概率分布进行了相邻5点的平滑(见表3)。在预报细菌性食物中毒事件发生概率时,可根据预报的日平均气温和相对湿度值,在表3中查找所在区间范围,从而得到可能发生的概率值 P_y 。

$$P_{y,i,j} = \frac{P_{i,j} + P_{i+1,j} + P_{i-1,j} + P_{i,j+1} + P_{i,j-1}}{5}, i=1.22; j=1.15 \quad (2)$$

3.3 月份修正概率的计算

用上述全年相对湿度和气温的条件概率分布计算中毒事件发生概率时,其前提是如在不同月份出现相同气象条件时,中毒事件发生的概率相同。但实际情况往往与此并不相符,如在5月、6月气温突然升高时,公众预防食物中毒的警惕性较低,这时中毒发生的可能性会高于相同气象条件下的7月和8月。为考虑不同月份气象因素影响间的差别,按式(1)和式(2)逐月计算了食物中毒事件的气温和相对湿度条件概率分布(P_m)。由于逐月中毒事件发生较少,有中毒事件发生的气象区间也较少,在模型具体计算时可能会遇到未出现过的气象条件,导致无法计算其发生概率。因此,在具体计算细菌性食物中毒事件的发生概率时,根据预报的温湿度同时查算年条件概率值和月条件概率值,如该月条件概率表中未出现过该气象条件,取年条件概率值作为中毒发生概率;如月条件概率表中出现过该气象条件,则取2者平均值作为中毒发生概率。

3.4 假期附加项的确定

由于五一、十一黄金周的中毒发生概率显著高于其他

表 1 细菌性食物中毒发生前 1 天平均气温和相对湿度的联合频数分布(天)
 Table 1 Joint frequency distribution of the mean air temperature and relative humidity one day before the bacterial food poisoning cases (day)

平均 气温(°C)	相对 湿度(%)													天数合计						
	0~1.9	2~3.9	4~5.9	6~7.9	8~9.9	10~11.9	12~13.9	14~15.9	16~17.9	18~19.9	20~21.9	22~23.9	24~25.9		26~27.9	28~29.9	30~31.9	32~33.9	34~35.9	36~37.9
40~44																				0
45~48										1										1
49~52	1										2	1								4
53~56				1		1		4												6
57~60		1				1	1	2	2	2	2	2	2	2	2					15
61~64	1		1			1	1			2	2	3	2	2	1	2				14
65~68		1	1	2		2	3	4	4	1	7	4	3	4	4	12	3	1		47
69~72		1	1	1	1	2	2	1	1	3	7	6	5	9	13	2				51
73~76		1	1	1	1	3	2	1	2	5	8	13	16	18	21	1				91
77~80				1	1	1	2	1	3		10	7	15	11	3					54
81~84	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	9	6	13	13	2					54
85~88						1		1	2	1	5	5	15	2						32
89~92					1	1	1	1	2	1	6	12	6							30
93~96				2	1			2	4	6	6	6								21
97~100								1			1									2
天数合计	3	1	4	6	5	5	9	10	7	26	19	64	66	77	58	53	8	1	0	

表 3 平滑后细菌性食物中毒发生前 1 天平均气温和相对湿度的条件概率分布 (%)
 Table 3 The conditional probability distribution (%) of the mean air temperature and relative humidity one day before the bacterial food poisoning cases after smoothing

平均 气温(°C) 相对 湿度(%)	-2~-0.1 0~1.9 2~3.9 4~5.9 6~7.9 8~9.9 10~11.9 12~13.9 14~15.9 16~17.9 18~19.9 20~21.9 22~23.9 24~25.9 26~27.9 28~29.9 30~31.9 32~33.9 34~35.9 36~37.9																			
	-2~-0.1	0~1.9	2~3.9	4~5.9	6~7.9	8~9.9	10~11.9	12~13.9	14~15.9	16~17.9	18~19.9	20~21.9	22~23.9	24~25.9	26~27.9	28~29.9	30~31.9	32~33.9	34~35.9	36~37.9
40~44																				
45~48		2								4	4	9	5							
49~52	2	2	2			2	1			8	9	10	10	5						
53~56	2	1	1		2	2	4	2	2	8	9	10	6	7						
57~60	2	1	1	1		2	1	4	2	2	11	4	6	11	13	16	8			
61~64	1	1	3	1	1	1	1	3	4	2	3	3	7	13	26	28	23	19	20	
65~68	1	0	0	2	2	1	1	2	5	4	4	5	9	13	19	29	25	31	23	
69~72		1	1	2	2	1	2	4	3	4	4	8	13	16	21	22	21	15		
73~76			0	1	1	2	3	4	5	2	5	7	15	17	24	21	18	11		
77~80	10	0	1	1	1	1	3	5	5	5	5	8	12	21	22	19	10			
81~84	10	11	1	1	1	1	1	4	4	5	7	6	12	14	21	13	6			
85~88	10	0	1	0	1	0	2	2	3	5	7	6	12	18	16	10				
89~92			0	0	2	1	1	2	2	3	7	9	16	21	13	5				
93~96			0	2	3	3	1	1		4	11	12	20	25	11					
97~100				0	2	1			3	6	7	12	15	7						

时期,因此这 2 个时间段的预报概率还需加上假期附加项进行修正。模型中将黄金周与其前后各 7 天共 14 天发生中毒事件概率的差值作为假期附加项(P_h),此处的概率定义为:在 1992~2006 年期间,黄金周(相邻时段内)发生中毒事件的总天数占该时段总天数的百分比。计算结果表明,五一黄金周及其相邻 14 天内发生中毒事件的平均概率分别为 18%和 5%,十一黄金周及其相邻 14 天内发生中毒事件的平均概率分别为 23%和 15%,由此确定出五一和十一黄金周假期的附加项(P_h)分别为 13%和 8%。

4 预报模型的初步验证

基于上述工作,本研究建立了细菌性食物中毒事件发生的概率预报模型:

$$P_f = P_y + P_m + P_h \quad (3)$$

式(3)中, P_f 为细菌性食物中毒事件的发生概率,在实际预报过程中可根据预报日的平均气温、相对湿度及其所处时段分别计算 P_y 、 P_m 和 P_h 后得到。利用 2007 年和 2008 年的实况气象资料,基于式(3)计算了逐日细菌性食物中毒事件的发生概率,并与实际发生情况进行了对比(图 1、图 2)。结果表明,2007 年共有 12 天发生细菌性食物中毒事件,其中 1 天的预测概率值大于 25%,8 天的预测概率值大于 15%;2008 年共有 14 天发生细菌性食物中毒事件,其中 4 天的预测概率值大于 25%,7 天的预测概率值大于 15%。总体来看,模型对事件高发期内中毒事件的发生概率有一定的预报能力。

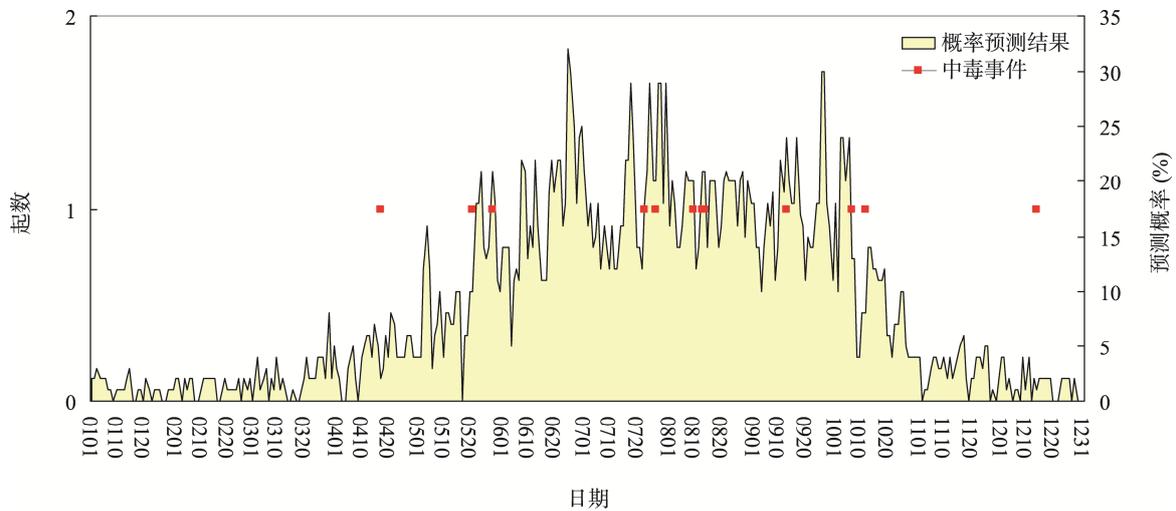


图 1 2007 年模型预测概率值与细菌性食物中毒事件实际发生情况对比

Fig. 1 Comparison of predictive probability value of the model and real situation of bacterial food poisoning in 2007

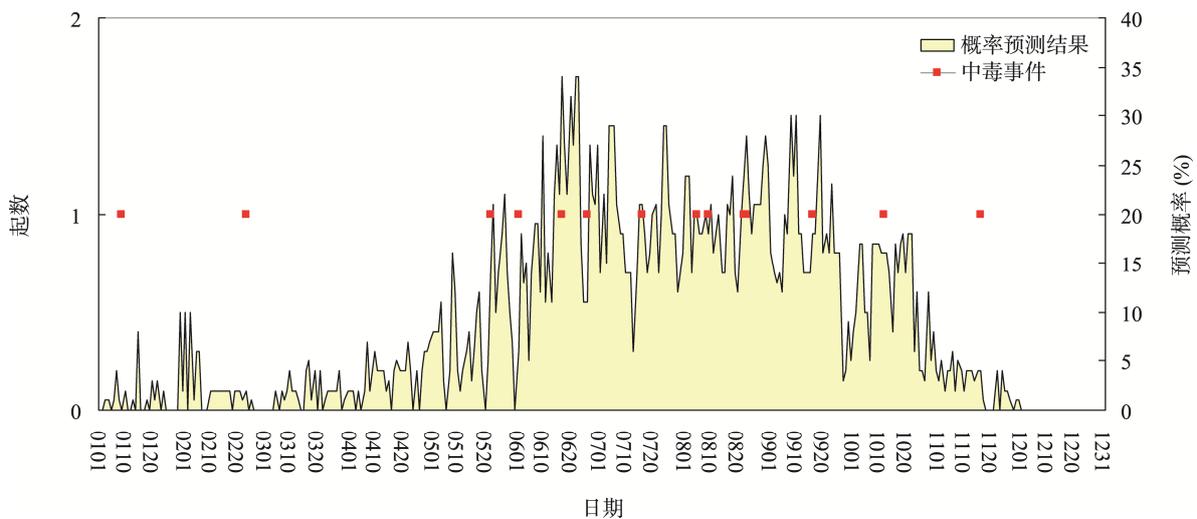


图 2 2008 年模型预测概率值与细菌性食物中毒事件实际发生情况对比

Fig. 2 Comparison of predictive probability value of the model and real situation of bacterial food poisoning in 2008

5 细菌性食物中毒预警系统的建立

5.1 预警等级划分

预报模型的建立使得在中毒事件发生风险较高的时段发布预警成为可能。考虑到面向公众发布的信息应简明和便于理解, 按照中毒发生的预报概率对预警等级进行了划分(见表 4)。等级限值的确定除体现发生食物中毒的风险大小外, 同时考虑到 I 级预警的天数不宜太多, 以防止受众对预警信息的敏感度降低。回算结果表明, I 级预警的天数与近年年均细菌性食物中毒事件的天数相当。

表 4 基于气象因素的细菌性食物中毒预警等级划分标准
Table 4 Division standard of pre-warning level for bacterial food poisoning based on the meteorological factors

预警等级	预报概率 P(%)	含义
I 级	≥25	易发生
II 级	15~25	可能发生
—	< 15	不易发生

5.2 预警操作程序

考虑到预警信息发布时段应涵盖细菌性食物中毒事件的高发期, 定于每年 4 月 1 日至 10 月 31 日每天发布未来 3 天内细菌性食物中毒预报, 符合 I 级或 II 级预警条件的发布预警信息, 其他时间如出现 I 级或 II 级预警的情形也进行预报和预警; 对于已发生的中毒事件, 未来日期的气象条件与中毒发生日基本相同的, 也可发布预警。发布的预报产品包括预警等级、含义以及相应的提示用语。提示用语重点在不同预警等级(中毒发生风险)条件下, 提醒食品生产经营单位、市民和食品监管部门采取相应的预防和监管措施。

6 讨论

初步验证结果显示, 模型对事件高发期内中毒事件的发生概率有一定的预报能力, 但空报较多, 有待进一步完善。基于本研究的成果, 2010 年后上海市已开始向全社会发布细菌性食物中毒的预警信息。同时, 本研究主要考虑了温度、湿度等气象因素对细菌性食物中毒的影响, 今后在进一步收集资料的基础上, 可再考虑其他相关因素的影响, 以充实和完善预报模型。

参考文献

- [1] 聂艳, 尹春, 唐晓纯, 等. 1985-2011 年我国食物中毒特点分析及应急对策研究[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 218-222.
Nie Y, Yi C, Tang XC, et al. Comparative analysis of food poisoning and emergency countermeasures in china from 1985 to 2011 [J]. Food Sci, 2013, 34(5): 218-222.
- [2] 曾望军, 邹力祥. 2005-2011 年我国食物中毒状况分析[J]. 现代预防医学, 2013, 40(19): 3569-3571.
Zeng WJ, Wu LX. Analysis on status of food poisoning in China from 2005 to 2011 [J]. Mod Prev Med, 2013, 40(19): 3569-3571.
- [3] 禹雪, 张宇, 王世平, 等. 2006-2010 年全国食物中毒事件分析及防控对策[J]. 中国卫生工程学, 2012, 11(4): 268-270.
Yu X, Zhang Y, Wang SP, et al. Analysis on food poisoning in China from 2006 to 2010 and its prevention and control countermeasures[J]. Chin J Public Health Eng, 2012, 11(4): 268-270.
- [4] 金连梅, 李群. 2004-2007 年全国食物中毒事件分析[J]. 疾病监测, 2009, 24(6): 459-461.
Jin LM, Li Q. Analysis of food-poisoning events in China from 2004 to 2007 [J]. Dis Surveill, 2009, 24(6): 459-461.
- [5] 王君, 刘秀梅. 中国食物中毒的现况分析[J]. 中国卫生监督杂志, 2007, 14(6): 426-428.
Wang J, Liu XM. Analysis on the status of food borne disease in China [J]. Chin J Health Inspect, 2007, 14(6): 426-428.
- [6] 陈建琳, 刘明辉. 细菌性食物中毒流行趋势及预防对策[J]. 中国卫生检验杂志, 2002, 12(4): 481.
Chen JL, Liu MH. Trend of bacterial food poisoning events and suggestions on prevention [J]. Chin J Health Lab Technol, 2002, 12(4): 481.
- [7] 褚发军, 冉陆, 马莉, 等. 2008-2010 年全国突发公共卫生事件网络报告食物中毒流行病学分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(4): 387-390.
Chu FJ, Ran L, Ma L, et al. Analysis on the reported food poisoning incidents in public health emergency events surveillance system in China, 2008-2010 [J]. Chin J Food Hyg, 2012, 24(4): 387-390.
- [8] 王世杰, 杨杰, 谌志强, 等. 1994-2003 年我国 766 起细菌性食物中毒分析[J]. 中国预防医学杂志, 2006, 7(3): 180-184.
Wang SJ, Yang J, Shen ZQ, et al. Analysis on 766 events of bacterial food poisoning in China from 1994 to 2003 [J]. Chin Prev Med, 2006, 7(3): 180-184.
- [9] 田明胜, 郑雷军, 彭少杰, 等. 2000-2007 年上海市副溶血性弧菌致集体性食物中毒分析及对策[J]. 中国食品卫生杂志, 2008, 20(6): 514-517.
Tian MS, Zheng LJ, Peng SJ, et al. Analysis and measures on collective food poisoning caused by *Vibrio parahaemolyticus* in Shanghai Municipality during 2000 to 2007 [J]. Chin J Food Hyg, 2008, 20(6): 514-517.
- [10] 刁平, 张秋平, 魏泽义. 武汉市食物中毒与气象因素的关系探讨[J]. 中国公共卫生, 1998, 14(2): 67-67.
Diao P, Zhang QP, Wei ZY. Study on the relationship between food poisoning events and meteorological factors in Wuhan [J]. Chin J Public Health, 1998, 14(2): 67-67.
- [11] 华小鹏, 王宏图. 气温与细菌性食物中毒的关系分析[J]. 江苏卫生保健, 2000, 2(1): 47-48.
Hua XJ, Wang HT. Analysis on the relationship between air temperature and bacterial food poisoning [J]. Jiangsu Health Care, 2000, 2(1): 47-48.
- [12] 刘弘. 上海市 1990-2000 年集体性食物中毒分析[J]. 中国自然医学杂志, 2003, 5(1): 17-20.
Liu H. Analysis of the collective food poisoning events in Shanghai from 1990 to 2000 [J]. Chin J Nat Med, 2003, 5(1): 17-20.

- [13] 张磊, 穆海振, 陆怡, 等. 上海地区细菌性食物中毒季节和气候特征分析[J]. 上海预防医学杂志, 2009, 21(7): 330-332.

Zhang L, Mu HZ, Lu Y, *et al.* An analysis on the seasonal and climatic characteristic of bacterial food poisoning in Shanghai [J]. Shanghai J Prev Med, 2009, 21(7): 330-332.

- [14] 段鹤君, 邵兵. 基于主成分分析和支持向量机的细菌性食物中毒预警研究[J]. 卫生研究, 2010, 39(6): 747-750.

Duan HJ, Shao B. Pre-warning model of bacterial foodborne illness based on performance of principal component analysis combined with support vector machine [J]. J Hyg Res, 2010, 39(6): 747-750.

(责任编辑: 刘 丹)

作者简介



穆海振, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为应用气候学。

E-mail: muhz@hotmail.com

“水产品精深加工及水产安全”专题征稿函

随着经济全球化的发展, 水产品的国际贸易的增长加速。水产品是蛋白质、无机盐和维生素的良好来源, 营养丰富, 生理价值较高。水产品的精深加工和安全研究有利于发展渔业经济, 促进我国水产食品质量安全水平, 降低食品安全风险, 保障消费者权益。

鉴于此, 本刊特别策划了“水产品精深加工及水产安全”专题, 由浙江海洋大学邓尚贵教授担任专题主编, 围绕(1)水产品高值化加工技术、水产品副产物的综合利用技术; (2)水产品包装与新型杀菌技术; (3)水产品冷链与物流技术; (4)海洋生物活性物质开发和利用、新型海洋食品与海洋功能食品开发技术; (5)水产品加工过程质量安全控制技术; (6)水产品残留物分析检测技术与装备等或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2017 年 1 月份出版。

鉴于您在该领域的成就, 邓尚贵教授和主编吴永宁研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 2016 年 12 月 31 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部