

基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估 苍南县农产品农药残留风险

王小瑾¹, 陈德委^{2*}, 付刚毅³, 马婷婷⁴

(1. 浙江工贸职业技术学院光电制造学院, 浙江温州 325003) (2. 苍南县农产品(畜产品)质量安全与检验检测中心, 浙江温州 325800) (3. 温州市铁路与轨道交通投资集团有限公司建设分公司, 浙江温州 325000) (4. 湖北文理学院资源环境与旅游学院, 湖北襄阳 441053)

摘要: 评估 2020-2022 年苍南县生产的农产品农药残留风险。采用食品安全指数法 (Index of Food Safety, IFS) 和危害物风险系数法 (Hazard Risk Coefficient, R) 对检出的农药残留进行风险评估。结果表明, 977 份样品, 24 份超标, 超标率为 2.46%; 检出农药 60 种, 14 种农药检出率在 10% 以上; 苍南县农产品 IFS 为 3.83×10^{-2} , 安全状态可接受; 综合评估, 恩诺沙星、6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸钠、赤霉素为高风险, 多菌灵、联苯菊酯为中风险; 重新计算 SI_C (Safe Intake of C) 值, 豆芽 $SI_{6\text{-benzyladenine}}$, $SI_{4\text{-chlorophenoxyacetic acid sodium salt}}$, $SI_{gibberellin}$ 为 4.14×10^{-5} mg/kg-bw, 柑 $SI_{bifenthrin}$ 为 4.14×10^{-5} mg/kg-bw。苍南县生产的农产品总体处于安全状态, 综合评估 IFS_C 处于不可接受状态为超标样品, 以 IFS_C 评估可接受状态最大值 1 和农产品农药残留超标值, 重新计算针对不同农产品类别的 SI_C 值, 为农产品质量安全监管提供科学依据, 监管部门需加强对恩诺沙星等中高风险农药监管力度, 加强对 6-苄基腺嘌呤等禁限用农药的经营销售和使用监管, 提高农户安全用药意识。

关键词: 苍南县; 农产品; 农药残留; 食品安全指数法; 危害物风险系数法

文章编号: 1673-9078(2024)07-244-253

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0715

Risk Assessment of Pesticide Residues in Agricultural Products in Cangnan Based on Food Safety Index and Hazard Risk Coefficient Methods

WANG Xiaojin¹, CHEN Dewei^{2*}, FU Gangyi³, MA Tingting⁴

(1. Zhejiang Industry & Trade Vocational College of Optoelectronic Manufacturing, Wenzhou 325003, China) (2. Cangnan County Agricultural Products (Animal Products) Quality Safety and Inspection and Testing Center, Wenzhou 325800, China) (3. Wenzhou Mass Transit Railway Investment Group Co. Ltd., Construction Branch, Wenzhou 325000, China) (4. College of Resource Environment and Tourism, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053, China)

Abstract: The risks associated with pesticide residues on agricultural products cultivated in Cangnan County were assessed from 2020 to 2022. These risk assessments were performed utilizing the Index of Food Safety (IFS) and by

引文格式:

王小瑾, 陈德委, 付刚毅, 等. 基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估苍南县农产品农药残留风险[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 244-253.

WANG Xiaojin, CHEN Dewei, FU Gangyi, et al. Risk assessment of pesticide residues in agricultural products in cangnan based on food safety index and hazard risk coefficient methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 244-253.

收稿日期: 2023-06-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42077143); 浙江工贸职业技术学院教师科技创新项目 (G220109); 温州市基础性科研项目 (R2023071)

作者简介: 王小瑾 (1987-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 农产品质量安全, E-mail: wxj@zjtc.edu.cn

通讯作者: 陈德委 (1985-), 男, 学士, 农艺师, 研究方向: 农产品质量安全, E-mail: chendewei@163.com

calculating Hazard Risk Coefficients (R). Pesticide residues in 24 of the 977 samples (2.46%) exceeded the established standard. A total of 60 pesticides were detected, with detection rates >10% for 14 pesticides. The overall IFS of agricultural products in Cangnan is 3.83×10^{-2} , indicating an acceptable safety level. Comprehensive evaluation suggests that enrofloxacin, 6-benzylaminopurine, 4-chlorophenoxyacetic acid sodium salt and gibberellin are associated with high risks, whereas carbendazim and bifenthrin pose moderate risks. SI_C (Safe Intake of C) values were recalculated, yielding $SI_{6\text{-benzyladenine}}$, $SI_{4\text{-chlorophenoxyacetic acid sodium salt}}$, and $SI_{\text{gibberellin}}$ values for mung bean sprouts of 4.14×10^{-5} mg/kg-bw, whereas the $SI_{\text{bifenthrin}}$ for tangerine is 4.14×10^{-5} mg/kg-bw. The agricultural products produced in Cangnan are generally safe to consume. The safety of samples with residue levels exceeding the standard according to the IFS_C results are considered unacceptable, and are subject to comprehensive assessment. Based on the maximum acceptable IFS_C value (1) and pesticide residue levels on examined agricultural products, the SI_C values for different agricultural products were recalculated to provide a scientific basis for quality and safety monitoring of agricultural products. Regulatory authorities need to intensify the supervision of high- and moderate-risk pesticides such as enrofloxacin, to strengthen control at points of sale and use of prohibited pesticides, including 6-benzylaminopurine, and to increase farmers' awareness of safe pesticide use.

Key words: Cangnan county; agricultural products; pesticide residues; index of food safety method; hazard risk coefficient method

农产品通常是指来源于农业生产的初级产品,是指农业活动中获得的植物、动物、微生物及其产品^[1]。随着现代社会经济的飞速发展,人们的生活水平不断提高,对农产品的需求已经从过去量的追求到现在质的飞跃。随着人们对农产品需求量的增大,对品质的要求提高,农户出于经济考虑违规施用农药^[2],擅自加大施用量和施用频率,缩短用药间隔期,导致农药在农产品残留积聚,直接或间接使用具有农药残留的农产品会导致农药在人体内蓄积^[3],是引发农产品安全风险的直接原因^[4]。苍南县位于浙江省最南端,属亚热带海洋性季风气候,冬暖夏凉,易于农作物生长。苍南县作为农业大县,积极助推农业产业发展,推动4万亩番茄、2.5万亩茶叶、2万亩杨梅和1.1万亩四季柚“四个万亩”基地建设。在大力发展农业产业的同时,更应关注农产品质量安全问题。近年来,农产品农残检测中超限量、超范围使用农药,甚至使用禁用农药问题仍有出现。农产品种植环节违规施用农药,除了因直接食用农药残留超标的农产品带来的直接危害外,过量的农药还会通过土地蓄积、雨水冲刷等作用造成面源污染,给人体健康带来长期性的潜在危害^[5-7]。因此,农产品农药残留检测工作至关重要。

目前,针对苍南县农产品质量安全检测的文献研究,主要针对不合格项目和不合格样本量和合格率进行机械性分析^[8,9],鲜有结合多项指标,运用风险评估模型进行综合性风险研判。本研究采用基于农药实际摄入量估算量、安全摄入量等指标的食品安

全指数法(Index of Food Safety, IFS)和基于农药超标率、施检率等指标的危害物风险系数(Hazard Risk Coefficient, R)对苍南县区域内的农产品农药残留风险进行综合性评估。国内外对于农药残留风险评估还有膳食暴露风险评估法、综合评估法、农药残留风险排序法等,这几种方法都是针对单个农药进行风险评估,而食品安全指数法具有加和和平均属性,可以对农产品进行整体评价。单一评估方法容易暴露局限性,遗漏潜在风险,多方法联用,可以有效识别评价风险。查阅国内外文献,金彬等^[10]利用IFS和R评估宁波蔬菜农药残留风险,发现毒死蜱、三唑磷风险较大;刘剑等^[11]利用这两种方法对四川成都市草莓的农药残留风险评估,发现烯酰吗啉和噻虫嗪处于高风险状态;张文等^[12]运用这两种方法对甘肃省春季蔬菜与水果的农药残留进行了安全风险评估,发现毒死蜱、腐霉利、氯氰菊酯和高效氯氰菊酯这4种农药处于中度风险。多方法联用^[13-16],多维度分析,是现在风险评估的趋势,对多方法评估结果进行比补充,能掌握更全面风险信息,可以避免单种方法局限性影响,评估结果更加科学可靠,有助于监管部门制定更有针对性的监管措施^[17,18]。

1 材料与方法

1.1 农产品来源

本研究依据NY/T 789-2004《农药残留分析样

本的采集方法》^[19]，在 2020 年至 2022 年间，分别在苍南县 18 个乡镇的蔬菜、水果、谷物种植、豆芽生产基地等农业生产单位进行采样检测，采样地图如图 1 所示。共检测农产品 977 份，农产品种类为蔬菜、水果、谷物。



图 1 采样地图
Fig.1 Sampling map

1.2 检测项目、检测标准及判定方法

表 1 农产品类别对应检测标准及检测农药

Table 1 The category of agricultural products corresponds to the detection standards and detection pesticides

农产品类别	检测标准	检测农药
谷物	GB 23200.9-2016	异菌脲、乙烯菌核利、溴氟菊酯等
	GB/T 20770-2008	戊唑醇、肟菌酯、茚虫威等
	GB/T 5009.146-2008	氟氯菊酯和高效氟氯菊酯、氯氟菊酯和高效氯氟菊酯、氟氯菊酯和高效氟氯菊酯
豆芽	BJS 201703 SN/T 3725-2013	氯苯氧乙酸钠
	GB 23200.21-2016 BJS 201703	赤霉素
	GB/T 23381-2009 BJS 201703	6-苄基腺嘌呤
	NY/T 1434-2007	2,4-滴和 2,4-滴钠盐
	浙市监食检[2019] 20号附件 2	恩诺沙星
蔬菜与水果	GB 23200.20-2016	阿维菌素
	GB 23200.8-2016	毒死蜱、异菌脲、三唑酮等
	GB/T 20769-2008	克百威、啉虫脒、丙溴磷等
	NY/T 1434-2007	2,4-滴和 2,4-滴钠盐

检测项目、检测标准及判定方法依据浙江省农业农村厅和温州市农业农村局年度监测计划执行。

农产品类别、检测标准、检测农药如表 1 所示。判定方法依据 GB 2763-2021《食品安全国家标准 食品中农药残留最大残留量》^[20]和《国家食品药品监督管理总局、农业部、国家卫生和计划生育委员会关于豆芽生产过程中禁止使用 6-苄基腺嘌呤等物质的公告》^[21](2015 年第 11 号)对检测结果进行判定。

1.3 评估方法

1.3.1 食品安全指数法 (IFS)

食品安全指数 (IFS) 是以量化形式来反映食品安全基本情况，通过对食品安全监测数据进行统计分析，从而对食品安全基本情况进行综合性分析^[22]。农药的毒害作用与人体摄入的绝对量有关，科学的评价农产品是否安全，应该以农药实际摄入量与安全摄入量之比来衡量。本研究采用食品安全指数来评价苍南县农产品农药残留对人们安全性的影响，采用食品安全指数的 \overline{IFS} 、 \overline{IFS}_C 和 IFS_{C-MAX} 来评价农产品的安全状态^[23-25]。

$$EDI_C = R_C \times F \times E \times P \quad (1)$$

$$IFS_C = \frac{EDI_C \times f}{SI_C \times b_w} \quad (2)$$

$$IFS_{C-ALL} = \overline{IFS}_C \times n_C \quad (3)$$

$$\overline{IFS} = (\sum_{i=1}^n IFS_{C-ALL}) / N \quad (4)$$

式中：

EDI_C ——农药 C 的实际日均摄入量估算值，mg；

R_C ——农产品检出农药 C 的残留量，mg/kg；

F ——估计农产品的日均摄入水平 (kg)，根据相关研究资料，我国居民平均每标准人日均粮谷类摄入量为 305.8 g，新鲜蔬菜摄入量为 265.9 g，水果摄入量为 38.1 g；

E ——农产品的可使用部分因子，以 1.0 计；

P ——农产品的加工处理因子，以 1.0 计；

IFS_C ——指农产品中检出农药 C 的食品安全指数，本研究中以检出农药 C 的最大残留量 R_{C-MAX} 计算农产品中农药 C 的食品安全指数最大值 IFS_{C-MAX} ；

f ——农药 C 安全摄入值的校正因子，以 1.0 计；

SI_C ——农药 C 的安全摄入值，采用每日允许摄入量 (Acceptable Daily Intake, ADI) 表示 (mg/kg)，ADI 为 GB2763-2021 标准中给定数值；

b_w ——成人平均体质量 (kg)，研究资料显示，中国 18 岁及以上居民男性平均体质量为 69.6 kg，女性的平均体质量为 59 kg，本研究中以两者平均值 64.3 kg 计；

IFS_{C-ALL} ——所有农产品中检出农药 C 的食品安全指数

总和;

\overline{IFS}_C —农产品中检出农药 C 的食品安全指数平均值;

n_C —农产品中检出农药 C 的检出次数;

\overline{IFS} —所有农产品的总体食品安全指数平均值;

N —所有农产品的总数量。

IFS 评价标准: 当 $IFS \ll 1$ 时, 认为食品安全无风险, 以 $IFS \leq 0.01$ 计; $IFS \leq 1$ 时, 认为农药残留带来的农产品安全风险处于可接受状态; $IFS > 1$ 时, 认为农药残留对该农产品安全的风险处于不可接受状态, 需要采取相应的风险管理措施加以管制^[26]。

1.3.2 危害物风险系数法

危害物风险系数是综合了农产品农药残留超标率、施检频率和农药自身的敏感性, 反映农药残留在一定时间内的风险程度^[27]。本研究采用危害物风险系数法评估苍南县农产品农药残留风险。按照公式 (5) 进行计算:

$$R = aP + \frac{b}{F} + S \quad (5)$$

式中:

P —农产品中农药残留的超标率, %;

F —农产品农药残留的施检频率;

S —农产品农药残留的敏感因子;

a —超标率的权重系数;

b —施检频率的权重系数。

本研究中超标率 P 指该农药超标次数与该农药的检测次数比值, 敏感因子 S 根据当前该农药的敏感度和重要性进行调整^[28]。本研究中超标率的权重系数 a 值取 100, 施检频率的权重系数 b 值取 0.1, F 值取 1, S 值取 1。风险系数结果评价: 当 $R \leq 1.5$ 时, 该农药评价为低风险; $1.5 < R \leq 2.5$ 时, 该农药评价为中风险; $R > 2.5$ 时, 该农药评价为高风险^[29]。

1.3.3 食品安全指数法和危害物风险系数法综合评估

综合评估采取 IFS_C 评估处于不可接受状态的样品, 按农药超标处理, R 评估处于中高风险状态农药, 更新 SI_C , 超标样品 IFS_C 不可接受。更新农药超标率, 重新计算 R 值, 重新赋值超标农药的 SI_C 值。 SI_C 值根据公式 (2) 变形得到公式 (6) 进行计算。

$$SI_C = \frac{EDI_C \times f}{IFS_C \times b_w} \quad (6)$$

式中:

IFS_C —以农药 C 安全状态不可接受临界值 1 计;

EDI_C —以农药 C 超标值计 R_C 。

2 结果与讨论

2.1 农药超标情况分析

由表 2 可知, 977 份农产品样品中, 共有 24 份样品农药残留超标, 总体超标率为 2.46%; 蔬菜超标率为 2.50%, 水果超标率为 2.88%, 谷物超标率 0.97%。24 份农药残留超标的样品中, 蔬菜类占比最高, 其次是水果, 蔬菜类中以鳞茎类蔬菜超标率最高。从农药的种类看, 共检出 13 种农药残留超标, 其中联苯菊酯、多菌灵超标 4 次, 赤霉素 (赤霉酸)、6-苄基腺嘌呤 (6-BA) 3 次, 毒死蜱、甲氰菊酯、霜霉威和霜霉威盐酸盐 2 次, 4-氯苯氧乙酸钠 (以 4-氯苯氧乙酸计)、茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、腐霉利、阿维菌素、丙溴磷 1 次。其中毒死蜱作为农业农村部禁止适用于蔬菜种植的农药^[30], 在 2020 年的两份叶菜类样本中检出且超标。6-苄基腺嘌呤 (6-BA) 作为细胞分裂素, 赤霉素作为植物激素, 4-氯苯氧乙酸钠作为植物生长调节剂, 分别在 7 份豆芽样品中检出, 这三种农药禁止在豆芽生产中使用^[21], 7 份样本农药残留超标。联苯菊酯作为广谱杀虫剂, 多菌灵作为广谱性杀菌剂, 农户广泛使用, 为追求经济利益, 未严格按照农药安全间隔期使用农药, 导致两种农药超标问题突出, 联苯菊酯在 4 份水果样品中检出, 多菌灵在 3 份水果、1 份鳞茎类蔬菜样品检出。对比台山市^[5]超标率 1.76%, 超标农药 16 种, 中山市^[31]超标率 3.62%, 超标农药 20 种, 总体超标率在正常范围内, 农药超标种类比这两个城市少, 农药超标种类存在差异, 但同样存在使用禁用农药及违规施药等问题。监管部门应根据地方监测结果, 针对超标农药, 采取针对性措施。加强对违规使用农药问题的整治力度, 同时加大农技推广力量, 做好农产品安全知识宣传培训, 提升农户合规施药的意识^[32]。

2.2 农产品中农药残留的检出情况

本研究共检测 977 份农产品样品, 农药残留检出具体情况如表 3 所示^[33]。检出残留农药共 60 种, 农药功能涵盖除草剂、杀虫剂、杀菌剂、杀菌药、杀螨剂、杀虫杀螨剂、植物生长调节剂、细胞分裂素、植物激素, 农药毒性涵盖高、中、低等毒性。检出率较其他地方高, 吉林省^[29]检出率 5% 以上只有啉虫脒 (5.21%), 中山市^[31]检出率 10% 以上只有 3 种农药, 且检出率最高为氯氰菊酯 (14.49%), 而苍

南县有 14 种农药检出率在 10% 以上。农药检出率排名前 3 的农药是吡唑醚菌酯 (28.69%)、腐霉利 (22.83%)、甲基硫菌灵 (19.72%)，检出杀虫剂 29 种，杀菌剂 23 种，啶虫脒 (15.07%) 是杀虫剂中检出率最高的，吡唑醚菌酯 (28.69%) 是杀菌剂中检出率最高的。检出高毒农药阿维菌素和克百威 2 种；检出中毒农药 4- 氯苯氧乙酸钠、丙

溴磷、虫螨脲等 13 种；检出低毒农药 2,4- 滴和 2,4- 滴钠盐、6- 苄基腺嘌呤、百菌清等 45 种。禁限用农药检出情况与其他城市类似，检出《禁限用农药名录》^[30]中限用的农药毒死蜱和克百威，这两种农药在蔬菜上禁止使用，检出豆芽中禁止使用农药 3 种^[21]，4- 氯苯氧乙酸钠、6- 苄基腺嘌呤和赤霉素。

表 2 苍南县农产品农药残留超标率

Table 2 Pesticide residue excess rate of agricultural products in Cangnan County

农产品类别	抽样数量/份			样品总数/份	超标样品/份	超标农药 (超标次数)	超标率/%
	2020	2021	2022				
叶菜类蔬菜	31	33	17	81	2	毒死蜱 (2)、甲氧菊酯 (2)	2.47
豆类蔬菜	5	6	3	14	0	/	0.00
根茎类和薯芋类蔬菜	11	13	6	30	0	/	0.00
鳞茎类蔬菜	5	19	1	25	2	腐霉利 (1)、多菌灵 (1)	8.00
瓜类蔬菜	42	38	29	109	0	/	0.00
芸薹类蔬菜	7	11	3	21	0	/	0.00
茄果类蔬菜	83	57	39	179	3	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (1)、霜霉威和霜霉威盐酸盐 (2)	1.68
豆芽	42	30	30	102	7	4- 氯苯氧乙酸钠 (1)、赤霉素 (3)、6- 苄基腺嘌呤 (3)	6.86
蔬菜类	226	207	128	561	14	/	2.50
水果	94	112	107	313	9	联苯菊酯 (4)、丙溴磷 (1)、阿维菌素 (1)、多菌灵 (3)	2.88
谷物	73	13	17	103	1	茚虫威 (1)	0.97
总计	393	332	231	977	24	/	2.46

表 3 农产品中农药残留测定结果

Table 3 Determination results of pesticide residues in agricultural products

序号	农药	功能	毒性	DF	DT	DR/%	RR/(mg/kg)	NE	UR/%
1	2,4- 滴和 2,4- 滴钠盐	除草剂	LT	5	46	10.87	ND-1.58	0	0.00
2	4- 氯苯氧乙酸钠	植物生长调节剂	MT	1	71	1.41	ND-3.20 × 10 ⁻²	1	1.41
3	6- 苄基腺嘌呤	细胞分裂素	LT	3	67	4.48	ND-2.40 × 10 ⁻¹	3	4.48
4	阿维菌素	杀虫剂	HT	11	887	1.24	ND-2.80 × 10 ⁻¹	1	0.11
5	百菌清	杀菌剂	LT	30	889	3.37	ND-4.49	0	0.00
6	苯醚甲环唑	杀菌剂	LT	144	889	16.20	ND-1.50	0	0.00
7	吡虫啉	杀虫剂	LT	83	889	9.34	ND-1.89	0	0.00
8	吡蚜酮	杀虫剂	LT	6	104	5.77	ND-3.50 × 10 ⁻²	0	0.00
9	吡唑醚菌酯	杀菌剂	LT	144	502	28.69	ND-1.75	0	0.00
10	丙环唑	杀菌剂	LT	2	889	0.22	ND-3.60 × 10 ⁻¹	0	0.00
11	丙溴磷	杀虫剂	MT	9	889	1.01	ND-3.20 × 10 ⁻¹	1	0.11
12	赤霉素	植物激素	LT	3	72	4.17	ND-6.60 × 10 ⁻²	3	4.17
13	虫螨脲	杀虫剂	MT	58	889	6.52	ND-1.40	0	0.00
14	虫酰肼	杀虫剂	LT	11	605	1.82	ND-9.70 × 10 ⁻¹	0	0.00
15	吡蚜酮	杀螨剂	LT	65	889	7.31	ND-2.88	0	0.00
16	啶虫脒	杀虫剂	MT	134	889	15.07	ND-9.80 × 10 ⁻¹	0	0.00
17	毒死蜱	杀虫剂	MT	61	889	6.86	ND-2.90 × 10 ⁻¹	2	0.22

续表 3

序号	农药	功能	毒性	DF	DT	DR/%	RR/(mg/kg)	NE	UR/%
18	多菌灵	杀菌剂	LT	152	889	17.10	ND-10.60	4	0.45
19	噁霜灵	杀菌剂	LT	8	786	1.02	ND-7.3 × 10 ⁻²	0	0.00
20	恩诺沙星	杀菌药	LT	2	39	5.13	ND-6.80 × 10 ⁻¹	0	0.00
21	吡虫啉	杀虫剂	LT	6	104	5.77	ND-1.20 × 10 ⁻¹	0	0.00
22	氟氯菊酯和高效氟氯菊酯	杀虫剂	LT	2	889	0.22	ND-4.60 × 10 ⁻²	0	0.00
23	腐霉利	杀菌剂	LT	203	889	22.84	ND-3.80	1	0.11
24	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	杀虫剂	LT	12	889	1.35	ND-5.13 × 10 ⁻²	1	0.11
25	甲基硫菌灵	杀菌剂	LT	155	786	19.72	ND-17.60	0	0.00
26	甲氧菊酯	杀虫剂	MT	51	889	5.74	ND-7.70	2	0.22
27	甲霜灵和精甲霜灵	杀菌剂	LT	5	786	0.64	ND-1.60 × 10 ⁻¹	0	0.00
28	腈菌唑	杀菌剂	LT	2	786	0.25	ND-3.10 × 10 ⁻¹	0	0.00
29	克百威	杀虫剂	HT	4	889	0.45	ND-4.60 × 10 ⁻¹	0	0.00
30	联苯菊酯	杀虫杀螨剂	MT	68	889	7.65	ND-9.70 × 10 ⁻¹	4	0.45
31	氯吡脞	植物生长调节剂	LT	1	502	0.20	ND-1.90 × 10 ⁻²	0	0.00
32	氯虫苯甲酰胺	杀虫剂	LT	28	605	4.63	ND-5.00 × 10 ⁻¹	0	0.00
33	氟氯菊酯和高效氟氯菊酯	杀虫剂	MT	78	889	8.77	ND-2.80 × 10 ⁻¹	0	0.00
34	氯菊酯	杀虫剂	LT	1	502	0.20	ND-6.70 × 10 ⁻²	0	0.00
35	氟氯菊酯和高效氟氯菊酯	杀虫剂	MT	57	889	6.41	ND-3.79 × 10 ⁻¹	0	0.00
36	马拉硫磷	杀虫剂	LT	1	889	0.11	ND-3.10 × 10 ⁻²	0	0.00
37	咪鲜胺和咪鲜胺锰盐	杀菌剂	LT	36	889	4.05	ND-2.45	0	0.00
38	醚菌酯	杀菌剂	LT	10	786	1.27	ND-7.10 × 10 ⁻¹	0	0.00
39	啉菌酯	杀菌剂	LT	104	889	11.70	ND-2.91	0	0.00
40	啉霉胺	杀菌剂	LT	63	889	7.09	ND-1.57	0	0.00
41	灭蝇胺	杀虫剂	LT	75	502	14.94	ND-4.27 × 10 ⁻¹	0	0.00
42	灭幼脲	杀虫剂	LT	1	889	0.11	ND-2.00 × 10 ⁻²	0	0.00
43	氟戊菊酯和 S- 氟戊菊酯	杀虫剂	MT	1	889	0.11	ND-6.10 × 10 ⁻²	0	0.00
44	噻虫嗪	杀虫剂	LT	39	889	4.39	ND-1.80 × 10 ⁻¹	0	0.00
45	噻嗪酮	杀虫剂	LT	7	104	6.73	ND-1.70 × 10 ⁻¹	0	0.00
46	三唑磷	杀虫剂	MT	2	890	0.22	ND-3.68 × 10 ⁻²	0	0.00
47	三唑酮	杀菌剂	LT	3	890	0.34	ND-2.70 × 10 ⁻¹	0	0.00
48	霜霉威和霜霉威盐酸盐	杀菌剂	LT	132	784	16.79	ND-1.76	2	0.26
49	肟菌酯	杀菌剂	LT	11	103	10.68	ND-9.51 × 10 ⁻²	0	0.00
50	五氯硝基苯	杀菌剂	LT	1	889	0.11	ND-6.50 × 10 ⁻²	0	0.00
51	戊唑醇	杀菌剂	LT	136	889	15.30	ND-1.55	0	0.00
52	烯啶虫胺	杀虫剂	LT	2	103	1.94	ND-2.32 × 10 ⁻²	0	0.00
53	烯酰吗啉	杀菌剂	LT	119	889	13.39	ND-14.40	0	0.00
54	辛硫磷	杀虫剂	LT	1	889	0.11	ND-3.90 × 10 ⁻²	0	0.00
55	溴氟菊酯	杀虫剂	MT	4	889	0.45	ND-2.10 × 10 ⁻¹	0	0.00
56	乙炔菌核利	杀菌剂	LT	3	889	0.34	ND-3.60 × 10 ⁻²	0	0.00
57	乙酰甲胺磷	杀虫剂	LT	3	889	0.34	ND-2.81 × 10 ⁻¹	0	0.00
58	异丙威	杀虫剂	MT	1	103	0.97	ND-2.20 × 10 ⁻²	0	0.00
59	异菌脲	杀菌剂	LT	110	889	12.37	ND-19.90	0	0.00
60	茚虫威	杀虫剂	LT	30	605	4.96	ND-4.99 × 10 ⁻¹	1	0.17

注: DF, 检出次数; DT, 检测次数; DR, 检出率; RR, 残留量范围; NE, 超标次数; UR, 超标率; LT, 低毒; HT, 高毒; MT, 中毒。

表 4 农产品中42种检出农药的安全状况

Table 4 Detection of 42 kinds of pesticide residues in agricultural products of the safety status

序号	农药	ADI/ (mg/kg-bw)	检出平均值 (mg/kg)	CDF	VDF	FDC	DT	IFS _{C-MAX}	IFS _C	IFS _{C-ALL}
1	2,4-滴和 2,4-滴钠盐	0.01	3.50×10^{-1}	0	5	1	46	6.5×10^{-1}	1.43×10^{-1}	7.14×10^{-1}
2	4-氯苯氧乙酸钠	0.009 6	3.20×10^{-2}	0	1	0	71	1.4×10^{-2}	1.40×10^{-2}	1.40×10^{-2}
3	6-苄基腺嘌呤	0.05	1.00×10^{-1}	0	3	0	67	1.98×10^{-2}	8.40×10^{-3}	2.5×10^{-2}
4	阿维菌素	0.001	2.68×10^{-2}	6	2	3	887	1.35	2.15×10^{-1}	2.36
5	百菌清	0.02	4.72×10^{-1}	0	26	4	889	9.28×10^{-1}	9.40×10^{-2}	2.82
6	苯醚甲环唑	0.01	1.10×10^{-1}	3	43	98	889	8.10×10^{-2}	7.10×10^{-3}	1.02
7	吡虫啉	0.06	1.02×10^{-1}	6	30	47	889	1.50×10^{-1}	5.70×10^{-3}	4.72×10^{-1}
8	吡唑醚菌酯	0.03	1.62×10^{-1}	0	54	90	502	1.02×10^{-1}	7.50×10^{-3}	1.07
9	丙环唑	0.07	2.10×10^{-1}	1	1	0	889	2.40×10^{-2}	1.21×10^{-2}	2.80×10^{-2}
10	丙溴磷	0.03	1.62×10^{-1}	0	1	8	889	4.03×10^{-2}	7.00×10^{-3}	6.30×10^{-2}
11	虫螨腈	0.03	1.86×10^{-1}	0	42	16	889	1.93×10^{-1}	1.93×10^{-2}	1.12
12	虫酰肼	0.02	1.67×10^{-1}	3	2	6	605	2.01×10^{-1}	3.16×10^{-2}	3.47×10^{-1}
13	哒螨灵	0.01	1.13×10^{-1}	0	47	18	889	1.19	4.29×10^{-2}	2.79
14	啶虫脒	0.07	7.62×10^{-2}	1	75	58	889	5.77×10^{-2}	3.10×10^{-3}	4.15×10^{-1}
15	毒死蜱	0.01	4.84×10^{-2}	6	7	48	889	6.56×10^{-2}	8.10×10^{-3}	4.94×10^{-1}
16	多菌灵	0.03	3.66×10^{-1}	3	73	76	889	1.02	2.98×10^{-2}	4.53
17	噁霜灵	0.01	3.28×10^{-2}	0	7	1	786	3.02×10^{-2}	1.18×10^{-2}	9.45×10^{-2}
18	恩诺沙星	0.002	4.54×10^{-1}	0	2	0	39	1.40	9.39×10^{-1}	1.88
19	腐霉利	0.1	2.45×10^{-1}	0	158	45	889	1.57×10^{-1}	7.39×10^{-3}	1.50
20	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	0.000 5	2.00×10^{-2}	0	8	4	889	4.24×10^{-1}	1.29×10^{-1}	1.46
21	甲基硫菌灵	0.09	5.88×10^{-1}	0	75	80	786	8.07×10^{-1}	1.90×10^{-2}	2.95
22	甲氧菊酯	0.03	3.13×10^{-1}	5	18	28	889	1.06	3.62×10^{-2}	1.85
23	克百威	0.001	2.23×10^{-2}	3	1	0	889	2.20×10^{-1}	1.03×10^{-1}	4.15×10^{-1}
24	联苯菊酯	0.01	1.14×10^{-1}	0	27	41	889	3.85×10^{-1}	1.90×10^{-2}	1.29
25	氯氟菊酯和高效氯氟菊酯	0.02	6.75×10^{-1}	0	20	58	889	5.79×10^{-2}	4.90×10^{-3}	3.82×10^{-1}
26	氯氰菊酯和高效氯氰菊酯	0.02	4.22×10^{-2}	2	11	44	889	9.01×10^{-2}	4.33×10^{-3}	2.47×10^{-1}
27	马拉硫磷	0.3	3.10×10^{-2}	0	0	1	889	9.18×10^{-4}	9.18×10^{-4}	9.18×10^{-4}
28	咪鲜胺和咪鲜胺锰盐	0.01	1.33×10^{-1}	2	2	32	889	1.45×10^{-1}	1.21×10^{-2}	4.37×10^{-1}
29	啞菌酯	0.2	1.87×10^{-1}	9	23	72	889	2.61×10^{-2}	9.70×10^{-4}	1.01×10^{-1}
30	灭蝇胺	0.06	5.76×10^{-2}	0	50	25	511	2.94×10^{-2}	2.76×10^{-3}	2.07×10^{-1}
31	三唑酮	0.001	1.01×10^{-1}	0	2	1	889	9.92×10^{-1}	3.62×10^{-1}	1.09
32	霜霉威和霜霉威盐酸盐	0.4	1.40×10^{-1}	0	125	7	784	1.47×10^{-2}	1.20×10^{-3}	1.58×10^{-1}
33	肟菌酯	0.04	2.43×10^{-2}	11	0	0	103	1.13×10^{-2}	2.90×10^{-3}	3.18×10^{-2}
34	五氯硝基苯	0.01	6.50×10^{-2}	0	1	0	889	2.69×10^{-2}	2.69×10^{-2}	2.69×10^{-2}
35	戊唑醇	0.03	1.28×10^{-1}	29	46	61	889	1.37×10^{-1}	1.05×10^{-2}	1.43
36	烯酰吗啉	0.2	7.01×10^{-1}	109	10	0	889	2.98×10^{-1}	1.42×10^{-2}	1.69
37	溴氰菊酯	0.01	8.55×10^{-2}	0	1	3	889	1.74×10^{-2}	8.79×10^{-3}	3.51×10^{-2}
38	乙烯菌核利	0.01	2.90×10^{-2}	0	3	0	889	1.49×10^{-2}	1.20×10^{-2}	3.60×10^{-2}
39	乙酰甲胺磷	0.03	2.59×10^{-1}	3	0	0	889	4.45×10^{-2}	4.11×10^{-2}	1.23×10^{-1}
40	异丙威	0.002	2.20×10^{-2}	1	0	0	103	5.23×10^{-2}	5.23×10^{-2}	5.23×10^{-2}
41	异菌脲	0.06	9.17×10^{-1}	102	8	0	889	1.37	6.14×10^{-2}	1.37
42	茚虫威	0.01	6.78×10^{-2}	14	6	10	605	3.44×10^{-2}	4.22×10^{-3}	1.27×10^{-1}

注: CDF: 谷物检出次数; VDF: 蔬菜检出次数; FDC: 水果检出次数; DT: 检测次数。

2.3 农产品农药残留安全指数评估

根据公式(1)、(2)、(3)计算 IFS_{C-MAX} 、 \overline{IFS}_C 、 IFS_{C-ALL} ，结果如表4所示，其中 $IFS_{C-MAX} \leq 0.01$ 忽略不计。根据公式(4)计算 \overline{IFS} 为 3.83×10^{-2} ，说明苍南县农产品总体处于安全状态。安全指数 \overline{IFS}_C 在 $0 \sim 9.39 \times 10^{-1}$ ，其中恩诺沙星最高为 9.39×10^{-1} ，次高为三唑酮 3.62×10^{-1} ，第三是阿维菌素 2.15×10^{-1} ，其余都在0.2以下，以 \overline{IFS}_C 为评估指标，苍南县近三年农产品的安全状态在可接受范围内，评估结果比台山市^[5](3种农药不可接受)好，但 \overline{IFS}_C 最大值 (9.39×10^{-1}) 比中山市^[31](2.93×10^{-1}) 高。安全指数 IFS_{C-MAX} 在 $0 \sim 1.40$ ，其中恩诺沙星、异菌脲、阿维菌素、哒螨灵、多菌灵、甲氧菊酯均超过1，安全状态不可接受。需加强对恩诺沙星、异菌脲、阿维菌素等农药的监管，安全指数 IFS_{C-MAX} 以检出最大值来判定农药风险程度，如果食用 IFS_{C-MAX} 值超过1的农产品，将会对人体健康造成影响。目前恩诺沙星浙江省只有风险监测检测方法，没有判定依据，不能判定样品超标，亟需制定判定依据。

2.4 农产品农药残留风险系数评估

表5 13种超标农药残留的风险程度

Table 5 The risk degree of residues of 13 pesticides exceeding the standard

序号	农药	P/%	R	风险程度
1	4-氯苯氧乙酸钠	1.41	2.51	高风险
2	6-苄基腺嘌呤	4.48	5.58	高风险
3	阿维菌素	0.11	1.21	低风险
4	丙溴磷	0.11	1.21	低风险
5	赤霉素	4.17	5.27	高风险
6	毒死蜱	0.22	1.32	低风险
7	多菌灵	0.45	1.55	中风险
8	腐霉利	0.11	1.21	低风险
9	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	0.11	1.21	低风险
10	甲氧菊酯	0.22	1.32	低风险
11	联苯菊酯	0.45	1.55	中风险
12	霜霉威和霜霉威盐酸盐	0.25	1.35	低风险
13	茚虫威	0.17	1.27	低风险

注: P 为超标率, R 为风险系数。

根据公式(5)计算出苍南县13种超标农药的风险状况，如表5所示，阿维菌素、丙溴磷、毒死蜱、腐霉利、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、甲氧菊酯、

霜霉威和霜霉威盐酸盐、茚虫威8种农药在危害物风险系数评估中呈低风险，R值范围1.21~1.35；多菌灵(R值1.55)、联苯菊酯(R值1.55)呈中风险；4-氯苯氧乙酸钠(R值2.51)、6-苄基腺嘌呤(R值5.58)、赤霉素(R值5.27)呈高风险。与其他城市对比，台山市^[5]高风险农药5种，中山市^[31]中风险3种，苍南县高风险3种、中风险2种，评估结果在正常范围内。4-氯苯氧乙酸钠、6-苄基腺嘌呤、赤霉素曾被允许用于豆芽生产^[34]，后被禁止使用，三年豆芽检测批次102次，4-氯苯氧乙酸钠检测71次、6-苄基腺嘌呤67次、赤霉素72次，针对豆芽这三种农药的高风险状态，应加大对这三种农药的抽检力度。

2.5 综合评估

R和 IFS_{C-MAX} 评估处于风险状态的农药，以R值为横坐标， IFS_{C-MAX} 值为纵坐标作图，横坐标以 $R \leq 1.5$ 划分为低风险区域， $1.5 < R \leq 2.5$ 为中风险区域， $R > 2.5$ 为高风险区域，纵坐标以 $IFS_{C-MAX} \leq 1$ 划为可接受区域， IFS_{C-MAX} 大于1为不可接受区域，如图2所示，图中农药残留均处于风险状态，两种评估方法得到的结果并不一致，如联苯菊酯等 IFS_{C-MAX} 评估处于可接受状态，R评估处于中高风险，主要由于两种方法的评估侧重点不同。 IFS_{C-MAX} 评估侧重单个样品农药检出最大值与人体安全摄入量之比，R评估侧重超标率。以风险最大化原则，图2中农药都应重点关注。综合评估采取 IFS_C 评估处于不可接受状态的样品，按农药超标处理，R评估4-氯苯氧乙酸钠等处于中高风险状态农药，更新 SI_C ，超标样品 IFS_C 不可接受。更新农药超标率，重新赋值超标农药的 SI_C 值。 SI_C 值根据公式(6)进行计算。

更新恩诺沙星等农药综合评估结果如表6所示，综合风险系数R由综合超标率P代入公式(5)计算所得。恩诺沙星风险系数评估结果为高风险，其余为低风险。根据公式(6)：豆芽在BJS 201703中4-氯苯氧乙酸钠、6-苄基腺嘌呤、赤霉素检出限为0.01 mg/kg，因这三种农药检出即为超标，以检出限算出豆芽 $SI_{6-benzyladenine}$ 、 $SI_{4-chlorophenoxyacetic\ acid\ sodium\ salt}$ 、 $SI_{gibberellin}$ 为 4.14×10^{-5} mg/kg·bw；柑在GB 2763-2021中联苯菊酯超标值为0.05 mg/kg，算出柑 $SI_{bifenthrin}$ 值为 4.14×10^{-5} mg/kg·bw。 IFS_C 评估处于不可接受状态为超标样品，以 IFS_C 可接受状态最大值1和农产品农药残留超标值，重新计算针对不同农产品类

别的 SI_C 值, 为农产品质量安全监管提供科学依据。综合评估风险结果如图 3 所示, 代入新的 SI_C 值, 联苯菊酯等农药 IFS_{C-MAX} 评估处于不可接受状态, 恩诺沙星、4-氯苯氧乙酸钠、6-苄基腺嘌呤、赤霉素为高风险, 多菌灵、联苯菊酯为中风险, 异菌脲、阿维菌素、哒螨灵、甲氧菊酯为低风险。

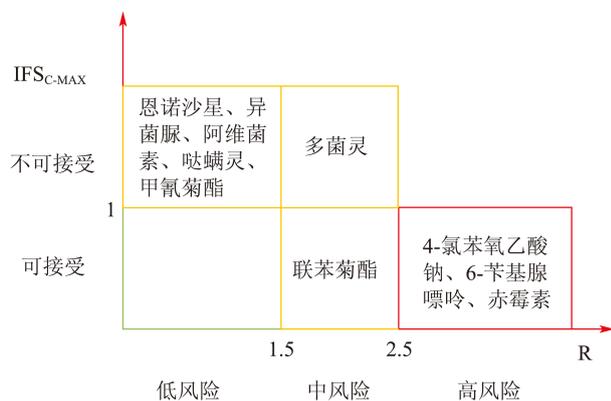


图 2 两种方法评估结果

Fig.2 Two methods evaluate results

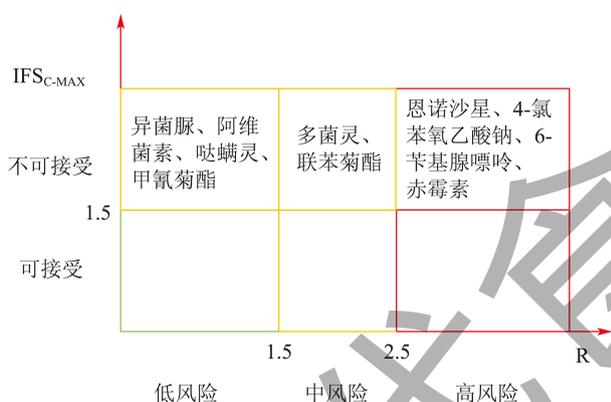


图 3 综合评估

Fig.3 Comprehensive evaluation

表 6 综合评估风险程度

Table 6 Comprehensive assessment of risk degree

序号	农药	$IFS_C > 1$ 次数	超标次数	检测次数	综合超标率 P %	综合风险系数 R	风险程度
1	恩诺沙星	1	0	39	2.56	3.66	高风险
2	异菌脲	2	0	889	0.22	1.32	低风险
3	阿维菌素	1	1	887	0.11	1.21	低风险
4	哒螨灵	1	0	889	0.22	1.32	低风险
5	甲氧菊酯	1	0	889	0.11	1.21	低风险

3 结论

本研究采用食品安全指数法和危害物风险系数法综合评估, 期望可以得到更全面更可靠的风险评

估信息。食品安全指数法主要评估农药实际摄入量与每日允许摄入量的比值, 以此来确定农产品安全风险, 更加关注人们日常的饮食健康风险; 危害物风险系数法主要侧重点是在超标率、施检频率和敏感因子, 通过这些参数来评价安全风险, 更能反应监管上的预警风险。两种方法评估的侧重点不同, 从不同的分析角度出发, 考虑不同指标, 综合评估, 正好查漏补缺, 可以更全面的筛查出风险农药。利用食品安全指数法的加和平均属性, 评估农产品总体 IFS 为 3.83×10^{-2} , 说明苍南县农产品总体处于安全状态, 可放心使用。综合评估调整 SI_C 值和超标率, 恩诺沙星、6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸钠、赤霉素处于高风险状态, 这四种农药主要在豆芽中检出, 需增加抽检次数及频率。多菌灵、联苯菊酯处于中风险状态, 这两种农药在水果和鳞茎类蔬菜中检出超标, 且检出率较高, 分别为 17.10%、7.65%, 说明农户广泛使用这些农药时, 且未严格按照用药间隔期, 需提高农民安全用药意识。本研究综合评估采取 IFS_C 评估处于不可接受状态为超标样品, 以 IFS_C 评估可接受状态最大值 1 和农产品农药残留超标值, 重新计算针对不同农产品类别的 SI_C 值, 豆芽 SI_C (6-苄基腺嘌呤、4-氯苯氧乙酸钠、赤霉素) 为 $4.14 \times 10^{-5} \text{ mg/kg}\cdot\text{bw}$, 柑 SI_C (联苯菊酯) 为 $4.14 \times 10^{-5} \text{ mg/kg}\cdot\text{bw}$, 可为农产品质量安全监管提供科学依据。

根据评估结果, 监管部门应加大对恩诺沙星等处于中高风险状态农药的监督抽检力度; 针对 6-苄基腺嘌呤等高风险禁限用农药, 要加强对禁限用农药的经营销售和使用监管, 对违规经营销售和使用农药主体, 依法处理; 加强对农产品生产主体禁限用农药、安全用药知识培训, 加大违法使用禁限用农药处罚案件宣讲力度, 提高农药经营者、农产品生产主体的安全用药意识; 加快中高风险农药快速检测技术研究, 合理运用, 扩大检测覆盖面。

参考文献

[1] 于艳艳,程月红,鲍连艳,等.2018年我国食用农产品质量状况分析及监管建议[J].食品安全质量检测学报,2019, 10(16): 5306-5316.

[2] LIU Z, CHEN Y, HAN J, et al. Determination, dissipation dynamics, terminal residues and dietary risk assessment of thiophanate-methyl and its metabolite carbendazim in cowpeas collected from different locations in China under field conditions [J]. J Sci Food Agric, 2021, 101(13): 5498-5507.

- [3] ALBEDAIR LA, ALTURIQIAS. Evaluation of pesticide residues in the irrigation water soil and assessment of their health risks in vegetables from sub-urban areas around Riyadh district Saudi Arabia [J]. *Environ Forensics*, 2021, 22(1-2): 16-27.
- [4] ZHAN X, MA L, HUANG L, et al. The optimization and establishment of QuEChERS-UPLC- MS/MS method for simultaneously detecting various kinds of pesticides residues in fruits and vegetables [J]. *Journal of Chromatography B*, 2017, 1060: 281-290.
- [5] 赵杰斌,邓浩,徐振林.基于食品安全指数法的台山市蔬菜和水果农药残留风险评估[J].*现代食品科技*,2023, 39(6):1-7.
- [6] LIU X, LIU Z, BIAN L, et al. Determination of pesticide residues in chilli and Sichuan pepper by high performance liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2022, 387: 132915.
- [7] JIANG M, GAO H, LIU X, et al. Detection of pesticide residues in vegetables sold in Changchun City, China [J]. *J Food Prot*, 2021, 84(3): 481-489.
- [8] 陈德委,李潜艇,王小瑾,等.苍南县番茄农药残留检测结果分析[J].*浙江农业科学*,2020,61(8): 1612-1613,1617.
- [9] 陈德委,林小小.2020年苍南县农产品质量安全监测结果分析[J].*浙江农业科学*,2022,63(4):796-799.
- [10] 金彬,吴丹亚,陈宇博,等.散户蔬菜农药残留风险评估和监管建议[J].*农产品质量与安全*,2015(5):63-66.
- [11] 刘剑,方晓燕,刘菊才,等.利用IFS法和风险系数评估成都市草莓中农药残留的风险[J].*陕西农业科学*,2016,12:59-63.
- [12] 张文,闫君,陈婷,等.食品安全指数法评估甘肃省春季蔬菜、水果农药残留的风险[J].*甘肃科技*,2016,32(21):144-148.
- [13] 徐晓燕,孙中叶,屈凌波.食品安全指数研究进展[J].*农产品加工*,2020,20:100-102,S105.
- [14] 蒋成,林树花,何双,等.主产区杨桃中农药残留风险评估[J].*食品安全质量检测学报*,2020,(11)24:9496-9502.
- [15] 任晓姣,刘君,张水鸥,等.西安市鲜食葡萄农药残留风险评估[J].*农产品质量与安全*, 2019,6:73-78.
- [16] DANLADI K, AKOTO O. Ecological and human health risk assessment of pesticide residues in fish and sediments from VEA irrigation reservoir [J]. *J Environ Protect*, 2021, 12(4): 265-279.
- [17] 陈春明,邱文莹,陈梅梅.叶菜农药残留安全风险评估方法研究及应用进展[J].*食品安全导刊*,2022,4:25-28.
- [18] 李聪,李艺兵,李朝伟,等.暴露评估在食品安全状态评价中的应用[J].*检验检疫科学*,2002,12(1):7,11-12.
- [19] NY/T 789-2004,农药残留分析样本的采样方法[S].
- [20] GB 2763-2021,食品安全国家标准食品中农药最大残留限量[S].
- [21] 国家食品药品监督管理总局农业部国家卫生和计划生育委员会关于豆芽生产过程中禁止使用6-苄基腺嘌呤等物质的公告[J].*中国食品卫生杂志*,2015,27(3):276.
- [22] 段夏菲,曾雅,李映霞,等.食品安全指数法评估广州市海珠区果品中有机磷类农药残留的风险[J].*中国卫生检验杂志*,2020,30(1):87-90.
- [23] 梁晓涵,林敏,万娜,等.基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估海南芹菜的农药残留风险[J].*食品安全质量检测学报*,2023,14(1):112-121.
- [24] 国家卫生健康委员会.2020中国卫生健康统计年鉴[M].北京:中国协和医科大学出版社,2020.
- [25] 国家卫生健康委疾病预防控制局.中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[M].北京:人民卫生出版社,2022.
- [26] 张伟,卢素格,谭洁冰,等.食品安全指数法评估河南省面制品中脱氧雪腐镰刀菌烯醇的膳食暴露风险[J].*河南预防医学杂志*,2021,32(12):923-926, 965.
- [27] 秦燕,李辉,李聪.危害物的风险系数及其在食品检测中的应用[J].*检验检疫科学*,2003,13(5):13-14.
- [28] 马家开.基于食品安全指数法和危害物风险系数法评估X市农贸市场韭菜农药残留[J].*食品安全导刊*,2022, 10(30):85-87,92
- [29] 孟繁磊,谭莉,范宏,等.吉林省种植基地蔬菜中农药污染特征及风险评价[J].*食品安全质量检测学报*,2022, 13(14):4612-4619.
- [30] 中华人民共和国农业农村部种农药管理司.禁限用农药目录[EB/OL].[2019-11-29].http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/201911/t20191129_6332604.htm[2023-06-17].
- [31] 温馨,黎小鹏,谭淑铎,等.2021年中山市种植蔬菜农药残留及膳食风险评估[J].*浙江农业科学*,2023,64(2):455-462.
- [32] 冯敏玲,李盛安,邹学仁.珠三角典型地区蔬菜农药残留现状与问题浅析[J].*南方农业*,2019,13(30):106-108.
- [33] Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization. The JMPR report and evaluations of pesticide residue in food [DB/OL]. [2023-08-02]. <https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/lpe/en/>.
- [34] 卫生部办公厅.关于《食品添加剂使用标准》(GB 2760-2011)有关问题的复函[Z].卫办监督函(2011)919号.