

基于实时荧光核酸恒温扩增技术的 食源性致病微生物检测

肖 剑¹, 陈秀云², 梁美丹¹, 陈 楷¹, 洪 红¹, 焦 红^{3*}

(1. 广州市食品检验所, 广州 510410; 2. 广州市宜健医学技术发展有限公司, 广州 510663;
3. 广东出入境检验检疫局, 广州 510623)

摘 要: **目的** 考察实时荧光核酸恒温扩增(simultaneous amplification and testing, SAT)技术在食源性致病微生物检测中的应用价值。**方法** 以国标培养法及分子测序为参考方法, 研究 SAT 方法用于检测沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌及单增李斯特氏菌的灵敏度、特异性、假阳性率、假阴性率、准确度, 同时利用卡方检验分析阳性率显著性差异。**结果** 4种致病菌 SAT 试剂盒的灵敏度均为 100%, 不存在假阴性及漏检情况; 沙门氏菌(94.2%)、金黄色葡萄球菌(99.5%)、副溶血性弧菌(100%)和单增李斯特氏菌(100%)的特异性符合要求, 假阳性率均小于 9.6%, 准确度均大于 94%。**结论** SAT 技术具有高灵敏度、特异性强、准确度高, 可作为上述 4 种致病菌的检验方法。

关键词: SAT; 食品检测; 灵敏度; 特异性

Simultaneous amplification and testing application in detection of foodborne pathogenic microorganisms

XIAO Jian¹, CHEN Xiu-Yun², LIANG Mei-Dan¹, CHEN Kai¹, HONG Hong¹, JIAO Hong^{3*}

(1. Guangzhou Institute of Food Inspection, Guangzhou 510410, China; 2. Guangzhou Yi-Jian Biomedical Technology Development Co. Ltd, Guangzhou 510663, China 3. Guangdong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Guangzhou 510623, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the application value of simultaneous amplification and testing (SAT) in detection of foodborne pathogenic microorganisms. **Methods** The sensitivity, specificity, false positive rate, false negative rate and accuracy of *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus* and *Listeria monocytogenes* were studied by using the methods of national standards and molecular sequencing. Meanwhile, the significant difference of positive rate was analyzed by the chi-square. **Results** The sensitivity of four pathogens were all 100%, and there were no false negative and misdetection rate. The specificity of *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus* and *Listeria monocytogenes* were 94.2%, 99.5%, 100%, and 100% respectively, and they all conformed to the requirements of the test. The false positive rates were all below 9.6% and the accuracy rates were superior to the standard (94%). **Conclusion** It is feasible to detect the four pathogens above with SAT for its high sensitivity, specificity and accuracy.

KEY WORDS: simultaneous amplification and testing; food detection; sensitivity; specificity

*通讯作者: 焦红, 研究员, 主要研究方向为食品安全与营养学检测技术。E-mail: jhcieq1228@163.com

*Corresponding author: JIAO Hong, Professor, Guangdong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, No.66, Zhujiang New City Huacheng Avenue, Guangzhou 510623, China. E-mail: jhcieq1228@163.com

1 引言

当前人们对食品安全的关注度越来越高, 全球食源性疾病发病率呈不断上升的趋势。据报道, 发达国家每年约 30% 的人口患食源性疾病^[1], 发展中国家由于环境、人口、经济因素, 食源性疾病情况更加严重, 并且主要是由于致病微生物因素造成的^[2]。据我国卫生计生委办公厅公布的“关于 2013 年全国食物中毒事件情况的通报(国卫办应急发〔2014〕15号)”, 微生物引起的食物中毒事件占 32.2%, 中毒人数最多, 占 60.4%。因此, 由致病性微生物引起的食源性疾病构成了一个巨大的并不断扩大的世界性公共卫生问题, 如何快速准确、灵敏地检测出食源性致病菌的存在已成为控制食品安全问题的关键^[3]。

近年来, 食源性致病菌的快速检测和鉴定方法发展较为迅速, 主要有以免疫学为基础的 ELISA 技术^[4]、免疫磁珠技术^[5]、全自动免疫酶标检测系列^[6]、免疫胶体金技术等^[7], 以分子生物学为基础的 DNA 指纹图谱技术、实时荧光 PCR 技术、基因芯片技术等^[8,9], 以纸片法为代表的细菌代谢为基础的酶触反应技术等^[10], 这些快速检测方法大大缩短了致病菌检验的时间, 提高了检验效率, 但也存在一些问题难以解决。实时荧光核酸恒温扩增(simultaneous

amplification and testing, SAT)技术代表了世界核酸诊断领域最新的科研成果, 在医学临床诊断上已经得到广泛应用, 并已获我国自主知识产权, 目前主要研究应用于肺结核^[11]、解脲脲原体^[12]、沙眼衣原体^[13]、淋球菌^[14]等的检测。由于 SAT 技术存在检验周期短(2~12 h)、准确性高、不易污染、能够区别死活菌等优点, 若将该技术转化为一种新型食品安全检测技术, 在我国食品安全相关领域上使用, 将在一定程度上改变我国目前食品安全监管、重大活动保障上存在的结果滞后的问题。

本研究以国标法为参照方法, 采用 SAT 技术对多类食品中沙门氏菌(*Salmonella* spp.)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、副溶血性弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)、单增李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes*)进行检测, 通过 4 种致病菌 SAT 法的灵敏度、特异性、假阴性率、假阳性率、准确度等指标分析, 综合评价 SAT 方法在食品检测中的适用性。

2 材料与方法

2.1 样品

样品购自广东广州市区内农贸市场及餐饮食品销售场所, 样品种类、数量和检验项目详见表 1。

表 1 试验用样品种类、批次及检验项目
Table 1 The sample types, numbers and inspection items

序号	食品类别	样品数量(批次)	检测项目			
			沙门氏菌	金黄色葡萄球菌	副溶血性弧菌	单增李斯特氏菌
1	肉制品(熟肉、即食生肉制品)	30	√	√		√
2	水产制品(熟制水产品、即食生制水产品、即食藻类制品)	30	√	√	√	
3	粮食制品(熟制粮食制品(含焙烤类)、熟制带馅(料)面米制品、方便面米制品)	30	√	√		
4	即食豆制品(发酵豆制品、非发酵豆制品)	30	√	√		
5	巧克力类及可可制品	30	√			
6	即食果蔬制品(含酱腌菜类)	30	√	√		
7	饮料(包装饮用水、碳酸饮料除外)	30	√	√		
8	冷冻饮品(冰激淋类、雪糕(泥)类、食用冰、冰棍类)	30	√	√		
9	即食调味品(酱油、酱及酱制品、水产调味品、复合调味品(沙拉酱等))	30	√	√	√	
10	坚果籽实制品(坚果及籽类的泥(酱)、腌制果仁类)	30	√			
11	即食蛋制品	30	√			
	总计(批次)	330	330	240	60	30

2.2 主要培养基及试剂

BPW 培养基(广东省环凯微生物科技有限公司, 以下简称广东环凯); 7.5%氯化钠肉汤(广东环凯); 3%氯化钠碱性蛋白胨水(广东环凯); 沙门氏菌显色培养基(广东环凯); Baird-Parker 琼脂; LB 培养基基础(广东环凯); 李斯特显色培养基(上海科玛嘉微生物技术有限公司, 以下简称科马嘉); 弧菌显色培养基(科马嘉); SAT 检测试剂盒(上海仁度生物科技有限公司); 测序(英潍捷基(上海)贸易有限公司)。

2.3 主要试验仪器

生化培养箱(广东环凯 SP250); 高压灭菌锅(厦门致微 GR85DR); 生物安全柜(ThermoFisher1300); VITEK2 鉴定仪(法国梅里埃); 全自动核酸提取仪(AB MagMAXTM Express 96); 荧光定量 PCR 仪(ABI 7500FAST)。

2.4 试验方法及原理

2.4.1 国标法

按照国家食品安全标准 GB4789.4-2010^[15]、GB4789.10-2010^[16]、GB4789.7-2013^[17]、GB4789.30-2010^[18]的要求进行样品处理和试验。

2.4.2 SAT 法

2.4.2.1 SAT 扩增

样品处理和增菌过程按照 2.4.1 国标中的方法要求进行, 培养后取 200 μL 待测增菌液加入核酸提取液于离心管中, 同时加入 10 μL 内标, 200 μL 裂解液和 100 μL 核酸提取液(内有磁珠), 60 $^{\circ}\text{C}$ 保温 5 min 后, 室内放置 10 min, 按照核酸提取仪操作程序(提取、洗涤、释放磁珠至检测液和反应液中), 完成靶标 RNA 的提取, 同时进行阴阳性对照试验; 提取结束后, 取 30 μL 扩增检测液至 PCR 微量反应管中, 预热后加入 10 μL SAT 酶液, 震荡混匀后放入 PCR 检测仪器中, 设置相应的反应条件, 开始反应并实时监控反应进程。

2.4.2.2 基因克隆测序

对于 SAT 检验所得结果与国标法结果不符合的样品进行基因克隆、测序及序列分析, 序列测定送英潍捷基(上海)贸易有限公司, 序列比对在 NCBI(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank>)网站进行, 通过 Blast 进行序列分析。

2.4.3 统计分析

2.4.3.1 定性方法的性能指标

以国标法为标准, 评价 SAT 法的灵敏度、特异性、假阴性率、假阳性率和准确度, 根据方法确认性能指标要求^[19]: 灵敏度 $\geq 98\%$, 特异性 $\geq 90.4\%$, 假阴性率 $< 2\%$, 假阳性率 $< 9.6\%$, 准确度 $\geq 94\%$, 显著性差异卡方值 < 3.84 进行判定, 具体方法见表 2。

表 2 统计分析表
Table 2 Statistical analysis table

待确认方法	参考方法		合计
	阳性	阴性	
阳性	A	B	A+B
阴性	C	D	C+D
合计	A+C	B+D	N=A+B+C+D

A—待确认方法和参考方法均确认为阳性的数量;

B—参考方法为阴性的样品中, 待确认方法确认为阳性的数量;

C—参考方法为阳性的样品中, 待确认方法确认为阴性的数量;

D—待确认方法和参考方法均确认为阴性的数量。

1)灵敏度(p+)=A/(A+C)*100%

2)特异性(p-)=D/(B+D)*100%

3)准确度(relative accuracy)=(A+D)/N*100%

4)假阴性率(pf-)=(1-灵敏度)*100%

5)假阳性率(pf+)=(1-特异性)*100%

2.4.3.2 方法的显著性差异检验

方法的显著性差异检验适用于实验室内确认试验和实验室间协同试验, 用于判断待确认方法和参考方法阳性比例的差异显著性, 采用 McNemar's 检验(χ^2 检验)来比较两种方法, 计算方法^[19]见下式:

$$\chi^2 = \frac{(|a-b|-1)^2}{a+b}$$

式中:

a—待确认方法证实为阳性而参考方法检验为阴性的数目;

b—待确认方法证实为阴性而参考方法检验为阳性的数目。

3 结果

3.1 SAT 法检验结果

参照 2.4.3 统计分析方法, 对检验数据进行整理统计得出 4 种致病菌 SAT 法与国标法阴阳性结果统计表, 见表 3。

表 3 4 种致病菌 SAT 法与国标法结果统计表
Table 3 The results of four pathogens tested with SAT and national standard

项目	SAT 法	国标培养法		合计
		阳性	阴性	
沙门氏菌	阳性	92	42	134
	阴性	0	196	196
	合计	92	238	330
金黄色葡萄球菌	阳性	15	8	23
	阴性	0	217	217
	合计	15	225	240
副溶血性弧菌	阳性	17	2	19
	阴性	0	41	41
	合计	17	43	60
单增李斯特氏菌	阳性	2	0	2
	阴性	0	28	28
	合计	2	28	30

3.2 方法性能指标及显著性差异分析

以国家标准法作为标准, 比较分析 SAT 检测方法, 结果表明(表 4)沙门氏菌的灵敏度为 100%, 假阴性率为 0%, 不存在假阴性的情况, 但阳性检出率明显高于国标方法, 因此得到特异性较低, 假阳性率较高, 显著性差异卡方值较高($\chi^2=40.0$)的结果; 金黄色葡萄球菌和副溶血性弧菌的灵敏度为 100%, 假阴性率为 0%, 但也有假阳性的情况出现; 单增李斯特氏菌的灵敏度为 100%, 且没有假阳性情况发生, 特异性为 100%。

根据方法确认性能指标要求^[19], 沙门氏菌特异性、假阳性率、准确度、显著性差异卡方值均超过了指标要求; 金黄色葡萄球菌卡方值超过了指标要求,

其他指标均符合要求; 副溶血性弧菌存在假阳性情况, 但所有指标均符合要求; 单增李斯特氏菌 SAT 方法与国标方法完全一致, 经卡方检验, 差异无统计学意义, 所有指标均符合要求。

3.3 SAT 法测序方法评价分析

将 SAT 法检验与国标法检验结果不相符的样品进行测序及序列分析, 结果沙门氏菌 42 个测序样本中有 30 个样本测序结果为沙门氏菌阳性, 有 12 个样本为阴性; 金黄色葡萄球菌 8 个测序样本中有 7 个为阳性结果, 有 1 个为阴性; 副溶血性弧菌 2 个测序样本中, 测序结果均为阳性, 详见表 5。

以国标法和测序后结果综合比较分析, 得出 3 种致病菌 SAT 法与国标法+测序法阴阳性结果统计表(表 6), 参照 2.4.3 统计分析方法, 得出以下结果: 沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌和单增李斯特氏菌四个项目的灵敏度都为 100%, 假阴性率均为 0%, 不存在假阴性的情况, 特异性大于 90.4%(指标要求), 准确度高于 94%(指标要求); 沙门氏菌的假阳性率为 5.8%, 金黄色葡萄球菌为 0.5%, 副溶血性弧菌和单增李斯特氏菌不存在假阳性情况。根据方法确认性能指标要求^[19], 四个检测项目中除了沙门氏菌的显著性差异卡方值超过指标要求, 其余所有指标均符合要求, 详见表 7。

4 讨论与结论

SAT 技术类似于美国 Gen-probe 的转录介导扩增(transcription mediated amplification, TMA)技术, 该技术是以病原体 RNA 为靶标, 通过荧光标记探针与 RNA 拷贝特异性结合实现检测分析, 具有高度灵敏度和特异性, 不容易污染, 只检测活菌的特点。检测出阳性结果的样本, 如果目标菌的浓度, 达到传统培养法的灵敏度, 理论上是可以完全用传统培养方法

表 4 4 种致病菌 SAT 法与国标法比较性能指标及显著性差异结果
Table 4 The performance indexes and the significant differences of four pathogens with SAT and national standard

检测项目	灵敏度(%)	特异性(%)	假阴性率(%)	假阳性率(%)	准确度(%)	χ^2
沙门氏菌	100	82.4	0	17.6	87.3	40.0
金黄色葡萄球菌	100	96.4	0	3.6	96.7	6.1
副溶血性弧菌	100	95.3	0	4.7	96.7	0.5
单增李斯特氏菌	100	100	0	0	100	0

表5 不同检测项目测序结果情况
Table 5 The results of difference of inspection item

检测项目	原阳性情况		测序样本数	测序确证一致数	测序确证不一致数
	国标法	SAT法			
沙门氏菌	92	134	42	30	12
金黄色葡萄球菌	15	23	8	7	1
副溶血性弧菌	17	19	2	2	0

表6 几种致病菌 SAT 法与国标+测序法结果统计表
Table 6 The results of several pathogens tested with SAT and national standard & sequencing

项目	SAT法	国标+测序培养法		合计
		阳性	阴性	
沙门氏菌	阳性	122	12	134
	阴性	0	196	196
	合计	122	208	330
金黄色葡萄球菌	阳性	22	1	23
	阴性	0	217	217
	合计	22	218	240
副溶血性弧菌	阳性	21	0	21
	阴性	0	39	39
	合计	21	39	60

表7 4种致病菌测序后 SAT 法与国标法性比较性能指标及显著性差异结果
Table 7 The performance indexes and the significant difference of four pathogens with SAT by national standard and sequencing

检测项目	灵敏度(%)	特异性(%)	假阴性率(%)	假阳性率(%)	准确度(%)	χ^2
沙门氏菌	100	94.2	0	5.8	96.4	10.1
金黄色葡萄球菌	100	99.5	0	0.5	99.6	0
副溶血性弧菌	100	100	0	0	100	0
单增李斯特氏菌	100	100	0	0	100	0

培养分离出来的,不存在假阴性或假阳性的情况^[12]。

本研究试验结果表明, SAT 技术方法的灵敏度较高,在所有样品检测结果中,以国标法为参考方法,4种致病菌试剂盒的灵敏度均为100%,不存在假阴性及漏检情况;而沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌均存在假阳性的情况,且发现沙门氏菌的阳性检出率较高。经过基因测序发现沙门氏菌42例测序样本中,有30例测序样本为阳性,重新计算得到

沙门氏菌特异性较高(94.2%),假阳性率较低(5.8%),准确度高(96.4%);金黄色葡萄球菌8例测序样本有7例样本为阳性,通过计算得 SAT 法中金黄色葡萄球菌特异性为99.5%,假阳性率为0.5%,准确度为99.6%;副溶血性弧菌2例样本测序后均为阳性结果,特异性和准确度都为100%,不存在假阳性情况。

测序结果进一步证明了 SAT 技术的可靠性,同时也反映出了国标培养法存在灵敏度低或检测难度

大等一系列问题,可能原因在于食品营养成分丰富,样品中的细菌的菌群复杂,特别是受细菌污染严重的样品;存在的目标致病菌经过系列增菌、分离培养后被优势菌群覆盖,无法检出;传统培养法要求检验人员素质较高,经验较为丰富,针对不同的样品,及时调整培养时间和操作步骤,方能提高目标致病菌检出的可能;传统培养方法灵敏度不高。大量试验已经证明,分子生物学技术方法的灵敏度要远远高于传统培养方法。

综上所述,SAT 技术可以作为食品中沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、单增李斯特氏菌的检验方法,具有快速、灵敏、不易污染、只检测活菌的特点,在今后可广泛运用在食源性致病菌的检验领域中。

参考文献

- [1] WHO. Background Paper: Developing A Food Safety Strategy Draft [Z]. 2001.
- [2] 孙秀兰, 蒋栋磊, 张银志. 生物传感器应用于食源性致病菌检测研究进展[J]. 中国微生态杂志, 2011, 23 (11): 1040-1042, 1046.
Sun XL, Jang DL, Zhang YZ. Biosensors used in the detection of foodborne pathogenic bacteria [J]. Chin J Microecol, 2011, 23 (11): 1040-1042, 1046.
- [3] 封 莉, 黄继超, 刘欣, 等. 食源性致病菌快速检测技术研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(21): 332-338.
Feng L, Huang JC, Liu X, *et al.* Research Progress on Rapid Detection of Food-borne Bacterial Pathogens [J]. Food Sci, 2012, 33(21): 332-338.
- [4] 吴清平, 王大鹏, 杨宁, 等. ELISA 和 GICA 在食源性致病菌检测中的应用[J]. 中国卫生检验, 2007, 17(3): 566-568.
Wu QP, Wang DP, Yang J, *et al.* ELISA and GICA in detection of food-borne pathogens [J]. Chin J Health Lab Technol, 2007, 17(3): 566-568.
- [5] 张璇, 鲜瑶. 免疫磁珠技术及其在食品微生物检测中的应用[J]. 农产品质量与安全, 2011, 1: 40-42.
Zhang X, Xian Y. Immune magnetic beads and which using in detection of food microbiological [J]. Qual and safety of Agro-products, 2011, 1: 40-42.
- [6] 任亚妮, 车振明. 免疫标记技术在食品安全检测中的应用[J]. 中国调味品, 2010, 35(3): 34-36.
Ren YN, Che ZM. The application of immunolabelling technique in food safety detection [J]. Chin Cond, 2010, 35(3): 34-36.
- [7] Danscher G, Norgaard JO. Light microscopic visualization of colloidal gold on resin-embedment issue [J]. J Histochem Cytochem, 1983, 31(12): 1394-1398.
- [8] 徐文君, 周玮, 徐春祥. 分子检测技术在食源性致病菌检测中的应用[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(9): 83-84.
Xu WJ, Zhou W, Xu CX. Application of Molecular Technology in Detection of Food-borne Pathogens [J]. Anim Husbandry Feed Sci, 2010, 31(9): 83-84.
- [9] Pandey BD, Poudel A, Yoda T, *et al.* Development of an in-house loop-mediated isothermal amplification(LAMP) assay for detection of Mycobacterium tuberculosis and evaluation insputum samples of Nepalese patients [J]. J Med Microbiol, 2008, 57 (4): 439-443.
- [10] 吴毓薇, 吴许文, 吴清平, 等. 食品卫生微生物测试片检测技术进展[J]. 中国卫生检验, 2008, 18(12): 2832-2834.
Wu YW, Wu XW, Wu QP, *et al.* Advance on methods for microbial testing slip of food hygiene detection [J]. Chin J Health Lab Technol, 2008, 18(12): 2832-2834.
- [11] 沙巍, 何娅, 蒋瑞华, 等. 实时荧光核酸恒温放大检测(SAT)法对肺结核诊断价值的研究[J]. 中国防痨杂志, 2012, 34(6): 377-379.
Sha W, He Y, Jiang RH, *et al.* Diagnostic value of Simultaneous Amplification and Testing(SAT) in patients with pulmonary tuberculosis [J]. Chin J Antituberc, 2012, 34(6) : 377-379.
- [12] 李林海, 陈丽丹, 刘文婷, 等. 实时荧光核酸恒温扩增技术和液体培养法检测解脲脲原体的比较[J]. 生物技术通讯, 2013, 24(2): 251-253.
Li LH, Chen LD, Liu WT, *et al.* Comparison of simultaneous amplification and testing and liquid culture in the detection of ureaplasma urealyticum [J]. Lett Biotechnol, 2013, 24(2): 251-253.
- [13] 顾伟鸣, 杨阳, 吴磊, 等. 实时荧光核酸恒温扩增技术检测泌尿生殖道沙眼衣原体感染 [J]. 临床检验杂志, 2010, 28(4): 271-272.
Gu WM, Yang Y, Wu L, *et al.* Simultaneous Amplification and Testing in Chlamydia trachomatis infection of the urinary tract [J]. Chin J Clin Lab Sci, 2010, 28(4): 271-272.
- [14] 高志华, 金印, 陈峰. 实时荧光核酸恒温扩增技术检测尿液中淋球菌的分析[J]. 国际检验医学杂志, 2012, 33(4): 463-464.
Gao ZH, Jin Y, Chen F. Simultaneous Amplification and Testing

- in *Neisseria gonorrhoeae* of urine [J]. *Int J Lab Med*, 2012, 33(4): 463-464.
- [15] GB 4789.4 - 2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验[S].
GB 4789.4 - 2010 National food safety standard Food microbiological examination: *Salmonella* [S].
- [16] GB 4789.10 - 2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验[S].
GB 4789.10 - 2010 National food safety standard Food microbiological examination: *Staphylococcus aureus* [S].
- [17] GB 4789.7 - 2013 食品安全国家标准 食品微生物学检验 副溶血性弧菌[S].
GB 4789.7 - 2013 National food safety standard Food microbiological examination: *Vibrio parahaemolyticus* [S].
- [18] GB 4789.30 - 2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 单核细胞增生李斯特氏菌[S].
GB 4789.30 - 2010 National food safety standard Food microbiological examination: *Listeria monocytogenes* [S].
- [19] 李宏, 雷质文. 食品微生物检测方法确认和证实手册[M]. 中国标准出版社, 2013.
Li H, Lei ZW. Handbook of Validation and Confirmation of Food Microbiological Methods [M]. China Standard Publishing House, 2013.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



肖剑, 工程师, 主要研究方向为食品微生物检测技术。

E-mail: xjhq521@163.com



焦红, 研究员, 主要研究方向为食品安全与营养学检测技术。

E-mail: jhciq1228@163.com