DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251209004
引用格式: 薛鲁燕, 赵燕, 孙永红, 等. 2025 年青岛地区鲜食草莓农药残留水平分析及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(12): 279–286.
XUE LY, ZHAO Y, SUN YH, *et al*. Analysis of pesticide residue levels and dietary risk assessment of fresh *Fragaria ananassa* in Qingdao in 2025 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(12): 279–286. (in Chinese with English abstract).

2025 年青岛地区鲜食草莓农药残留水平分析及膳食风险评估

薛鲁燕, 赵　燕, 孙永红, 张蕊芬, 李少旋, 赵征宇, 蔡　葵, 吴志远, 石大川, 李盼盼, 任梦菲, 孙海红, 王文娇*

(青岛市农业科学研究院, 青岛　266100)

摘　要: 目的　探究青岛市区草莓的农药残留水平与暴露风险。**方法**　从青岛地区草莓种植基地随机抽取鲜食草莓 150 批次, 结合生产过程中生产管理调查结果, 对 150 批次草莓在生产过程中常用农药进行检测, 并对其进行了膳食摄入风险评估。**结果**　经检测发现, 随机抽取的 150 批次鲜食草莓中有 17 种农药残留超出检出限, 10 种检出农药为草莓上登记使用的农药, 占检出农药总数的 58.8%; 检出草莓上未登记使用的农药 7 种, 占检出农药总数的 41.2%。检出的农药种类和数量为杀菌剂>杀虫剂>杀螨剂, 无植物生长调节剂检出; 5 个不同收获期中 2 月和 3 月检出农药残留水平和检出次数最多。17 种检出农药的风险系数均小于 1.5, 表明受检农药处于低风险, 检出的农药残留在鲜食草莓中的膳食摄入风险也较低, 这表明 17 种检出农药对于草莓食用安全的影响是可接受的。**结论**　通过对青岛市区域内鲜食草莓典型农药残留监测发现, 草莓总体合格率较高, 质量安全状况良好, 但是从监测数据看, 草莓中未登记农药的使用情况仍有发生, 应加强对草莓中未登记农药的使用监管。

关键词: 鲜食草莓; 典型农药; 风险评估

Analysis of pesticide residue levels and dietary risk assessment of fresh *Fragaria ananassa* in Qingdao in 2025

XUE Lu-Yan, ZHAO Yan, SUN Yong-Hong, ZHANG Rui-Fen, LI Shao-Xuan, ZHAO Zheng-Yu, CAI Kui, WU Zhi-Yuan, SHI Da-Chuan, LI Pan-Pan, REN Meng-Fei, SUN Hai-Hong, WANG Wen-Jiao*

(*Qingdao Academy of Agricultural Sciences*, *Qingdao* 266100, *China*)

ABSTRACT: Objective　To investigate the pesticide residue levels and exposure risks of *Fragaria ananassa* in

收稿日期: 2025-12-09
基金项目: 山东省重点研发计划(农业良种工程)项目(2025LZGC026); 青岛市农产品质量安全风险评估项目(370200250318080200191); 贵州省化学合成及环境污染控制和修复技术特色重点实验室项目(黔教合 KY 字[2017]014)
第一作者: 薛鲁燕(1982—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估及检测技术。E-mail: xuely0406@163.com
***通信作者:** 王文娇(1982—), 女, 副研究员, 主要研究方向为农产品质量安全风险评估及检测技术。E-mail: wangwenjiaoqd@163.com

Qingdao. **Methods** A total of 150 batches of fresh *Fragaria ananassa* from the production bases in Qingdao were randomly selected. Based on the results of visits and investigations, typical pesticides in the 150 batches of samples were tested, and dietary intake risk assessment of typical pesticide residues in *Fragaria ananassa* was conducted. **Results** It was found that 17 kinds of pesticide residues were detected in 150 batches of *Fragaria ananassa* in Qingdao, and 10 kinds of pesticides were registered for use in *Fragaria ananassa*, accounting for 58.8% of the total number of pesticides detected. The 7 kinds of unregistered pesticides were detected in *Fragaria ananassa*, accounting for 41.2% of the total detected pesticides. The types and quantities of pesticides detected were fungicides>insecticides>acaricides, and plant growth regulators were not detected. In the 5 different harvest periods, the highest pesticide residue levels and the detection frequency were detected in Februry and March. The risk coefficients of the 17 kinds of detected pesticides were all less than 1.5, indicating that the detected pesticides were at a low risk. The dietary intake risk of the detected pesticide residues in fresh *Fragaria ananassa* was also relatively low. This suggested that the impact of the 17 kinds of detected pesticides on the safety of *Fragaria ananassa* was acceptable. **Conclusion** Through the monitoring of pesticide residues of *Fragaria ananassa* in Qingdao, it is found that the qualified rate of pesticide residues in *Fragaria ananassa* is relatively high, the quality and safety status of *Fragaria ananassa* is good and acceptable. However, judging from the monitoring data, the use of unregistered pesticides in *Fragaria ananassa* still occurs, so the supervision of the use of unregistered pesticides in *Fragaria ananassa* should be further strengthened.

KEY WORDS: fresh *Fragaria ananassa*; typical pesticide; risk assessment

0 引 言

草莓属于蔷薇科草莓属植物，以色、香、味俱佳被誉为“水果皇后”。其果肉柔软多汁，营养价值丰富，且具有生长周期短，见效快，经济效益高特点，已成为我国设施农业中发展最为迅速的优势产业之一。

青岛作为山东省草莓主产区之一，草莓种植主要集中在平度、莱西、胶州、黄岛等市区，种植面积约 3 万亩，以设施栽培为主。设施栽培条件下，草莓病虫害发生种类多，发生频率高，生产中农药使用频次相对较高。加之草莓采摘间隔期短，部分消费者存在不经清洗直接食用的习惯，若生产中存在不规范用药行为，极易导致果实中农药残留偏高，进而增加消费者膳食摄入健康风险[1]。

截至 2022 年 6 月，我国在草莓上登记的有效农药产品共 137 个，但在实际生产中，未登记农药使用、超范围、超剂量、不遵守安全间隔期等不规范用药现象仍时有发生，相关农药残留问题已引起学界广泛关注[2−5]。江景勇等[6]研究表明，按照规范使用 50%嘧菌环胺 WG 防治草莓灰霉病，施药后 1 d 的残留量即符合国家最高残留限量，施药后 7 d 对不同人群的膳食风险均处于较低水平；孙玉龙等[7]采用喷施和灌根两种施药方式，明确了吡虫啉在草莓中的残留消解动态，喷雾条件下半衰期为 8.4~10.0 d，灌根处理后吡虫啉含量于药后 7 d 达到峰值后缓慢下降；邱莉萍等[8]研究显示，按推荐剂量 2000 倍使用氟啶虫酰胺防治草莓蚜虫，药后 7 d 残留膳食风险值均小于 1。与此同时，多地监测结果显示，草莓中农药残留现象较为普遍[9−11]。班思凡等[12]对北京、山东等地 120 批次草莓检测发现，农药检出率为 100%，共检出 50 种农药；李卫东等[13]在上海奉贤区 237 批次草莓中共检出农药 28 种，总检出率为 78.9%，两种及以上农药共存的多残留检出率为 49.8%；延妮等[14]在西安市 168 份草莓样品中检出 17 种农药，检出率 77.38%。青岛地区 2024 年监督抽查草莓也出现了农药烯酰吗啉超标案例。由此可见，草莓农药残留问题已成为全球性、区域性均不可忽视的食品安全议题，在青岛地区开展系统性、针对性的草莓农药残留膳食风险评估尤为重要。

基于此，本研究以青岛地区主栽草莓为研究对象，通过实地采样与农药残留检测，结合本地居民膳食消费数据与毒理学参数，采用确定性评估与概率性评估相结合的方法，系统开展慢性与急性膳食暴露风险评估，并与国内其他产区研究结果进行对比分析，明确青岛地区草莓农药残留风险水平、差异来源与关键控制因子。研究结果旨在为青岛草莓绿色防控、农药合理使用、精细化监管提供科学依据，同时为同类城市农产品质量安全风险评估提供方法参考与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

按照 NY/T 788—2018《农作物中农药残留实验准则》，对青岛市平度、莱西、西海岸、胶州等地区 2025 年 1—5 月份合作社和农户的设施草莓进行取样，共抽取草莓

样品 150 批次。

阿维菌素、联苯菊酯等 98 种农药标准品(纯度>95%, 中国国家标准物质中心); QuEChERS 萃取盐包(带陶瓷均质子和净化管)、N-丙基乙二胺(N-propylethylenediamine, PSA)、无水硫酸镁($MgSO_4$)、氯化钠(NaCl)(分析纯, 美国 Agilent 公司); 甲醇、乙腈、正己烷(色谱纯, 德国 Merck 公司); 甲酸(色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司); 0.22 μm 有机系针式过滤器(江苏绿盟科学仪器有限公司); 十八烷基键合硅胶(C_{18}, 50 μm)(美国 SUPELCO 公司)。

1.2　仪器与设备

BS2202S 电子分析天平[精度 0.01 g, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; Heidolph Multi Reax 多点位涡旋振荡器[海道尔夫仪器设备(上海)有限公司]; HR/T16M 高速冷冻离心机(湖南赫西仪器装备有限公司); TTL-DCII氮吹仪(北京同泰联科技发展有限公司); Thermo Scientific TSQ 9000 气相色谱-三重四极杆气质联用仪、HP-5ms 色谱柱(30 mm×0.25 mm, 0.25 μm)(美国赛默飞世尔科技公司); Agilent 6470 LC/TQ 超高效液相色谱质谱联用仪、Acquity BEH C_{18} 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)(美国安捷伦科技有限公司)。

1.3　仪器条件

1.3.1　超高效液相色谱-质谱法条件

液相色谱条件: 色谱柱 Acquity BEH C_{18} 色谱柱(2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)。流动相为 0.1%甲酸水溶液(流动相 A)和甲醇(流动相 B), 流速为 0.3 mL/min, 梯度洗脱, 具体参数见表 1, 柱温为 40 ℃, 进样体积为 1 μL。

表 1　超高效液相色谱-质谱法梯度洗脱流动相参数
Table 1　Parameters of mobile phase for gradient elution on the ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry

时间/min	甲醇/%	0.1%甲酸水溶液/%
0.00	20	80
7.00	95	5
10.00	95	5
10.01	20	80
12.00	20	80

质谱条件: 采用多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式, 电离方式为电喷雾电离(electrospray ionization, ESI)。吡虫啉等 77 种农药的定性和定量离子信息、仪器参数等参照 GB/T 20769—2008《水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法》。

1.3.2　气相色谱-三重四极杆气质联用仪条件

气相色谱条件: 色谱柱 HP-5ms 色谱柱(30 mm×0.25 mm, 0.25 μm)。升温程序为: 初始温度 80 ℃, 以 40 ℃/min 升温至 180 ℃, 再以 10 ℃/min 升温至 300 ℃, 保持 3 min。进样口温度为 230 ℃, 传输线温度为 280 ℃, 离子源温度为 250 ℃。

质谱条件: 百菌清等 21 种农药的定性和定量离子信息、仪器参数参照 GB 23200.8—2016《食品安全国家标准 水果和蔬菜中 500 种农药及相关化学品残留量的测定 气相色谱-质谱法》和 GB 23200.113—2018《食品安全国家标准 植物源性食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法》。

1.4　样品前处理

称取 10 g 草莓样品置于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 乙腈, 振荡涡旋 30 s, 再加入萃取粉包(含 NaCl 1.5 g 和 $MgSO_4$ 6 g), 振荡涡旋 30 s, 以 7000 r/min 离心 3 min。取离心后上清液 2 份于净化管(含 PSA 50 mg、$MgSO_4$ 150 mg 和 C_{18} 50 mg)中, 振荡涡旋 30 s, 以 7000 r/min 离心 3 min。取 1 份上清液 1 mL 于 10 mL 离心管氮气吹干, 正己烷定容至 1 mL, 超声 3 min 后过 0.22 μm 滤膜装进样品瓶, 待气相色谱-三重四极杆气质联用仪检测。取另一份上清液 1 mL, 涡旋混合后过 0.22 μm 滤膜, 待超高效液相色谱质谱联用仪检测。

1.5　评估方法

1.5.1　危害物风险系数

危害物风险系数可直观而全面地反映危害物在一段时间内的风险程度, 其计算参照金征宇[15]的方法进行, 计算如公式(1)。

$$R=S+a\times P+b/F \tag{1}$$

式中: R 为危害物风险系数; P 为该农药的超标率, P=超标样品数/总样品数×100%; F 为施检频率, 取 F=1; a 和 b 为相应的权重系数, 分别取 a=100, b=0.1; S 为危害物敏感因子, 根据当前该危害物在国内外食品安全上被关注的敏感度进行适当调整, 该研究为正常检测, 取 S=1。当 R<1.50 时, 表明该农药为低度风险; 当 1.50≤R≤2.50 时, 表明该农药为中度风险; 当 R>2.50 时, 表明该农药为高度风险。

1.5.2　膳食风险评估方法

分别以慢性膳食摄入风险[用农药每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)百分数%ADI 表示]和急性膳食摄入风险[用急性参考剂量(acute reference dose, ARfD)百分数%ARfD 表示]为指标, 对本研究草莓中农药残留进行慢性和急性膳食摄入风险评估。用公式(2)计算农药的%ADI。

$$\%\mathrm{ADI}=\frac{\mathrm{STMR}\times 0.0457}{\mathrm{bw}\times \mathrm{ADI}}\times 100\% \tag{2}$$

式中: STMR 为规范试验残留中值(supervised trials median residue), 取平均残留值, mg/kg[16–17]; 0.0457 为居民日均草莓消费量, kg; bw 为体重(body weight), 本研究

按 60 kg 计; ADI, mg/kg bw。

用公式(3)和(4)计算农药的%ARfD。

$$IESTI=\frac{LP\times HR}{bw} \quad (3)$$

$$\%ARfD=\frac{IESTI}{ARfD}\times 100\% \quad (4)$$

式中: IESTI 为国际短期摄入估计值(estimated short-term intake), mg/kg; HR 为农药最高残留浓度(highest residue), 取 99.9 百分位点值, mg/kg; LP 为中国居民草莓消费的大份餐(large portion), kg, 按 0.44218 kg 计; ARfD, mg/kg。

本研究针对检出的农药和全部 150 批次草莓样品进行农药残留风险评估。对于检出的农药, 当某个样品中的检测值小于检出限(limit of detection, LOD)时, 用 1/2LOD 代替[18]。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016、Prism2.0、Origin 9.1 等软件对数据进行多元化分析。所有实验重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 草莓农药残留检出情况

由表 2 可知, 对青岛地区所抽检的 150 批次草莓样品中进行检测, 检测农药种类主要包括生长调节剂、杀菌剂、杀虫剂和国家禁限用农药共 98 种农药, 其中共检出 17 种农药残留。农药残留最多的种类为杀菌剂(11 种)>杀虫剂(4 种)>杀螨剂(2 种), 无植物生长调节剂检出。从登记情况看, 检出的 17 种农药中有 10 种农药为草莓上登记使用的农药, 占检出农药总数的 58.8%; 7 种农药为草莓上未登记使用的农药, 占检出农药总数的 41.2%。这表明农户种植草莓过程中不按规范使用情况时有发生, 其他地区也存在这种现象[19–22]。因此, 各地区草莓种植过程中未登记农药的使用情况较为突出, 农产品质量安全监督有关部门应加强宣传作用, 指导农户更加科学规范的用药。

在检出的已登记农药中, 吡唑醚菌酯、腈菌唑和腐霉利 3 种杀菌剂检出率较高, 检出率分别为 29.3%、20.0%和 20.0%。在检出的 7 种未登记农药中, 主要检出杀菌剂, 霜霉威、三唑酮、多菌灵, 检出率分别为 5.3%、3.0%、3.0%。这与李卫东等[13]和岳宁等[20]检测结果相似, 表明冬季草莓白粉病和灰霉病多发, 杀菌剂成为草莓白粉病和灰霉病的主要防治措施。杨秋菊等[23]从中山市草莓中检出频率最高的是苯醚甲环唑(38.3%)和咪鲜胺(36.5%), 仇婷婷等[24]在上海市松江区抽检的 123 份草莓样品中检出频率最高的是嘧霉胺(61.0%)和腐霉利(59.3%), 而该研究检出频率最高的是吡唑醚菌酯(29.3%), 其次为腈菌唑(20.0%)和多菌灵(20.0%), 这种现象可能与草莓的栽培品种、产地环境不同导致病虫害发生程度和发生规律不同。

本研究针对 150 批次草莓的农药残留风险系数采用危害物风险系数进行分析, 由于本研究属于正常施检, 取 a=100, b=0.1, 所以 F=1, S=1。因为草莓中检出的 17 种农药均未超过国家限量标准, 所以 17 种农药的超标率 P 均为 0。此时危害物风险系数 R 均为 1.1, 低于 1.5, 为低风险农药[25–26]。

2.2 不同采收期草莓农药残留检出情况

本研究共采集了青岛市 7 个区市草莓采摘园 1—5 月的草莓样品进行农药残留分析。以一个月为研究周期分析草莓中农药残留情况, 表 3 是 1—5 月 5 个不同采收期草莓样品中农药残留水平。从表 3 中可以看出, 从 1 月到 5 月,

表 2 草莓中农药残留检出率、超标率

Table 2 Detection rate and over-standard rate of pesticide residues in *Fragaria ananassa*

农药名称	农药类型	检出次数	检出率/%	超标率/%	草莓上登记情况	施检频率	风险系数 R
吡虫啉	杀虫剂	1	0.7	0	已登记	1	1.1
啶虫脒	杀虫剂	10	7.0	0	已登记	1	1.1
嘧霉胺	杀菌剂	3	2.0	0	已登记	1	1.1
咪鲜胺	杀菌剂	1	0.7	0	已登记	1	1.1
腐霉利	杀菌剂	30	20.0	0	已登记	1	1.1
吡唑醚菌酯	杀菌剂	44	29.3	0	已登记	1	1.1
腈菌唑	杀菌剂	30	20.0	0	已登记	1	1.1
联苯肼酯	杀螨剂	17	11.3	0	已登记	1	1.1
氟吡菌酰胺	杀菌剂	13	8.7	0	已登记	1	1.1
嘧菌酯	杀菌剂	4	2.7	0	已登记	1	1.1
烯酰吗啉	杀菌剂	1	0.7	0	未登记	1	1.1
三唑酮	杀菌剂	5	3.0	0	未登记	1	1.1
氯氟氰菊酯	杀虫剂	1	0.7	0	未登记	1	1.1
甲氰菊酯	杀螨剂	3	2.0	0	未登记	1	1.1
多菌灵	杀菌剂	5	3.0	0	未登记	1	1.1
噻虫嗪	杀虫剂	1	0.7	0	未登记	1	1.1
霜霉威	杀菌剂	8	5.3	0	未登记	1	1.1

表 3　青岛地区 1—5 月草莓样品中农药残留情况

Table 3　Pesticide residue situation of *Fragaria ananassa* samples from January to May in Qingdao area

农药种类	1 月		2 月		3 月		4 月		5 月	
	农药残留水平/(mg/kg)	检出次数	农药残留水平/(mg/kg)	检出次数	农药残留水平/(mg/kg)	检出次数	农药残留水平/(mg/kg)	检出次数	农药残留水平/(mg/kg)	检出次数
吡虫啉	0	0	0	0	0	0	0	0	0.049±0.005	1
啶虫脒	0	0	0.210±0.010	3	0.100±0.005	1	0.350±0.030	4	0.689±0.050	2
嘧霉胺	0	0	0.180±0.010	2	0.220±0.020	1	0	0	0	0
咪鲜胺	0	0	0	0	0.014±0.001	1	0	0	0	0
腐霉利	0.056±0.004	1	0.102±0.010	7	0.130±0.010	10	0.056±0.020	5	0.041±0.004	7
吡唑嘧菌酯	0.051±0.003	15	0.120±0.010	10	0.152±0.020	9	0.051±0.003	6	0.051±0.005	4
腈菌唑	0.257±0.012	10	0.420±0.020	12	0.502±0.050	5	0.257±0.030	2	0.257±0.030	1
联苯肼酯	0.395±0.040	2	0.395±0.030	5	0.480±0.050	4	0.210±0.020	1	0.310±0.020	5
氟吡菌酰胺	0.017±0.002	1	0.046±0.005	3	0.048±0.005	3	0.024±0.002	2	0.030±0.005	3
嘧菌酯	0.014±0.002	1	0	0	0.071±0.005	3	0	0	0	0
烯酰吗啉	0	0	0.010±0.001	1	0	0	0	0	0	0
三唑酮	0.015±0.002	1	0.015±0.001	1	0.015±0.003	1	0.015±0.002	1	0.015±0.002	1
氯氟氰菊酯	0	0	0.013±0.001	1	0	0	0	0	0	0
甲氰菊酯	0	0	0.014±0.001	1	0.020±0.002	1	0	0	0.014±0.002	1
多菌灵	0.013±0.002	1	0.013±0.001	1	0.013±0.002	1	0.013±0.002	1	0.013±0.002	1
噻虫嗪	0	0	0	0	0	0	0.030±0.004	1	0	0
霜霉威	0.035±0.002	1	0.035±0.002	2	0.070±0.003	3	0	0	0.020±0.002	2

不同农药检出频次和残留水平差异较大。其中 1 月草莓样品中未检出啶虫脒, 2—5 月均有啶虫脒检出, 4 月检出频次最高, 检出 4 次; 啶虫脒残留浓度最大值出现在 5 月, 残留浓度为 0.689 mg/kg。啶虫脒主要用于虫害盛发期, 随着气温回升, 蚜虫、红蜘蛛、蓟马等虫害的发生率逐渐上升, 施药量和施药频次也不断增加[27]。值得注意的是, 5 个收获期中, 2 月和 3 月, 吡唑嘧菌酯、腈菌唑、联苯肼酯 3 种杀菌剂的检出频次和检出浓度相对较高, 最高农药残留浓度分布在 3 月。这可能与青岛地区 2 月和 3 月气温开始回升, 沿海城市的相对湿度也逐渐增加有关, 故增加用药量以防治白粉病、灰霉病等病害[28–29]。

不同收获期草莓样品中检出的农药数量也存在差异, 其中 1 月检出 33 项次, 2 月检出 49 项次, 3 月检出 43 项次, 4 月检出 23 项次, 5 月检出 28 项次; 农药残留检出数量为 2 月>3 月>1 月>5 月>4 月, 其中检出农药残留数量较多的月份是 2 月和 3 月(图 1), 农药残留检出浓度最高值分布也在 2 和 3 月, 该时期为草莓生长和销售旺季, 再加上温度和湿度的升高, 病虫害的防治成为草莓稳产的重要措施[30]。

2.3　草莓中农药残留膳食风险评估

从表 4 可知, 根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》, 150 批次草莓样品检出的 17 种农药中, 有两种农药咪鲜胺和霜霉威未制定最大残留限量, 不予判定; 其余农药残留量均远低于最大残留限量, 样品判定为合格。

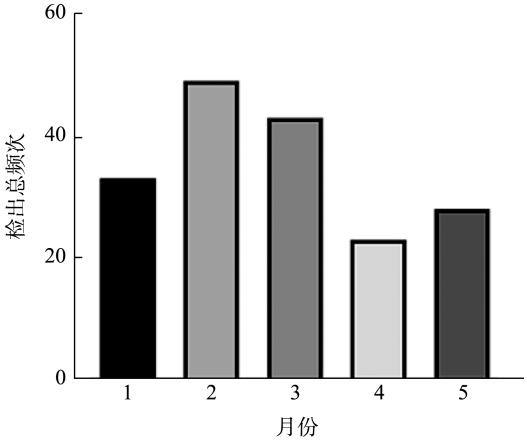


图 1　草莓中 1—5 月农药残留检出频次

Fig.1　Frequency of pesticide residue detection in *Fragaria ananassa* from January to May

从表 4 可见, 草莓中检出的 17 种农药的%ADI 范围为 0.001%~0.375%, 平均值为 0.044%, 均远低于 100%。其中, 只有腈菌唑和联苯肼酯的%ADI 高于 0.1%, 其余 15 种农药的%ADI 均低于 0.1%, 甚至为 0.001%这表明, 青岛地区草莓农药残留慢性膳食摄入风险是均较低, 是可以接受的。

表 4 草莓中已检出农药残留膳食摄入风险

Table 4 Dietary intake risk of pesticide residues detected in *Fragaria ananassa*

农药名称	检出水平 /(mg/kg)	平均残留浓度 /(mg/kg)	最大残留限量值 /(mg/kg)	ADI /(mg/kg bw)	ARfD /(mg/kg bw)	%ADI	%ARfD
吡虫啉	0.049	0.005	0.50	0.06	0.40	0.007	0.09
啶虫脒	0.010~0.687	0.018	2.00	0.07	0.10	0.020	5.10
嘧霉胺	0.010~0.384	0.008	7.00	0.20	不需要	0.003	-
咪鲜胺	0.014	0.005	-	0.01	0.10	0.039	0.10
腐霉利	0.010~0.130	0.015	10.00	0.10	-	0.012	-
吡唑醚菌酯	0.010~0.152	0.018	2.00	0.03	0.70	0.047	0.16
腈菌唑	0.010~0.936	0.056	1.00	0.03	0.30	0.141	2.30
联苯肼酯	0.010~0.506	0.049	2.00	0.01	不需要	0.375	-
氟吡菌酰胺	0.010~0.056	0.009	0.40	0.01	0.50	0.066	0.08
嘧菌酯	0.010~0.071	0.006	10.00	0.20	不需要	0.002	-
烯酰吗啉	0.014	0.005	0.05	0.20	0.60	0.002	0.02
三唑酮	0.010~0.026	0.005	0.70	0.03	0.08	0.013	0.24
氯氟氰菊酯	0.013	0.005	0.20	0.02	0.02	0.019	0.48
甲氰菊酯	0.010~0.02	0.005	2.00	0.03	-	0.013	-
多菌灵	0.010~0.015	0.005	0.50	0.03	0.10	0.013	0.11
噻虫嗪	0.031	0.005	0.50	0.08	1.00	0.005	0.23
霜霉威	0.010~0.083	0.007	-	0.40	2.00	0.001	0.03

注: -表示无此项。

除了嘧霉胺、联苯肼酯和嘧菌酯的 ARfD 信息为“不需要”, 腐霉利和甲氰菊酯无 ARfD 信息, 其余 12 种农药的 ARfD 见表 4。从表 4 中可以看到, 这 12 种农药的%ARfD 在 0.02%~5.10%, 平均为 0.75%, 均远低于 100%。其中, 啶虫脒的%ARfD 超过了 5%, 腈菌唑超过了 1%, 吡唑醚菌酯、氯氟氰菊酯、噻虫嗪等 10 种农药的%ARfD 均低于 1%。这表明青岛地区草莓农药残留急性膳食摄入风险都很低, 是可以接受的。从表 4 结果可以看出, 17 种农药的最高残留量均远小于最大残留限量值, 进一步证实这些农药的急性膳食摄入风险均很低。

3 结 论

通过对青岛市区域内草莓农药残留监测发现, 青岛地区草莓农药残留整体处于低水平、可控状态, 检出农药以腐霉利、啶虫脒、烯酰吗啉等低毒杀菌剂、杀虫剂为主, 未检出禁用高毒农药。慢性膳食风险和急性膳食风险均远低于 1, 居民通过食用草莓摄入的农药残留无不可接受健康风险。本研究与国内北京、上海、浙江、西安等地研究一致, 均证实草莓农残检出率偏高但超标率极低, 急性膳食风险和慢性膳食风险均在可接受范围。但本研究部分高频农药残留水平低于南方产区, 体现青岛绿色防控与标准化生产成效, 该研究立足青岛环湾设施栽培, 气候与用药模式更具北方滨海产区特征, 更贴合本地监管要求。本研究为青岛草莓质量安全风险监测、抽检布点、重点管控清单提供科学依据; 指导种植主体减药、控药、规范安全间隔期, 提升产品竞争力; 用数据澄清草莓质量安全问题, 稳定消费信心, 提升产品竞争力。但本研究中草莓样本以主栽品种与规模化种植基地为主, 对散户、小棚的代表性不足; 而且仅开展了单一农药独立风险评估, 未对多种农药复合残留、联合毒性和代谢产物进行系统评价。下一步工作将建立青岛本地人群草莓消费数据库, 开展敏感人群高暴露场景精准评估; 开展多农药残留联合毒性、累积风险评估和代谢产物毒性评估, 完善暴露评价体系。

参考文献

[1] 于志波, 芦仙慧, 冯义志, 等. 吡唑醚菌酯和戊菌唑混用在设施草莓中的残留、消解、储藏稳定性及安全性评价[J]. 农药, 2023, 62(12): 895–900.

YU ZB, LU XH, FENG YZ, *et al*. Residue, dissipation behavior, storage stability and safety evaluation of pyraclostrobin and penconazole mixture in greenhouse strawberry [J]. Agrochemicals, 2023, 62(12): 895–900.

[2] 江景勇, 王会福, 何玲玲, 等. 台州草莓农药残留风险评估[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(6): 1408–1414.

JIANG JY, WANG HF, HE LL, *et al*. Risk assessment of pesticide

residues in strawberry from Taizhou City [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2017, 33(6): 1408–1414.

[3] 罗振玲, 杨挺, 夏慧丽. 台州市种植草莓主要农药残留评价[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(6): 1176–1180.
LUO ZL, YANG T, XIA HL. Evaluation of main pesticide residues in strawberry in Taizhou [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(6): 1176–1180.

[4] 王贵民, 王欣然, 刘庆菊, 等. 草莓中氟啶虫胺腈及其代谢物降解规律及风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(3): 170–176.
WANG GM, WANG XR, LIU QJ, *et al*. Degradation and risk assessment of sulfoxaflor and its metabolites in strawberry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(3): 170–176.

[5] 段永华, 合力朝, 李润贤, 等. 不同农药及施用方法对草莓植株和果实农残含量的影响[J]. 中国南方果树, 2023, 52(4): 118–121.
DUAN YH, HE LC, LI RX, *et al*. The effects of different pesticides and their application methods on the pesticide residue content of strawberry plants and fruits [J]. South China Fruits, 2023, 52(4): 118–121.

[6] 江景勇, 陈盼盼, 刘秀群, 等. 嘧菌环胺在草莓中的残留消解动态及膳食风险评估[J]. 农药, 2019, 58(96): 672–675.
JIANG JY, CHEN PP, LIU XQ, *et al*. Dissipation, residue and dietary risk assessmentof cyprodinil in strawberry [J]. Agrochemicals, 2019, 58(9): 672–675.

[7] 孙玉龙, 李东阳, 蔡家琦, 等. 不同施药方式下吡虫啉在草莓中的残留行为与膳食风险评估[J]. 农药, 2019, 58(9): 668–671.
SUN YL, LI DY, CAI JQ, *et al*. Residue behavior and dietary risk assessment of imidacloprid in strawberry under different application modes [J]. Agrochemicals, 2019, 58(9): 668–671.

[8] 邱莉萍, 陈盼盼, 刘秀群, 等. 草莓中氟啶虫酰胺残留消解动态及膳食风险评估[J]. 农产品质量与安全, 2019(6): 53–56.
QIU LP, CHEN PP, LIU XQ, *et al*. Residue dissipation dynamics and dietary risk assessment on fluoroacetamide in strawberries [J]. Quality and Safety of Agro-products, 2019(6): 53–56.

[9] 邓文, 晏慧莉. 宝鸡市草莓农药残留风险评估[J]. 黑龙江农业科学, 2025(6): 85–91.
DENG W, YAN HL. Risk assessment of pesticide residues in strawberries in Baoji City [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2025(6): 85–91.

[10] 祁洁, 郝伟, 潘碧枢. 2017 年—2021 年台州市市售草莓中农药残留状况及膳食摄入风险评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2023, 33(3): 361–363.
QI J, HAO W, PAN BS. Pesticide residue status and dietary intake risk assessment in commercially available strawberries in Taizhou City from 2017 to 2021 [J]. Chinese Journal of Health Laboratory, 2023, 33(3): 361–363.

[11] 李芳, 董雪萍, 何燕, 等. 衡阳市售“红颜”草莓农药残留抽检及摄入风险评估[J]. 南方农业, 2025, 19(13): 63–67.
LI F, DONG XP, HE Y, *et al*. Sampling inspection and intake risk assessment of pescide residues in “Hongyan” strawberries sold in Hengyang City [J]. South China Agriculture, 2025, 19(13): 63–67.

[12] 班思凡, 李春梅, 贺青华, 等. 设施栽培草莓中农药残留膳食风险评估[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 212–220.
BAN SF, LI CM, HE QH, *et al*. Dietary risk assessments of pesticide residues in greenhouse-grown strawberry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 212–220.

[13] 李卫东, 朱雷鹰, 彭勃, 等. 上海奉贤区草莓中农药多残留监测和风险评估[J]. 上海农业学报, 2025, 41(1): 80–87.
LI WD, ZHU LY, PENG B, *et al*. Monitering and risk evaluate of multi-pesticide residue in strawberry in Fengxian District Shanghai [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2025, 41(1): 80–87.

[14] 延妮, 王文思, 史册, 等. 草莓农药残留风险评估[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(15): 200–204.
YAN N, WANG WS, SHI C, *et al*. Strawberry pesticide residue risk assessment [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(15): 200–204.

[15] 金征宇. 食品安全导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
JIN ZY. Introduction of Food Safety [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.

[16] 张志恒, 汤涛, 徐浩, 等. 果蔬中氯吡脲残留的膳食摄入风险评估[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1982–1991.
ZHANG ZH, TANG T, XU H, *et al*. Dietary intake risk assessment of forchlorfenuron residue in fruits and vegetables [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(10): 1982–1991.

[17] 聂继云, 李志霞, 刘传德, 等. 苹果农药残留风险评估[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3655–3667.
NIE JY, LI ZX, LIU CD, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in apples [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3655–3667.

[18] 赵敏娴, 王灿楠, 李亭亭, 等. 江苏居民有机磷农药膳食累积暴露急性风险评估[J]. 卫生研究, 2013, 42(5): 844–848.
ZHAO MX, WANG CN, LI TT, *et al*. Acute risk assessment of cumulative dietary exposure to organophosphorus pesticide among people in Jiangsu Province [J]. Journal of Hygiene Research, 2013, 42(5): 844–848.

[19] 巢玉彬, 颜世敢. 潍坊市水果农药残留现状和急性膳食暴露风险评估[J]. 河北科技师范学院学报, 2020, 34(2): 67–73.
CHAO YB, YAN SG. Status of pesticide residues in fruits and risk assessment of acute dietary exposure in Weifang City [J]. Journal of Hebei Normal University of Science & Technology, 2020, 34(2): 67–73.

[20] 岳宁, 李晓慧, 王琦, 等. 北京地区草莓农药残留水平分析及膳食风险评估[J]. 农产品质量与安全, 2022(3): 24–30.
YUE N, LI XH, WANG Q, *et al*. Residue levels and dietary risk assessment of pesticide residues on strawberry in Beijing [J]. Quality and Safety of Agro-products, 2022(3): 24–30.

[21] 李扬, 蔡智华, 许奕, 等. 2021 年春季洞庭湖区章姬草莓农药残留检测分析[J]. 食品安全导刊, 2021(22): 86–87.
LI Y, CAI ZH, XU Y, *et al*. Detection and analysis of pesticide residues in Zhangji strawberries in Dongting Lake Area in Spring 2021 [J]. Journal of Food Safety Guide, 2021(22): 86–87.

[22] 梁立娟, 李乾坤, 杨秀娟, 等. 基于实验室草莓样品的农药残留状况分析[J]. 广东农业科学, 2011, 14: 141–143.
LIANG LJ, LI QK, YANG XJ, *et al*. Status analysis of pesticide residues in strawberry samples based on laboratory [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 14: 141–143.

[23] 杨秋菊, 黎小鹏, 陈楠, 等. 草莓中农药残留风险评估及分析[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(22): 1057–1059.
YANG QJ, LI XP, CHEN N, *et al*. Risk assessment and analysis of pesticide residues in strawberries [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(22): 1057–1059.

[24] 仇婷婷, 石国忠, 陆萍, 等. 松江区草莓农药残留风险评估[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(7): 152–154.
QIU TT, SHI GZ, LU P, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in strawberries in Songjiang District [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(7): 152–154.

[25] 王姝婷, 何华丽, 刘少颖, 等. 食品安全指数法评估杭州地区市售草莓中农药残留风险[J]. 中国卫生检验杂志, 2021, 31(23): 2917–2920.
WANG ST, HE HL, LIU SY, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in strawberry in Hangzhou Region based on food safety indexes [J]. Chinese Journal of Health Laboratory, 2021, 31(23): 2917–2920.

[26] 兰珊珊, 林涛, 林昕, 等. 食品安全指数法评估西南地区食用菌中农药残留风险[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(1): 199–204.
LAN SS, LIN T, LIN X, *et al*. Risk assessment of pesticide residues in edible mushrooms in Southwest China based on food safety indexes [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2014, 30(1): 199–204.

[27] 杜灵敏, 马成, 赵婷婷, 等. 啶虫脒和氟酰脲在草莓中的残留消解及风险评估[J]. 农药, 2021, 60(12): 904–908.
DU LM, MA C, ZHAO TT, *et al*. Residues, dissipation and dietary risk assessment of acetamiprid and novaluron in strawberry [J]. Agrochemicals, 2021, 60(12): 904–908.

[28] REED BM, HUMMER KE. Conservation of germplasm of strawberry (*Fragaria* species). cryopreservation of plant germplasm I [J]. Biotechnology in Agriculture and Forestry, 1995, 32: 354–370.

[29] WANG F, ZHANG F, CHEN MM, *et al*. Comparative transcriptomics reveals differential gene expression related to colletotrichum gloeosporioides resistance in the octoploid strawberry [J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 779.

[30] KITAMURA H, MORI T, KOHORI J, *et al*. Breeding and extension of the new strawberry cultivar ‘kaorino’ with extremely early flowering and resistance to anthracnose [J]. Horticultural Research, 2015, 14: 89–95.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)