

对某市生活饮用水微生物指标的监测分析与风险评估

孙元媛^{1,2}, 李亚楠^{1,2}, 宋翔^{1,2}, 黄登宇^{1,3*}

(1. 山西大学生命科学学院, 太原 030006; 2. 山西大学食品药品快速检测中心, 太原 030006;
3. 山西省食品药品监督管理局, 太原 030006)

摘要: **目的** 通过对某市 2014 年生活饮用水中微生物指标的监测分析与风险评估, 了解该市水质安全状况, 便于水质监管部门进行预防控制。**方法** 在该市的 9 个监测点随机抽取生活饮用水样本 676 个, 采用国标方法对菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌 4 个微生物指标进行检测分析, 并采用多维灰聚类方法对不合格率最高的监测点 7# 的不合格样本进行风险评估。**结果** 该市生活饮用水水样的总不合格率为 55.03%, 菌落总数和总大肠菌群是导致不合格的主要原因。监测点 7# 的不合格样本中, 低风险类型占 79%, 中风险类型占 16%, 高风险类型占 5%。**结论** 该市生活饮用水存在发生肠道传染病的风险, 需要采取措施进行改进。

关键词: 生活饮用水; 微生物; 多维灰聚类评估; 水质监测分析; 风险评估

Analysis and risk assessment of microorganisms in drinking water in a city of China

SUN Yuan-Yuan^{1,2}, LI Ya-Nan^{1,2}, SONG Xiang^{1,2}, HUANG Deng-Yu^{1,3*}

(1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. The Food And Drug Safety Rapid Inspection Center, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 3. Shanxi Food And Drug Administration, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: Objective To analyze and assess the risk of microorganisms in drinking water in order to prevent and control the drinking water pollution. **Methods** A total of 676 samples of water were selected from 9 monitoring stations of a city in central China in 2014. The microbial indexes were determined according to the national standards. Because of the lowest qualification rate, the 7th monitoring station's unqualified samples were analyzed by the multidimensional grey cluster assessment method. **Results** The fraction defective of microorganisms test results of drinking water was 55.03% in the city. The main influencing factors were the aerobic plate count and the coli form groups. In the 7th monitoring station, the low-risk type accounted for 79%, the middle-risk type was 16% and the high-risk type was only 5%. **Conclusion** There are some security risks existed in the city, and the related supervision department should take measures to improve the water quality.

KEY WORDS: drinking water; microorganism; multidimensional grey cluster assessment; water quality monitoring; risk assessment

*通讯作者: 黄登宇, 副教授, 主要研究方向为食品卫生检测。E-mail: Huangdy1110@126.com

*Corresponding author: HUANG Deng-Yu, Associate Professor, Shanxi University & Shanxi Food And Drug Administration, No.85, Longcheng Avenue, Xiaodian District, Taiyuan 030006, China. E-mail: Huangdy1110@126.com

1 引 言

生活饮用水的水质安全直接关系到居民的身体 健康, 一旦受到污染, 将会对人类的生命安全构成极 大的威胁^[1]。据调查, 由于水质污染所造成的介水性 传染疾病达到了 80%以上, 如甲肝、痢疾、伤寒, 而 与生活饮用水有关的卫生问题大多来自于微生物污 染^[2,3]。宫志敏等^[4]对上海市闵行区学生饮用水的调 查分析表明, 从 36 所学校抽检的 128 件水样中, 细菌总 数合格率仅为 53.91%, 学校供应的学生饮用水污染 严重。赵文慧等^[5]对河南省餐饮单位生活饮用水的监 测分析表明, 从宾馆、中小型饭店、学校餐厅共抽检 的 278 份样本的综合合格率为 68.3%, 分散式供水单 位的微生物污染尤为严重。饮用水中致病微生物的来 源大多为人类和动物的粪便, 摄入后可能会引起肠 胃疾病、肝炎, 甚至会导致婴儿的死亡, 故应引起政 府与相关监管部门的高度重视^[6]。提高生活饮用水的 卫生质量, 是保障居民生活、促进经济发展、维护社 会和谐的有效手段。

为了了解中国某省 L 市生活饮用水中微生物的污 染状况, 本研究对 2014 年该市的生活饮用水进行了随 机抽样, 严格按照国标方法对各指标进行检测, 并通过 多维灰聚类的数学方法对不合格样本进行风险评估, 便于相关部门对当地水质的规划管理与预防控制。

2 材料与方法

2.1 实验试剂

蛋白胨、牛肉膏、琼脂(青州启迪生物科技公司); 氯化钠(分析纯, 东莞乔科化学试剂有限公司); 乳糖 (广州越业生物科技公司); 溴甲酚紫乙醇溶液 (沈阳金天源化工有限公司); 磷酸氢二钾(分析纯, 上 海埃彼化学试剂有限公司); 伊红水溶液、美蓝水溶 液(上海宝曼生物科技公司); 草酸铵(天津市津 东天正精细化学试剂厂); 碘化钾(分析纯, 淄博万康 医药化工有限公司)。

2.2 实验仪器

高压蒸汽灭菌器(广州康迈医疗器械有限公司); 干热灭菌箱(上海善志仪器设备有限公司); 培养箱 (常州欧邦电视有限公司); 电炉(金坛市华城润华仪 实验仪器厂); 天平(上海方瑞仪器有限公司); 菌落 计数器(无锡安耐斯电子科技有限公司); pH 计(上海 英格仪器有限公司);显微镜(上海伦捷机电仪表有限 公司); 恒温水浴箱(华城敏科实验仪器厂)。

2.3 水样采集

综合考虑该市水资源类型、污染情况、管理状况 等因素, 在该市内选取 9 个监测点进行随机抽样, 均 为集中供水方式, 结果取 3 次平行试验的均值。共抽 取 676 个样本, 并将样品编号登记保存^[7], 监测点样 本分布如表 1 所示。

2.4 实验方法

2.4.1 检测指标测定方法^[8]

(1)菌落总数

采用平皿计数法进行检测。取 1 mL 水样注入 9 mL 生理盐水中, 依次 10 倍梯度稀释备用, 分别吸 取未稀释水样和 2~3 个适宜度稀释水样注入灭菌平 皿内, 倾注营养琼脂培养基培养, 旋摇混匀, 待冷 却后, 翻转平皿置于(36±1) °C 培养箱内培养 48 h, 进行计数^[9]。

(2)总大肠菌群

采用多管发酵法进行检测。取 10 mL 水样接种 到 10 mL 双料乳糖蛋白胨培养液中, 取原水样、10 倍梯度稀释水样各 1 mL 接种到 10 mL 单料乳糖蛋白 胨培养液中, 每个稀释度接种 5 管, 36 °C 培养 24 h, 若有产酸产气者, 接种到伊红美蓝琼脂平板上 36 °C 培养 18~24 h, 对特征菌落作革兰氏染色镜检为革兰 氏阴性无芽孢杆菌者, 接种到乳糖蛋白胨培养液 36 °C 培养 24 h, 有产酸产气者即证实总大肠菌群阳 性, 查检 MNP 检索表, 得到待测水样中的总大肠菌 群最可能数值^[10]。

表 1 监测点样本分布
Table 1 The sample distribution of monitoring stations

	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
样本总数	84	36	76	68	68	68	84	108	84
不合格样本数	17	21	1	8	28	3	62	14	0

(3)耐热大肠菌群

采用多管发酵法进行检测。自总大肠菌群试验中的阳性管中取 1 滴转种于 EC 培养基中, 44.5 ℃水浴培养 24 h, 若所有管都不产气, 可报告为阴性。若有产气者, 转种于伊红美蓝琼脂平板上, 44.5 ℃培养 18~24 h, 凡有典型菌落者即证实耐热大肠菌群阳性, 查检 MNP 检索表, 得到待测水样中的耐热大肠菌群最可能数值^[11]。

(4)大肠埃希氏菌

采用多管发酵法进行检测。用接种环将总大肠菌群多管发酵法的初发酵产酸或产气管中液体接种到 EC-MUG 管中, 44.5 ℃培养 24 h, 紫外灯照射若有蓝色荧光产生即为大肠埃希氏菌阳性, 查检 MNP 检索表, 得到待测水样中大肠埃希氏菌最可能数值^[12]。

2.4.2 多维灰聚类评估方法

采用各指标的测定方法, 对指标进行分析测定, 建立原始数据的样本矩阵; 根据指标的高低对系统的影响来确定各指标的极性; 参考样本数据序列本身的分布情况, 将风险分为三个类别, 规定平均值为中类限值 Z , 加上标准差为高类限值 H , 减去标准差为低类限值 L ^[13];

建立各类别的白化权函数^[14], (d_{ij} 为某样本在指标序列下的数值, i 为样本编号, j 为指标); 将各指标序列原始数据代入白化权函数, 计算相应的权系数矩阵; 根据指标的特性及对系统的影响程度进行确定各指标权重; 加权平均计算综合权系数矩阵判断各样本所属灰类, 并画出三角坐标图^[15]。

各类别白化权函数为式(1)、式(2)、式(3):

高类:

$$f_{1(ij)} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \geq H \\ (d_{ij} - Z) / (H - Z) & Z < d_{ij} < H \\ 0 & d_{ij} \leq Z \end{cases} \quad (1)$$

中类:

$$f_{2(ij)} = \begin{cases} 0 & d_{ij} \geq H \\ (H - d_{ij}) / (H - Z) & Z < d_{ij} < H \\ 1 & d_{ij} = Z \\ (d_{ij} - L) / (Z - L) & L < d_{ij} < Z \\ 0 & d_{ij} \leq L \end{cases} \quad (2)$$

低类:

$$f_{3(ij)} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq L \\ (Z - d_{ij}) / (Z - L) & L < d_{ij} < Z \\ 0 & d_{ij} \geq Z \end{cases} \quad (3)$$

3 结果与分析

3.1 各监测点样品不合格率

各监测点水样的微生物各项指标的不合格率结果如表 2 所示。菌落总数与总大肠菌群超标明显, 除监测点 9[#]样本全部合格外, 其他监测点均有不合格样本。其中, 监测点 7[#]的总不合格率最高, 为 73.81%。

3.2 监测点 7[#]的多维灰聚类评估

该监测点生活饮用水样本中, 菌落总数、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌及总大肠菌群均有超标现象,

表 2 各监测点水质监测结果不合格率(%) $(n=3)$
Table 2 The fraction defective of microorganisms test results of drinking water of all monitoring stations $(n=3)$

	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]
菌落总数	1.19	58.33	1.32	11.76	23.53	1.47	5.95	18.52	0.00
总大肠菌群	20.14	30.56	0.00	0.00	29.41	2.94	44.05	4.63	0.00
耐热大肠菌群	11.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.76	0.00	0.00
大肠埃希氏菌	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.88	28.57	0.00	0.00
总不合格率	20.14	58.33	1.32	11.76	41.18	4.41	73.81	12.96	0.00

且总不合格率最高。因此, 有必要对该监测点进行风险评估。因为生活饮用水系统存在一定的灰性, 而多维灰聚类方法正是建立在贫信息和样本模糊性的基础上, 将系统尽可能的白化、量化, 因此可以使用多维灰聚类的方法对生活饮用水的水质安全风险程度进行聚类划分^[16]。

3.2.1 建立样本矩阵

对微生物四个指标构建的样本矩阵如下:

序列号	菌落总数	耐热大肠菌群	大肠埃希氏菌	总大肠菌群
1	370	79	79	280
2	160	23	23	240
3	166	23	23	79
4	0	0	0	13
5	0	23	23	23
6	0	23	23	79
7	0	33	33	33
8	0	33	33	49
9	0	23	23	33
10	0	11	11	14
11	0	27	27	27
12	0	0	0	23
13	111	0	0	130
14	120	79	79	280
...	...	...	...	...

3.2.2 确定各指标极性

生活饮用水中菌落总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群及大肠埃希氏菌含量越高, 安全风险程度越大, 所以微生物类指标均为正极性指标。

3.2.3 确定各指标类别界限

计算各指标平均值与标准差, 确定高、中、低类别界限如表 3 所示。

表 3 各检测指标的类别界限
Table 3 Category threshold of evaluation index

指标名称	不合格指标类别界限		
	高	中	低
菌落总数	291.4	185.4	79.4
总大肠菌群	138.3	76.5	14.7
耐热大肠菌群	44.8	27.8	10.7
大肠埃希氏菌	45.8	28.4	17.4

3.2.4 计算权系数矩阵

将各指标序列数值代入各自白化权函数中, 得到相应的权系数矩阵。

菌落总数			总大肠菌群		
高类	中类	低类	高类	中类	低类
1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.760	0.240	1.000	0.000	0.000
0.000	0.817	0.183	0.040	0.960	0.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.134	0.866
0.000	0.000	1.000	0.040	0.960	0.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.296	0.704
0.000	0.000	1.000	0.000	0.555	0.445
0.000	0.000	1.000	0.000	0.296	0.704
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.199	0.801
0.000	0.000	1.000	0.000	0.134	0.866
0.000	0.298	0.702	0.866	0.134	0.000
0.000	0.383	0.617	1.000	0.000	0.000
...	...	...	...	...	...
耐热大肠菌群			大肠埃希氏菌		
高类	中类	低类	高类	中类	低类
1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.719	0.281	0.000	0.509	0.491
0.000	0.719	0.281	0.000	0.509	0.491
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
0.000	0.719	0.281	0.000	0.509	0.491
0.000	0.719	0.281	0.000	0.509	0.491
0.306	0.694	0.000	0.264	0.736	0.000
0.306	0.694	0.000	0.264	0.736	0.000
0.000	0.719	0.281	0.000	0.509	0.491
0.000	0.018	0.982	0.000	0.000	1.000
0.000	0.953	0.047	0.000	0.873	0.127
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
1.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
...	...	...	...	...	...

3.2.5 确定各指标权重

菌落总数是指标性微生物指标, 大肠菌群是食品污染常用指标, 耐热大肠菌群与大肠埃希氏菌是致病菌指标^[17,18], 赋予权重为: 菌落总数: 0.15; 总大肠菌群: 0.25; 耐热大肠菌群: 0.3; 大肠埃希氏菌: 0.3。

3.2.6 计算综合权系数矩阵判断各样本所属灰类, 并画出三角坐标图

该监测点不合格样本中, 低风险类型比重为 79%, 中风险为 16%, 高风险为 5%。

序列号	综合权系数矩阵			灰类型		
	高类	中类	低类	高类	中类	低类
1	1.000	0.000	0.000	✓		
2	0.250	0.483	0.267		✓	
3	0.010	0.731	0.259		✓	
4	0.000	0.000	1.000			✓
5	0.000	0.402	0.598			✓
6	0.010	0.608	0.381		✓	
7	0.171	0.503	0.326		✓	
8	0.171	0.568	0.261		✓	
9	0.000	0.443	0.557			✓
10	0.000	0.005	0.995			✓
11	0.000	0.598	0.402		✓	
12	0.000	0.034	0.966			✓
13	0.216	0.078	0.705			✓
14	0.850	0.057	0.093	✓		
...	...	...	...	...	...	...

三角坐标图(图 1)可以直观地反映该监测点生活饮用水安全风险的评估结果。等边三角形的三个顶点分别代表高风险(high)、中风险(middle)、低风险(low),三条边所在的坐标轴分别为高风险坐标轴(Y Axis)、中风险坐标轴(Z Axis)、低风险坐标轴(X Axis)。其中,相同样本重合于一点。

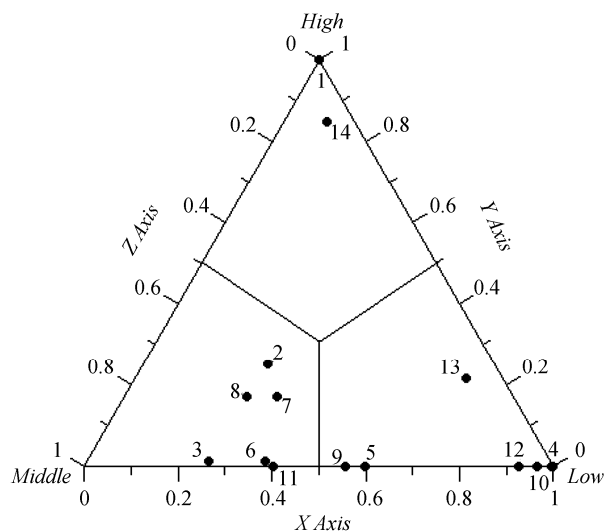


图 1 监测点 7#不合格样本灰聚类分布情况

Fig. 1 Grey class distribution of the seventh monitoring station
Y Axis—高风险坐标轴; Z Axis—中风险坐标轴;
X Axis—低风险坐标轴

4 讨 论

通过本次检测分析,可推测该市生活饮用水水

质情况: (1)本次监测共抽取 676 个样本,不合格率为 55.03%。其中,菌落总数(不合格率为 25.27%)、总大肠菌群(不合格率为 27.42%)是导致生活饮用水不合格的主要原因,存在发生肠道传染病的可能性,所以应该针对这两项指标进行预防控制; (2)抽检样本来自于 9 个监测点,其中,监测点 7#的不合格率最高,达到 73.81%,污染主要来源于耐热大肠菌群(不合格率为 29.76%)、大肠埃希氏菌(不合格率为 28.57%)、总大肠菌群(不合格率为 44.05%)。监测点 5#次之,不合格率为 58.33%,污染来源于菌落总数(不合格率为 58.33%)、总大肠菌群(不合格率为 30.56%)。其他监测点的合格率较高,处于可接受的程度; (3)对监测点 7#的不合格样本进行多维灰聚类评估,结果表明,79%属于低风险类型,处于可控状态。但还有 21%不属于低风险范畴,为了将风险降到最低,该监测点相关监督管理部门应当排查污染源,进行有针对性的治理。

总之,该市生活饮用水潜在一些安全隐患,需要采取一定的措施。为了使生活饮用水的风险降到最低,提出如下建议: (1)积极宣传生活饮用水水质污染的危害性,提高民众的环保意识; (2)加大投入力度,采用先进的技术与设备净化自来水,加强集中供水水质的净化处理; (3)有关政府部门应加强管理,严格控制污染物的排放,在集中供水处理过程中增加规范的消毒环节。

参考文献

[1] 韩晓晗. 太原市小店区生活饮用水微生物检测结果分析[J]. 山西职工医学学报, 2015, 25(1): 57-59.
HAN XH. Analysis of microorganism test results of drinking water in Xiaodian district of Taiyuan city [J]. J Shanxi Med Coll Contin Edu, 2015, 25(1): 57-59.

[2] 甘辉, 皮璟渔, 万茵. 江西部分城乡生活饮用水现状监测分析与评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(5): 534-538.
Gan H, Pi JY, Wan Y. Analysis and assessment of drinking water quality of part urban and rural areas in Jiangxi province [J]. J Food Saf Qual, 2012, 3(5): 534-538.

[3] World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality [S].

[4] 官志敏, 应圣洁, 何丹丹, 等. 上海市闵行区 2012 年学生饮用水微生物污染状况分析[J]. 环境与职业医学, 2013, 30(12): 924-927.
Gong ZM, Ying SJ, He DD, et al. Microbial contamination in

- drinking water serving for students in Minhang district, Shanghai, 2012 [J]. J Environ Occup Med, 2013, 30(12): 924–927.
- [5] 翟文慧, 王爱月, 李永利, 等. 河南省餐饮单位生活饮用水微生物污染状况调查[J]. 环境卫生学杂志, 2014, 4(2): 171–173, 177.
- Zhai WH, Wang AY, Li YL, *et al.* Quality of drinking water in catering units in Henan province [J]. J Environ Hyg, 2014, 4(2): 171–174, 177.
- [6] 吴清平, 张永清, 张菊梅. 饮用水微生物安全风险控制[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(11): 188–191.
- Wu QP, Zhang YQ, Zhang JM. Risk control of microbial safety in drinking water [J]. Food Res Devel, 2009, 30(11): 188–191.
- [7] GB 5750.2-2006 生活饮用水卫生标准[S].
- GB 5750.2-2006 Hygienic standard for drinking water [S].
- [8] GB 5750.12-2006 生活饮用水标准检验方法 微生物指标[S].
- GB 5750.12-2006 Drinking water standard examination method-microbiological indicator [S].
- [9] 施建兵, 周荣. 平皿计数法测定细菌总数的不确定度评定[J]. 污染防治技术, 2011, 24(3): 79–80.
- Shi JB, Zhou R. Uncertainty evaluation of measurement of total number of bacteria by plate count technique [J]. Pollut Ctrl Technol, 2011, 24(3): 79–80.
- [10] 张金平, 林曦, 吴桐, 等. 多管发酵法对不同水样中大肠菌群数的检测与分析[J]. 现代医药卫生, 2011, 27(1): 4–6.
- Zhang JP, Lin X, Wu T, *et al.* Detection and analysis on number of coliform group in different water samples by multiple-tube fermentation technique [J]. J Mod Med Health, 2011, 27(1): 4–6.
- [11] 黄永亮, 杨天佑, 黄忠实. 生活饮用水耐热大肠菌群检测多管发酵法的改进[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(4): 932–933.
- Huang YL, Yang TY, Huang ZS. Improvement of multiple tube fermentation technique in thermotolerant coliforms in daily drinking water [J]. Chin J Health Lab Technol, 2012, 22(4): 932–933.
- [12] 陈胜华, 林新顺. 乳糖多管发酵法与酶底物法检测水中大肠埃希氏菌结果比较[J]. 中国热带医学, 2015, 15(2): 173–175.
- Chen SH, Lin XS. Comparison of results Lactose multiple tube fermentation method and enzyme substrate method in detection of Escherichia coli [J]. Chin Trop Med, 2015, 15(2): 173–175.
- [13] 王瑞, 李婷, 赵玉梅, 等. 多维灰聚类评估在山西老陈醋质量评价中的应用[J]. 食品工业, 2014, 35(7): 166–168.
- Wang R, Li T, Zhao YM, *et al.* The application of multidimensional grey clustering assessment on the quality evaluation of Shanxi extra aged vinegar [J]. Food Ind, 2014, 35(7): 166–168.
- [14] 奚瑞芳, 赵玉梅, 李婷, 等. 多维灰聚类分析在熟肉制品安全风险评价中的应用[J]. 食品工业, 2012, 33(7): 87–89.
- Xi RF, Zhao YM, Li T, *et al.* The application of multidimensional grey clustering evaluation in the food safety risk assessment of the cooked meat products [J]. Food Ind, 2012, 33(7): 87–89.
- [15] 赵玉梅, 宋翔, 张威, 等. 对中部某省凉拌菜安全风险的灰聚类评估[J]. 食品工业, 2013, 34(3): 176–178.
- Zhao YM, Song X, Zhang W, *et al.* The grey clustering evaluation of the safety risk of cold dish in the middle of China [J]. Food Ind, 2013, 34(3): 176–178.
- [16] Liu SF, Jeffrey F, Robert V. Emergence and development of grey systems theory [J]. Kybernetes, 2009, 1: 7–8.
- [17] 曹铁红. 155 份食品和桶装饮用水菌落总数测定结果分析[J]. 中国卫生工程学, 2014, 13(2): 174–175.
- Cao TH. Analysis of results of 155 copies of food and barreled drinking water [J]. Chin J Public Health Eng, 2014, 13(2): 174–175.
- [18] 谢许情, 赖肖, 章英. 南昌市农村饮水安全工程水质变化趋势与肠道传染病发病状况的调查[J]. 环境卫生学杂志, 2014, 4(4): 365–368.
- Xie XQ, Lai X, Zhang Y. Relationship between water quality in rural drinking water safety projects and incidence of intestinal infectious diseases in Nanchang [J]. J Environ Hyg, 2014, 4(4): 365–368.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



孙元媛, 硕士研究生, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: Sunyyfighting@163.com



黄登宇, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为食品卫生检测。

E-mail: Huangdy1110@126.com