

风险评估

内蒙古自治区居民膳食中铝暴露风险评估

杨乐¹, 邢宏宇², 单美娜², 徐晓枫², 蒲云霞²

(1. 内蒙古科技大学包头医学院公共卫生学院, 内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古自治区综合疾病预防控制中心, 内蒙古 呼和浩特 010031)

摘要:目的 了解内蒙古自治区主要食品中铝的污染现状,对当地居民膳食中铝暴露风险进行评估。方法 对2010—2018年内蒙古自治区食品安全风险监测中主要含铝添加剂食品的铝残留量进行分析,结合2012年内蒙古自治区居民食物消费量数据,按照性别-年龄组计算内蒙古自治区居民膳食中铝摄入量并评估其健康风险。结果 本次评估主要的含铝添加剂食品9类共1 083份,其中铝的检出率为69.44%(752/1 083),铝残留量均值为142.81 mg/kg,含量范围为2.50~2 950.00 mg/kg;全人群膳食中铝每周平均摄入量为0.692 mg/kg BW,低于食品添加剂联合专家委员会(JECFA)制定的每周可耐受摄入量(PTWI,2 mg/kg BW),高食物消费量人群膳食中铝每周摄入量为4.868 mg/kg BW,是PTWI的2.43倍;不同性别-年龄组人群膳食中铝每周平均摄入量均未超过PTWI,但各性别-年龄组人群的平均铝摄入量随年龄增加有降低的趋势。结论 粉条、油条中含铝添加剂超标现象严重,膨化食品、发酵面制品中存在含铝添加剂超范围使用现象。各性别-年龄组高消费量人群铝的暴露风险较大,相关部门需加强含铝添加剂超范围、超标使用的监管力度。

关键词:膳食摄入;简单分布模型;暴露评估;铝;残留量;监测

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2021)02-0196-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2021.02.014

Risk assessment of dietary aluminum exposure for residents in Inner MongoliaYANG Le¹, XING Hongyu², SHAN Meina², XU Xiaofeng², PU Yunxia²

(1. School of Public Health, Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Inner Mongolia Baotou 014010, China; 2. Integrated Disease Prevention and Control Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Inner Mongolia Huhhot 010031, China)

Abstract: Objective To understand the current situation of aluminum pollution in the main foods in Inner Mongolia and to evaluate the risk of dietary aluminum exposure of local residents. **Methods** The aluminum residues of foods containing aluminum additives in food safety risk monitoring in Inner Mongolia from 2010 to 2018 were analyzed. Combined with the food consumption data of residents in Inner Mongolia in 2012, the dietary aluminum intake and health risk was calculated and assessed by sex-age group. **Results** In this assessment, there were 1 083 common aluminum-containing foods samples with a detection rate of 69.44% (752/1 083). The average content of aluminum residue was 142.81 mg/kg, ranging from 0.30 mg/kg to 2 950.00 mg/kg. The average weekly intake of dietary aluminum for the whole population was 0.692 mg/kg BW which was lower than the tolerable weekly intake (PTWI, 2 mg/kg BW) formulated by the Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA). The weekly intake of dietary aluminum for people with high food consumption was 4.868 mg/kg BW. It was 2.43 times that of PTWI. The average weekly dietary aluminum intake of people in different gender-age groups did not exceed PTWI, and the average intake decreased with the increase of age. **Conclusion** Aluminum containing additives in vermicelli and deep-fried dough sticks exceeded the standard seriously. Aluminum containing additives in puffed food and fermented flour products were used beyond the scope. High-consumption groups of all sex-age groups are at greater risk of aluminum exposure. Relevant departments need to strengthen the supervision of the abuse of aluminum-containing additives.

Key words: Dietary intake; simple distribution model; exposure assessment; aluminum; residue; monitoring

收稿日期:2020-11-20

作者简介:杨乐 女 硕士生 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:1785290924@qq.com

通信作者:蒲云霞 女 主任检验师 研究方向为食品安全风险监测与评估 E-mail:btltisa2008@163.com

铝是人体非必需微量元素,广泛分布于地壳中。随着人类科学研究的发展,科学家们发现铝对人体的神经系统、骨骼、免疫系统、血液循环系统及呼吸系统均具有一定的毒性^[1-6]。目前,最受人们关注的是铝的神经毒性。研究^[7]表明,铝的过量摄入可引起学

习、记忆能力的下降,并且可能与阿尔茨海默症的发生有关。人群膳食铝暴露途径包括天然本底铝、食品接触材料迁移铝及含铝添加剂的使用,而含铝添加剂是膳食中铝暴露的主要来源^[8]。

本研究利用 2010—2018 年内蒙古自治区风险监测中主要含铝添加剂食品的铝残留量数据,结合 2012 年内蒙古自治区的食物消费量数据,采用简单分布评估法(确定性评估)对内蒙古自治区居民膳食中铝暴露风险进行评估。

1 材料与方法

1.1 样品来源

采用多级分层随机抽样的方法,在内蒙古自治区 12 个盟市居民主要消费的批发市场、超市、农贸市场、早餐店、流动摊位等地采样,样品包括馒头、花卷、油条、麻花、粉条、粉丝、膨化食品、面包及饼干 9 个食品类别,共计 1 083 份样品。

1.2 方法

1.2.1 检验方法及评价标准

采用 GB 5009.182—2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》^[9]中的分光光度法进行检测,方法检出限(LOD) ≤ 5 mg/kg。根据 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》^[10]规定的使用范围和限量标准进行判定。

1.2.2 暴露评估

以联合国粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)于 2011 年修订的每周可耐受摄入量(PTWI, 2 mg/kg BW)作为本次评估的健康指导值^[8]。暴露评估方法采用简单分布评估法(确定性评估),计算内蒙古自治区居民含铝添加剂的摄入量。公式为:

$$Exp = \sum_{i=1}^n \frac{F_i \times C_i \times 7}{1\ 000 \times W}$$

其中, Exp 为某个体每周每公斤体重铝的摄入量,

单位为 mg/kg BW; F_i 为某个体第 i 种食物的消费量,单位为 g/d; C_i 为第 i 种食物中铝的含量,单位为 mg/kg; W 为某个体的体质量,单位为 kg; 7 表示一周 7 d。

食品中铝的贡献率(%) = 某类食品中铝平均摄入量/各类食品中铝摄入量之和。在得到个体铝摄入量的基础上,最终可以获得铝摄入量的频数分布,并可计算全人群和不同性别-年龄组人群铝摄入量的平均值和 P50、P90、P97.5 以及最大值。

1.3 统计学分析

本研究中各类食品未检出率均小于 60%,故未检出的数据以 1/2LOD 替代^[11]。采用 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析,应用秩和检验和 χ^2 检验分别进行平均含量与率的比较,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同食品类别中的铝残留量

2010—2018 年共监测了 9 个食品类别总计 1 083 份样品,样品的总体检出率为 69.44% (752/1 083),其中粉条、花卷、油条的检出率分别为 87.07% (128/147)、84.38% (27/32)、82.21% (171/208);铝平均残留量为 142.81 mg/kg,其中粉条、油条、花卷中铝平均残留量相对较高,分别为 515.85、263.42、132.94 mg/kg;油条、粉丝、粉条中铝最大残留量为 2 090.00、2 310.00、2 950.00 mg/kg,分别超过 GB 2760—2014^[10]中相应限量值的 20.90 倍、11.55 倍、14.75 倍。对 9 个食品类别中的铝平均残留量进行 Kruskal-Wallis H 秩和检验和进一步地两两比较(秩变换 SNK 法),结果表明,粉条中铝平均残留量与其他食品类别(除麻花和花卷外)比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),结果见表 1。

2.2 标准(GB 2760—2014)修订前后各类食品中铝残留量对比分析

新版 GB 2760—2014^[10]中禁止在馒头、花卷

表 1 不同食品类别铝残留量结果

Table 1 Analysis results of aluminum residues in different types of food

食品种类	样品份数	检出份数 (检出率/%)	铝含量/(mg/kg)				
			均值	P50	P90	P95	最大值
馒头	99	79 (79.80)	34.10	6.50	85.90	198.00	682.00
花卷	32	27 (84.38)	132.94	31.10	386.48	723.01	1 006.80
油条	208	171 (82.21)	263.42	33.60	743.15	932.36	2 090.00
麻花	35	21 (60.00)	78.94	26.00	232.38	311.00	495.00
粉条	147	128 (87.07)	515.85	180.00	1 754.00	2 096.00	2 950.00
粉丝	54	26 (48.15)	78.01	5.00	125.00	339.50	2 310.00
面包	53	24 (45.28)	21.06	2.50	66.92	87.85	428.90
饼干	65	37 (56.92)	7.35	3.60	13.96	26.92	79.50
膨化食品	390	239 (61.28)	20.07	6.14	52.99	86.60	340.00
合计	1 083	752 (69.44)	142.81	9.60	439.20	804.26	2 950.00

等发酵面制品和膨化食品中使用含铝添加剂,但监测发现,这两类食品中仍有含铝添加剂的检出。此外,标准修订后油条、粉条的超标率分别为 42.48%

(48/113)和 35.90%(14/39),且铝平均残留量分别为 257.43 和 527.95 mg/kg,分别是标准的 2.57 倍和 2.64 倍,结果见表 2。

表 2 标准修订前后各类食品中铝残留量对比分析结果

Table 2 Comparative analysis of aluminum residues in various foods before and after standard revision

食品种类	标准修订前				标准修订后			
	样品份数	均值/(mg/kg)	检出份数(检出率/%)	超标份数(超标率/%)	样品份数	均值/(mg/kg)	检出份数(检出率/%)	超标份数(超标率/%)
馒头	36	54.28	20 (55.56)	5 (13.89)	63	22.57	59 (93.65)	—
花卷	28	151.07	23 (82.14)	13 (46.43)	4	6.03	4 (100.00)	—
油条	95	270.55	80 (84.21)	46 (48.42)	113	257.43	89 (78.76)	48 (42.48)
粉条	108	511.48	103 (95.37)	—	39	527.95	25 (64.10)	14 (35.90)
粉丝	33	98.73	16 (48.48)	—	21	45.44	9 (42.86)	2 (9.52)
面包	38	26.85	12 (31.58)	1 (2.63)	15	6.37	12 (80.00)	0 (0.00)
饼干	19	11.93	5 (26.32)	0 (0.00)	46	5.45	32 (69.57)	0 (0.00)
膨化食品	325	22.14	184 (56.62)	8 (2.46)	65	9.65	56 (86.15)	—
合计	682	144.91	443 (64.96)	—	366	144.96	286 (78.14)	—

注:—表示无相关评价标准,故无法统计超标情况

对标准修订前后每个食品类别中的铝平均残留量进行两独立样本秩和检验,结果显示油条中铝平均残留量较标准修订前下降且差异有统计学意义($Z = -2.346, P < 0.05$),其他食品类别前后变化差异均无统计学意义($P > 0.05$)。对标准修订前后每个食品类别含铝添加剂的检出率进行 χ^2 检验,发现标准修订后的油条($\chi^2 = 25.280$)、粉条($\chi^2 = 24.891$)中铝残留量的检出率比标准修订前下降,差异均有统计学意义($P < 0.001$);而面包($\chi^2 = 10.177$)、馒头($\chi^2 = 20.624$)、饼干($\chi^2 = 10.257$)、膨化食品($\chi^2 = 19.968$)检出率比标准修订前有所增高,差异均有统计学意义($P < 0.05$);对标准修订前后的总体检出率进行 χ^2 检验,发现标准修订后的总体检出率较标准修订前升高

且差异有统计学意义($\chi^2 = 19.559, P < 0.001$)。

2.3 膳食铝暴露评估结果

2.3.1 全人群膳食铝摄入量及分布

全人群评估结果显示,内蒙古自治区居民含铝添加剂每周平均摄入量为 0.692 mg/kg BW,消费人群铝的平均摄入量为 1.319 mg/kg BW,均未超过 PTWI;高消费人群(P97.5)膳食中铝摄入量为 4.868 mg/kg BW,是 PTWI 的 2.43 倍。值得注意的是摄入量的 P90 为 2.106 mg/kg BW,即至少有超过 10%的人群铝摄入量超过 PTWI,存在健康风险。在所有的食品类别中,粉条对膳食铝摄入量的贡献率最高(73.12%),为内蒙古自治区居民膳食中铝暴露的主要来源,结果见表 3、图 1。

表 3 内蒙古自治区居民全人群膳食铝摄入量结果

Table 3 Results of dietary aluminum intake of the entire population of residents in Inner Mongolia

食品种类	平均消费量/(g/d)	每周膳食铝摄入量/(mg/kg BW)					均值占 PTWI/%	贡献率/%
		均值	P50	P90	P97.5	最大值		
油条	3.135	0.092	0.000	0.000	1.296	10.570	4.60	13.29
粉丝	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.163	0.05	0.00
粉条	8.001	0.506	0.000	1.744	4.468	11.355	25.30	73.12
馒头花卷	38.943	0.091	0.000	0.323	0.704	1.628	4.55	13.15
面包饼干	3.407	0.003	0.000	0.000	0.038	0.261	0.15	0.43
膨化食品	0.304	0.000	0.000	0.000	0.000	0.114	0.00	0.00
合计	53.895	0.692	0.039	2.106	4.868	11.363	34.60	100.00

2.3.2 不同性别-年龄组人群膳食中铝摄入量

不同性别-年龄组人群评估结果显示,6~10岁年龄组人群每周平均膳食铝摄入量为 1.846 mg/kg BW(未超过 PTWI),主要来源于粉条(占 6~10岁年龄组总摄入量的 96.31%),且该年龄组中超过 PTWI 的人数占调查人数的 25.93%(7/27);其他年龄组人群的平均膳食铝摄入量均未超过 PTWI,但

高消费人群的膳食铝摄入量是 PTWI 的 2.17~2.37 倍之间;全人群膳食铝摄入量超 PTWI 的人数为 159 人,占总调查人数的 10.63%(159/1496),结果见表 4。

3 讨论

监测数据分析结果显示,不同食品类别的铝残

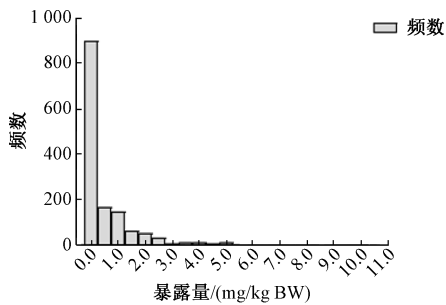


图1 全人群膳食铝暴露频数分布

Figure 1 Distribution of dietary aluminum exposure frequency of the whole population

表4 内蒙古自治区各性别-年龄组人群膳食铝摄入量

Table 4 Dietary aluminum intake of all sex-age groups in Inner Mongolia

人群分组	调查人数	膳食铝摄入量/(mg/kg BW)					超 PTWI 人数	均值占 PTWI/%
		均值	P50	P90	P97.5	最大值		
6~10岁	27	1.846	0.120	7.420	—	11.355	7	92.30
11~17岁男	12	1.426	0.360	7.417	—	8.440	2	71.30
11~17岁女	19	1.108	0.310	2.390	—	9.740	3	55.40
18~59岁男	493	0.672	0.040	1.936	4.437	11.363	45	33.60
18~59岁女	579	0.687	0.040	2.250	4.345	9.460	67	34.35
≥60岁男	178	0.589	0.000	1.984	4.736	9.260	17	29.45
≥60岁女	188	0.607	0.030	1.903	4.705	7.340	18	30.35
消费人群	785	1.319	0.838	3.409	5.759	11.363	159	65.95
合计	1 496	0.692	0.039	2.106	4.868	11.363	159	34.60

注:—表示无此数据

为发酵面制品的馒头是不允许使用含铝添加剂的,应予以重点关注。

评估结果显示,虽然全人群每周平均膳食铝摄入量(0.692 mg/kg BW)未超过 PTWI,但各年龄组高食物消费量人群的膳食铝摄入量均超过 PTWI,表明这部分人群存在较高健康风险。本研究结果显示,粉条是内蒙古自治区居民膳食铝摄入的主要来源(贡献率为73.12%),考虑这种情况与内蒙古自治区居民的消费习惯和当地粉条中的铝残留量超标密切相关;成年人膳食铝摄入量均值明显低于未成年人,可能与未成年人合理膳食意识薄弱有关,值得注意的是,6~10岁儿童超 PTWI 的人数比例远超全人群,且其膳食摄入量的96.32%均来自粉条,这部分人群应限制粉条的摄入;与国内其他地区比较,内蒙古自治区居民的平均膳食铝摄入量(0.692 mg/kg BW)高于广州市居民的平均膳食铝摄入量(0.206 mg/kg BW)^[14],考虑是南北方饮食差异的原因,南方主食为大米,而北方以面食为主。

此外,本次评估采用的铝残留量数据仅包含了主要的含铝添加剂食品,未包括所有可能的含铝添加剂食品以及食物存在的本底铝和食品接触材料中的迁移铝,也未考虑由空气吸入的铝和饮水摄入的铝,因此某种程度上可能低估内蒙古自治区居民

留量差异较大,粉条最高、油条次之。此外,油条、粉条中的铝残留量超标问题严重,发酵面制品、膨化食品中存在含铝添加剂超范围使用现象。本次铝残留量数据分析结果和其他地区的调查结果基本一致,如江西省的油炸小麦制品的超标及膨化食品的超范围使用问题^[12]和吉林省粉皮、粉条及油条的超标及发酵面制品的超范围使用问题^[13]。通过对标准修订前后各类食品中铝残留检出率的统计分析结果可知,标准修订后各食品类别总检出率上升,主要原因为面包、馒头和饼干检出率的上升,表明这几类食品需要加大监督监管力度,特别是作

的膳食铝摄入量。其次,2012年内蒙古自治区居民的膳食结构和消费水平与当前可能存在一定的差异,也会影响最终的评估结果。

综上所述,6~10岁儿童及各年龄组高食物消费量人群应注意合理膳食,少吃高含铝添加剂食品,如粉条、粉丝、油条、油饼等,从而降低膳食铝暴露风险。膨化食品和发酵面制品中含铝添加剂的超范围使用问题和粉条、油条的超标问题应成为目前相关部门监督治理的重点,有关部门应加强食品生产环节含铝添加剂规范使用的监管和查处力度,杜绝超标、超范围添加的行为。

参考文献

- [1] SHARMA A. Evaluation of certain food additives and contaminants[J]. Indian Journal of Medical Research, 2018, 148(2): 245.
- [2] MARTINEZ C S, VERA G, OCIO J A U, et al. Aluminum exposure for 60 days at an equivalent human dietary level promotes peripheral dysfunction in rats[J]. Journal of Inorganic Biochemistry, 2018, 181: 169-176.
- [3] MENG H X, WANG S S, GUO J H, et al. Cognitive impairment of workers in a large-scale aluminium factory in China: a cross-sectional study[J]. BMJ Open, 2019, 9(6): e027154.
- [4] CHENG D, ZHANG X Y, TANG J L, et al. Chlorogenic acid protects against aluminum toxicity via MAPK/Akt signaling

- pathway in murine RAW_{264.7} macrophages [J]. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2019, 190: 113-120.
- [5] OMRAN G A. Hematological and immunological impairment following in-utero and postnatal exposure to aluminum sulfate in female offspring of albino rats [J]. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 2019, 41(1): 40-47.
- [6] YU L L, WU J P, ZHAI Q X, et al. Metabolomic analysis reveals the mechanism of aluminum cytotoxicity in HT-29 cells [J]. *PeerJ*, 2019, 7: e7524.
- [7] WANG Z J, WEI X M, YANG J L, et al. Chronic exposure to aluminum and risk of Alzheimer's disease: a meta-analysis [J]. *Neuroscience Letters*, 2016, 610: 200-206.
- [8] FAO/WHO. Summary report of the seventy-fourth meeting of JECFA [R]. Rome: FAO/WHO, 2011.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中铝的测定: GB 5009.182—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准: GB 2760—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [11] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题 [J]. *中华预防医学杂志*, 2002, 36(4): 278-279.
- [12] 徐匡根, 上官新晨, 傅陈欣熹, 等. 江西省3498份食品样品中铝污染检测分析 [J]. *江西农业大学学报*, 2017, 39(3): 594-599.
- [13] 李青, 刘思洁, 高玉雪. 吉林省2012—2016年部分食品中铝的膳食暴露评估研究 [J]. *中国卫生工程学*, 2018, 17(1): 44-47.
- [14] 张玉华, 刘于飞, 张维蔚, 等. 2014—2018年广州市市售食品中铝含量调查及人群膳食暴露评估 [J]. *现代预防医学*, 2020, 47(11): 53-55, 60.

风险评估

基于生物可给性的广东省居民主要消费海水鱼膳食暴露评估应用初探

王萍^{1,2}, 赵瑞霞², 陈子慧^{1,2}, 吴炜亮³, 陈少威^{1,2}, 黄芮^{1,2}, 霍伟伦^{1,2}, 黄伟雄², 杨杏芬³

(1. 广东省公共卫生研究院, 广东 广州 511430;

2. 广东省疾病预防控制中心, 广东 广州 511430; 3. 南方医科大学公共卫生学院, 南方医科大学食物安全与健康研究中心, 广东省热带病研究重点实验室, 广东 广州 510515)

摘要:目的 分析广东省居民主要消费海水鱼品种中甲基汞的生物可给性及其影响因素, 探讨生物可给性对膳食海水鱼甲基汞暴露的影响。方法 在广州某大型水产贸易市场采集12种海水鱼(共36份样品), 经不烹调(生样)、油煎、烘烤或清蒸等4种烹调后, 采用体外模型生理原理提取法测定甲基汞生物可给性, 比较不同海水鱼、烹调方式之间甲基汞生物可给性差异, 并分析生物可给性对甲基汞暴露状况的影响。结果 12种海水鱼生样中甲基汞生物可给性范围为26.5%(带鱼)~84.3%(龙利鱼)。烹调后海水鱼甲基汞生物可给性下降, 油煎、烘烤后分别下降了29.0%和30.7%, 差异均有统计学意义($P < 0.05$), 清蒸后变化差异无统计学意义($P > 0.05$)。甲基汞生物可给性与甲基汞含量呈线性负相关, Pearson相关系数 $r = -0.442$ ($P < 0.001$)。考虑生物可给性后, 沿海地区居民海水鱼甲基汞每周暴露量均值下降48.3%; 带鱼甲基汞暴露贡献率由13%降至7%, 龙利鱼贡献率由8%上升至14%。结论 海水鱼中甲基汞生物可给性因鱼种不同存在差异, 烹调后生物可给性下降, 在膳食甲基汞暴露风险评估中可综合考虑生物可给性的影响。

关键词: 甲基汞; 生物可给性; 暴露评估; 海水鱼

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2021)02-0200-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2021.02.015

Bioaccessibility of methylmercury from marine fish commonly consumed in Guangdong Province and its application in dietary exposure assessment

WANG Ping^{1,2}, ZHAO Ruixia², CHEN Zihui^{1,2}, WU Weiliang³, CHEN Shaowei^{1,2}, HUANG Rui^{1,2}, HUO Weilun^{1,2}, HUANG Weixiong², YANG Xingfen³

(1. Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Guangzhou 511430, China;

收稿日期: 2020-08-18

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1603101, 2018YFC1602205); 广东省重点领域研发计划(2019B020210002); 广东省自然科学基金(2018A030313913)

作者简介: 王萍 女 副主任医师 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: wangp@gdiph.org.cn

通信作者: 杨杏芬 女 教授 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: yangalice79@smu.edu.cn