DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251222003
引用格式: 郭春景, 吴限鑫, 林秋君, 等. 2024 年辽宁省草莓农药残留风险评估及其对品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(11): 158–166.
GUO CJ, WU XX, LIN QJ, *et al*. Risk assessment of pesticide residues of *Fragaria ananassa* in Liaoning Province in 2024 and its effects on quality [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(11): 158–166. (in Chinese with English abstract).

2024 年辽宁省草莓农药残留风险评估及其对品质的影响

郭春景[1,2], 吴限鑫[1,2], 林秋君[1,2], 李丽娜[1,2], 彭天舒[1,2], 李 广[1,2], 王建忠[1,2*]

[1. 辽宁省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 沈阳 110161;
2. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(沈阳), 沈阳 110161]

摘 要: 目的 根据草莓中农药残留情况进行风险评估, 并分析农药残留与草莓品质之间的相关性。**方法** 通过检测 156 批次草莓样品, 获得草莓中农药残留数据, 采用相关限量标准和膳食暴露评估方法评估草莓的急性膳食风险。同时检测草莓品质参数维生素 C (vitamin C, VC)、可溶性糖、可滴定酸、果胶、固形物、硬度, 分析农药残留与品质的相关性。**结果** 156 批次样品在 104 种目标农药中, 共检出 19 种农药残留, 未检出农药残留的样品占总样品数 24.36%。检出 3 种以上(含 3 种)的农药多残留样品占样品总数的 15.39%。检出最高的是植物生长调节剂矮壮素, 最大值为 0.408 mg/kg, 检出率 46.15%。杀菌剂检出最高的是啶酰菌胺, 检出率 21.79%。杀虫剂检出最高的是螺螨酯, 检出率 12.18%。检出的具有杀虫作用的农药均未在草莓上登记。急性膳食摄入风险水平均小于 1。VC 与矮壮素正相关, 可溶性糖与腐霉利正相关、与多菌灵正相关、与咪鲜胺负相关, 可滴定酸与氯虫苯甲酰胺、呋虫胺和肟菌酯负相关, 果胶含量与矮壮素正相关, 固形物与咪鲜胺负相关, 硬度与农药残留没有明显相关性。草莓农药残留检出率偏高, 存在农药多残留情况, 氯氰菊酯与烯酰吗啉存在超标情况(0.64%), 没有急性膳食摄入风险。适当喷施植物生长调节剂矮壮素, 对 VC 有积极影响, 但矮壮素未在草莓上登记, 需进一步筛选替代药剂。**结论** 本研究在评估草莓农药残留膳食风险的基础上, 探讨了农药残留与营养品质之间的关系。建立的安全与品质综合评估方法, 可用于其他高价值果蔬, 对指导科学用药、提升农产品质量与安全具有重要应用价值。

关键词: 草莓; 农药残留; 风险评估; 维生素 C

Risk assessment of pesticide residues of *Fragaria ananassa* in Liaoning Province in 2024 and its effects on quality

GUO Chun-Jing[1,2], WU Xian-Xin[1,2], LIN Qiu-Jun[1,2], LI Li-Na[1,2], PENG Tian-Shu[1,2], LI Guang[1,2], WANG Jian-Zhong[1,2*]

收稿日期: 2025-12-22
基金项目: 草莓产业辽宁创新团队项目; 辽宁省农业农村厅 2024 年农产品质量安全风险评估项目(LN2024FXPG01)
第一作者: 郭春景(1982—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为风险评估、品质评价。E-mail: guocj464@163.com
***通信作者:** 王建忠(1972—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为风险评估、品质评价。E-mail: WJZ721125@sina.com

[1. *Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology*, *Liaoning Academy of Agricultural Sciences*, *Shenyang* 110161, *China*; 2. *Laboratory of Agricultural Product Quality Safety Risk Assessment* (*Shenyang*), *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Shenyang* 110161, *China*]

ABSTRACT: Objective　To evaluate the risk of pesticide residues in *Fragaria ananassa*, and analyze the correlation between pesticide residues and the quality of *Fragaria ananassa*. **Methods**　A total of 156 *Fragaria ananassa* samples were analyzed for pesticide residues. Based on the acquired pesticide residue data in *Fragaria ananassa* samples, the acute dietary risk of the target fruit was assessed by applying relevant maximum residue limits and dietary exposure assessment methodologies. Meanwhile, key quality parameters of the *Fragaria ananassa*-including vitamin C (VC), soluble sugar, titratable acid, pectin, solids and hardness were determined. The correlation between detected pesticide residues and these quality parameters was then analyzed. **Results**　A total of 19 pesticide residues were detected among the 104 kinds of target pesticides across 156 sample batches. Pesticide-free samples accounted for 24.36% of the total, while samples containing multiple pesticide residues (⩾3 types) represented 15.39%. Among the detected compounds, the plant growth regulator chlormequat showed the highest residual level, with a maximum concentration of 0.408 mg/kg and a detection rate of 46.15%. Among fungicides, boscalid had the highest detection rate (21.79%). Spirodiclofen was the insecticide with the highest detection rate among insecticides (12.18%). Notably, the pesticides with insecticidal effects detected had not been registered on *Fragaria ananassa*. The acute dietary intake risk was below 1. VC content was positively correlated with chlormequat. Soluble sugar showed a positive correlation with procymidone, positive correlation with carbendazim, and a negative correlation with prochloraz. Titratable acid was negatively correlated with chlorantraniliprole, dinotefuran and trifloxystrobin. Pectin content was positively correlated with chlormequat, while total solids were negatively correlated with prochloraz. Hardness exhibited no significant correlation with any pesticide residues. The detection rate of pesticide residues in *Fragaria ananassa* was high, with a wide variety of residues identified. Both cypermethrin and dimethomorph were found to exceed the standard limits (0.64%), however, no short term dietary intake risk was observed. Appropriate application of the plant growth regulator chlormequat had a positive effect on the VC content of *Fragaria ananassa*. But chlormequat was not registered for *Fragaria ananassa*, and further screening of alternative agents was required. **Conclusion**　This study assesses the dietary risk of pesticide residues in *Fragaria ananassa* and investigates their association with key nutritional quality indicators. The integrated safety-quality assessment framework established can be extended to other high-value produce, providing practical value for guiding evidence-based pesticide application and enhancing the overall quality and safety of agricultural products.

KEY WORDS: *Fragaria ananassa*; pesticide residues; risk assessment; vitamin C

0　引　言

草莓是一种多年生的草本植物, 其果实口感酸甜适中, 果肉细腻多汁, 富含维生素 C (vitamin C, VC)、鞣花酸等多种营养物质, 深受消费者喜爱。我国草莓种植面积和产量常年位居全球首位[1], 2023 年全国草莓种植面积为 15.5 万公顷, 产量 423.9 万吨[2], 辽宁省草莓种植面积占全国种植面积的 8.94%, 产量占全国产量的 13.00%。其中丹东更是以 25.8 万吨产量占辽宁省草莓总产量的 46.8%[3], 成为辽宁省草莓产业的核心产区。该产业凭借其种植周期短、投资见效快、经济效益高, 成为推动辽宁省乡村振兴的重要产业支柱[4–5], 庄河草莓、东港草莓、高花草莓、桓仁草莓成功入选全国名特优新农产品名录, 进一步提升了辽宁草莓的品牌影响力和市场竞争力。

近年来, 随着日益增长的美好生活需要, 人们对农产品质量安全的关注也日益增强。然而, 草莓在种植过程中常受到多种病虫害威胁, 农药的广泛使用在保障产量、提升生产力的同时, 也带来了残留风险。环境工作组织(EWG)果蔬农药残留购物指南 2025 年度数据显示[6], 草莓在受检的 47 种果蔬中农药残留最严重。EL-KASEM 等[7]和 GORDAN 等[8]研究发现埃及和伊朗的草莓样品中存在农药残留超标情况。我国不同地区如宝鸡、台州、莆田、北京、上海、安徽等地草莓中农药残留相关研究也发现这一问题[9–14], 说明草莓中农药残留带来的潜在健康风险已成

为全球关注的问题。

尽管合理使用农药对防治病虫害、减少作物损失、稳定供应链具有重要意义，但由此带来的残留问题不容忽视。因此，持续开展草莓中农药残留的监测与膳食风险评估，对政府实施有效监管、建立风险预警机制具有重要支撑作用。同时，现有研究多集中于植物生长调节剂对果实品质的影响[15−18]，而其他类别农药对草莓营养品质方面的潜在影响尚缺乏系统研究，分析农药残留与果实品质指标之间的相关性，对指导科学用药、提升草莓质量安全与食用品质具有重要意义。

综上所述，目前针对草莓农药残留的研究虽有一定积累，但多集中于残留检测与安全评价，在农药残留与果实品质关联性方面的探讨仍显不足。因此，本研究拟以辽宁省主产区草莓为研究对象，系统分析其农药残留现状，评估膳食暴露风险，并进一步探究农药残留与关键品质指标之间的相关性，以期为草莓安全生产、品质提升及政府部门监管政策优化提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

草莓样品来自 2024 年辽宁省主产区丹东、大连、沈阳等地市售草莓。

四氟醚唑、联苯肼酯、阿维菌素、氟啶虫酰胺、苯醚甲环唑、啶酰菌胺、腐霉利、噁霉灵、氟唑菌酰胺、嘧菌酯、克菌丹、咪鲜胺、吡虫啉、氟菌唑、氟啶胺、醚菌酯、噻苯隆、苦参碱、嘧霉胺、乙嘧酚、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、戊唑醇、戊菌唑、乙螨唑、吡唑醚菌酯、咯菌腈、异菌脲、氟吡菌酰胺、肟菌酯、吲哚丁酸、萘乙酸、腈菌唑、抑霉唑、吡蚜酮、噻虫胺、啶虫脒、嘧菌环胺、矮壮素、螺螨酯、螺虫乙酯、多菌灵、噻螨酮、多效唑、烯酰吗啉、氯虫苯甲酰胺、胺鲜酯、氯氰菊酯、呋虫胺、虫酰肼、百菌清、苯线磷、丙溴磷、虫螨腈、除虫脲、哒螨灵、敌敌畏、毒死蜱、二嗪磷、氟虫腈、氟氯氰菊酯、甲胺磷、甲拌磷、甲萘威、甲氰菊酯、甲霜灵、克百威、乐果、联苯菊酯、氯吡脲、氯氟氰菊酯、马拉硫磷、灭幼脲、氰戊菊酯、噻虫嗪、三氯杀螨醇、三唑磷、三唑酮、霜霉威、水胺硫磷、涕灭威、辛硫磷、溴螨酯、溴氰菊酯、亚胺硫磷、氧乐果、乙烯菌核利、乙酰甲胺磷、唑螨酯、氟啶脲、烯效唑、噁霜灵、溴菌腈、氟硅唑、氟啶虫胺腈、氟铃脲、乙霉威、四螨嗪、三唑醇、炔螨特、噻虫啉、抗蚜威、蝇毒磷、氯唑磷等 104 种农药标准品[质量浓度 1000 mg/L，农业农村部环境质量监督检验测试中心(天津)]；甲醇、乙腈(色谱纯，德国 Merck 公司)；甲酸(色谱纯，北京迪马科技有限公司产品)；QuEChERS 提取包(6 g $MgSO_4$+1.5 g NaOAc，大连沈源检验检测咨询有限公司)；QuEChERS 净化包[25 mg N-丙基乙二胺(primary secondary amine, PSA)+2.5 mg 石墨化碳黑(graphitized carbon black, GCB)+150 mg $MgSO_4$，中检(沈阳)科技有限公司]；0.22 μm 有机针孔过滤器(沈阳新康医疗器械有限公司)；草酸、碳酸氢钠、*L*(+)-抗坏血酸、亚铁氰化钾、乙酸锌、葡萄糖、氢氧化钠(分析纯，上海国药集团化学试剂有限公司)；2,6-二氯靛酚(分析纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司)；半乳糖醛酸(分析纯，北京百灵威生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

ME2002E 分析天平(精度 0.01 g)、ME204/02 分析天平(精度 0.1 mg)[梅特勒托利多科技(中国)有限公司]；AH-30 全自动均质器[睿科集团(厦门)股份有限公司]；中佳 HC-3514 高速离心机(安徽中科中佳科技有限公司)；XYE-H 帕恩特超纯水机(北京湘顺源科技有限公司)；Waters Xezo TQ 超高效液相色谱-串联质谱仪、ACQUITY UPLC HSS T3 液相色谱柱(100 mm×2.1 mm, 1.8 μm)(美国 Waters 公司)；TSQ8000Evo 气相色谱质谱联用仪(美国赛默飞世尔科技公司)；TG-5SILMS 气相色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm，美国安捷伦公司)；CTB2 组织捣碎机(美国柏兰德公司)；WYA-2S 折射仪(上海异测仪器设备有限公司)；Five Easy Plus 酸度计[梅特勒托利多仪器(上海)有限公司]；UV-2550 分光光度计(日本岛津公司)；GY-1 硬度计(浙江托普云农科技股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 农药残留检测方法

阿维菌素、氟啶虫酰胺、啶酰菌胺、氟唑菌酰胺、嘧菌酯、咪鲜胺、吡虫啉、氟菌唑、氟啶胺、噻苯隆、苦参碱、乙嘧酚、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、吡唑醚菌酯、氟吡菌酰胺、肟菌酯、吲哚丁酸、萘乙酸、吡蚜酮、噻虫胺、啶虫脒、粉唑醇、矮壮素、螺螨酯、螺虫乙酯、多菌灵、噻螨酮、多效唑、烯酰吗啉、氯虫苯甲酰胺、胺鲜酯、呋虫胺、虫酰肼、苯线磷、虫螨腈、除虫脲、毒死蜱、联苯肼酯、甲萘威、甲霜灵、克百威、乐果、氯吡脲、灭幼脲、噻虫嗪、霜霉威、涕灭威、辛硫磷、氧乐果、乙酰甲胺磷、唑螨酯、氟啶脲、烯效唑、氟硅唑、氟啶虫胺腈、氟铃脲、乙霉威、四螨嗪、炔螨特、噻虫啉、抗蚜威等 61 种农药采用液相色谱-质谱法，参考 GB 23200.121—2021《食品安全国家标准 植物源性食品中 331 种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法》检测；四氟醚唑、苯醚甲环唑、腐霉利、噁霉灵、克菌丹、醚菌酯、嘧霉胺、戊唑醇、戊菌唑、乙螨唑、咯菌腈、异菌脲、腈菌唑、抑霉唑、嘧菌环胺、氯氰菊酯、百菌清、丙溴磷、哒螨灵、敌敌畏、二嗪磷、氟虫腈、氟氯氰菊酯、甲胺磷、甲拌磷、甲氰菊酯、联苯菊酯、氯氟氰菊酯、马拉硫磷、氰戊菊酯、三氯杀螨醇、三唑磷、三唑酮、水胺硫磷、溴螨酯、溴氰菊酯、亚胺硫磷、乙烯菌核利、噁霜灵、溴菌腈、三唑

醇、蝇毒磷、氯唑磷等 43 种农药采用气相色谱-质谱法, 参考 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》检测。

1.3.2　品质参数检测方法

VC 采用 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中 2,6-二氯靛酚滴定法检测; 可溶性糖参考 NY/T 2742—2015《水果及制品可溶性糖的测定 3,5-二硝基水杨酸比色法》方法检测; 可滴定酸参考 GB/T 12293—1990《水果、蔬菜制品 可滴定酸度的测定》方法检测; 固形物按照 NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法》方法检测; 果胶按照 NY/T 2016—2011《水果及其制品中果胶含量的测定分光光度法》方法检测; 硬度按照 NY/T 2009—2011《水果硬度的测定》方法检测。

1.3.3　风险评估方法

(1)限量标准评估

根据 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》、GB 2763.1—2022《食品安全国家标准 食品中 2,4-滴丁酸钠盐等 112 种农药最大残留限量》进行判定。

(2)急性膳食摄入风险评估

根据农药残留联席会议(Joint Meeting of Pesticide Residues, JMPR)评估农药残留的急性膳食摄入方法, 个体质量在 0.025 kg 以上的水果, 并且单个质量小于大部分膳食者消耗量, 按照公式(1)~(2)计算急性膳食摄入量(national estimated short term intake, NESTI)[19–21]:

$$\mathrm{NESTI}=\frac{U\times \mathrm{HR}\times v+(\mathrm{LP}-U)\times \mathrm{HR}}{\mathrm{bw}} \quad (1)$$

$$\mathrm{HQ}=\frac{\mathrm{NESTI}}{\mathrm{ARfD}} \quad (2)$$

式中: NESTI 为急性膳食摄入量, 表示每千克体重每天实际摄入农药量的毫克数, mg/kg bw; U 为单果重量, kg, 草莓单位重量平均值为 0.035 kg; HR 为检测中获得的最大残留量(highest residue), mg/kg; v 为变异系数, 采用默认值 5[21–22]; LP 为大部分膳食者的日消耗量(large portion)(覆盖 97.5%的消费者), kg, 2~7 岁儿童 0.0658 kg, 20~50 岁成人 0.0925 kg[23–24]; bw 为人均体重(body weight), kg, 2~7 岁儿童 17.9 kg, 20~50 岁成人 63 kg[24]; HQ 为急性膳食摄入风险(hazard quotient); ARfD 为急性参考剂量(acute reference dose), mg/kg bw。

当 HQ≤1 时, 表示急性膳食摄入风险可以接受, HQ 越小, 风险越小; 反之, 当 HQ>1 时, 表示有不可接受的急性风险, HQ 越大, 风险越大。分别对成人、儿童的急性膳食摄入风险进行分析, 具体风险程度分级为: <0.5 时无风险, ≥0.5~<1.0 时摄入安全但有潜在风险, ≥1.0~<1.5 存在风险, ≥1.5~<2.0 较大风险, ≥2.0 很大风险。

(3)综合安全评估模型

使用英国综合安全评估模型(functional safety assessment, FSA)进行农药残留风险排序[25], 计算如公式(3)所示:

$$\mathrm{TS}=(A+B)\times(C+D+E)\times F \quad (3)$$

式中: TS 为风险总分(total risk); A 为毒性, 半数致死量(lethal dose 50%, LD_{50})得分; B 为每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)得分; C 为含该药物的食品占总膳食的比例; D 为农药使用频率 f; E 为是否存在高暴露人群, 由于存在高暴露人群, 取值为 3; F 为检测中值得分。具体评分标准见表 1。

1.4　数据处理

结果以两次平行测定结果的平均值表示, 使用 WPS Office 12.1.0.22529 版本表格功能进行数据统计分析与绘图, Origin 2021 进行相关性分析。

2　结果与分析

2.1　草莓检出总体情况

对 156 批次草莓样品进行了筛查分析, 检测参数包括 59 种杀虫剂、37 种杀菌剂、8 种植物生长调节剂。共检出 118 批次, 总体检出率为 75.64%。检出农药残留 19 种, 农药名称、最大残留量、残留中位值、检出率等结果见表 2, 其中检出植物生长调节剂 3 种、杀菌剂 8 种、杀虫剂 8 种, 检出率最高的是植物生长调节剂矮壮素, 最大值

表 1　风险排序中 *A*~*F* 的定义和得分

Table 1　Definition and score of *A*–*F* in risk ranking

序号	*A* (LD_{50} 值得分)		*B* (ADI 值得分)		*C*(含该药物的食品占总膳食的比例)/%		*D*(农药使用频率)/%		*E*(是否存在高暴露人群)		*F*(检测中值得分)/(mg/kg)	
	定义	得分	定义	得分	定义	得分	定义	得分	定义	得分	定义	得分
1	>15000	0	>10.000	0	<2.500	0	<2.500	0	No	0	Nd	1
2	5001~15000	1	0.101~10.000	1	2.501~20.000	1	2.500~20.000	1	Unlikely	1	<1MRL	2
3	501~5000	2	0.001~0.100	2	20.001~50.000	2	20.001~50.000	2	Likely	2	1MRL ~10MRL	3
4	51~500	3	<0.001	3	50.001~100.000	3	50.001~100.000	3	Existing	3	≥10MRL	4
5	1~50	4										
6	<1	5										

注: F 是所有样品的检测中值; 当农药没有最高残留限量值(maximum residue limit, MRL)时, 使用临时限量值代替, 仍以 MRL 表示, 此时临时限量值为 0.01 mg/kg; Nd 表示未检出, 检测结果低于检出限。

表 2 草莓中农药残留检出情况

Table 2 Detection of pesticide residues in *Fragaria ananassa*

农药名称	农药类型	残留最大值/(mg/kg)	残留中位值/(mg/kg)	检出率/%	登记情况	限量值/(mg/kg)	超标率/%
矮壮素	植物生长调节剂	0.408	0.050	46.15	未在草莓上登记	/	/
啶酰菌胺	杀菌剂	0.248	0.027	21.79	登记	3.00	0
螺螨酯	杀虫剂	0.354	0.091	12.18	未在草莓上登记	2.00	0
螺虫乙酯	杀虫剂	0.202	0.035	8.97	未在草莓上登记	1.50*	0
肟菌酯	杀菌剂	0.061	0.017	7.69	登记	1.00	0
多菌灵	杀菌剂	0.369	0.068	6.41	未在草莓上登记	/	/
噻螨酮	杀虫剂	0.104	0.024	6.41	未在草莓上登记	0.50	0
多效唑	植物生长调节剂	0.019	0.014	6.41	未在草莓上登记	/	/
啶虫脒	杀虫剂	0.406	0.017	3.21	未在草莓上登记	2.00*	0
烯酰吗啉	杀菌剂	0.123	0.012	3.21	未在草莓上登记	0.05	0.64
氯虫苯甲酰胺	杀虫剂	0.065	0.026	2.56	未在草莓上登记	1.00*	0
苯醚甲环唑	杀菌剂	0.048	0.018	2.56	登记	3.00	0
腐霉利	杀菌剂	0.125	0.088	2.56	登记	10.00	0
咪鲜胺	杀菌剂	0.041	0.031	1.28	登记	/	/
胺鲜酯	植物生长调节剂	0.033	0.028	1.28	未在草莓上登记	/	/
氯氰菊酯	杀虫剂	0.113	0.076	1.28	未在草莓上登记	0.07	0.64
呋虫胺	杀虫剂	0.015	0.014	1.28	未在草莓上登记	/	/
嘧霉胺	杀菌剂	0.016	0.016	0.64	登记	7.00	0
虫酰肼	杀虫剂	0.014	0.014	0.64	未在草莓上登记	/	/

注: *为临时限量; 限量值列中/表示我国在草莓上此种农药未设定限量值, 超标率列中/表示由于没有限量值, 所以无法计算超标率。

为 0.408 mg/kg, 检出率 46.15%。杀菌剂检出最高的是啶酰菌胺, 检出率 21.79%, 杀虫剂螺螨酯检出最高, 检出率 12.18%。与北京地区检出 44 种农药残留[12]相比, 检出种类检出率更低, 啶酰菌胺、螺虫乙酯、肟菌酯、螺螨酯检出率均较高, 说明辽宁地区与北京地区用药习惯有相似之处, 与上海奉贤区[13]相比, 杀菌剂啶酰菌胺、肟菌酯检出较高, 但在杀虫剂方面, 上海地区乙螨唑、联苯肼酯检出较高, 说明南北方用药有所不同。

样品中多残留农药检出结果见图 1, 未检出农药残留的样品占总样品数 24.36%。检出 3 种及以上农药残留的样品占样品总数的 15.39%。农药多残留情况在各地均存在, 如宝鸡 67.60%[9]、上海 27.27%[13]、郑州 32.50%[26]、绵阳 54.60%[27], 显然在草莓生长过程中, 多种用药联合防治现象普遍存在。

在检出的 19 种农药中, 仅 6 种杀菌剂在草莓上进行了登记, 其他检出农药均未在草莓上登记,未登记农药使用情况较为突出。但与班思凡等[28]研究中检出未登记农药占检出农药总数 84%的情况相比, 本研究中未登记农药检出比例显著下降, 占检出农药总数的 12.5%, 说明近年来我国推进农药登记工作有所成就。在检出的农药中咪鲜胺属于登记农药, 矮壮素属于未登记农药, 检出率高, 但都未制定限量值, 不利于监管工作的开展与推进。

2.2 限量标准评估分析

检出农药的限量值见表 2, 其中烯酰吗啉检出率 3.21%, 1 个样品超标, 超标率 0.64%。氯氰菊酯检出率 1.28%, 1 个样品超标, 超标率 0.64%。两种农药均为未在草莓上登记的农药, 在施用剂量和用药间隔上没有明确的指导, 超范围用药可能是造成超标的主要原因, 应引起监管部门的重视。

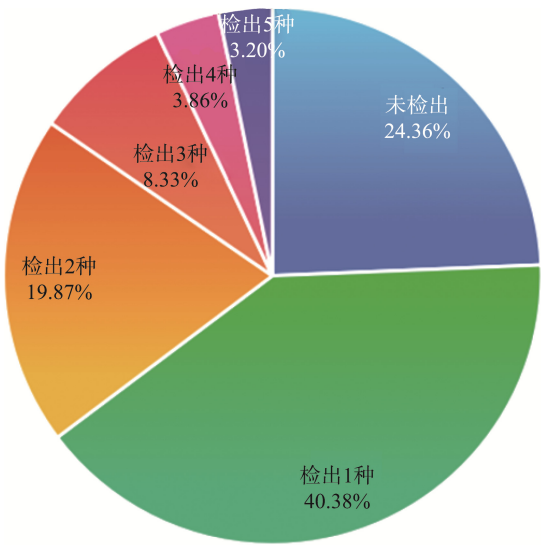


图 1 草莓中多残留农药检出结果

Fig.1 Detection results of multiple pesticide residues in *Fragaria ananassa*

2.3　急性膳食摄入风险评估分析

根据公式(1)和(2)计算急性膳食摄入风险, 具体数据见表 3。计算所得急性膳食摄入风险 HQ 具体结果见表 3。成人与儿童的 HQ 均小于 1, 表示急性膳食摄入风险可以接受。根据风险程度分级, 成人与儿童的 HQ 均小于 0.5, 属于无风险。

表 3　农药残留风险排序数据与急性膳食摄入风险评估结果

Table 3　Data on the ranking of pesticide residue risks and the results of acute dietary intake risk assessment

序号	农药名称	LD_{50}/(mg/kg)	ADI/(mg/kg bw)	ARfD[29−30]/(mg/kg bw)	HQ 儿童	HQ 成人
1	矮壮素	670	0.05	0.090	0.0520	0.01700
2	啶酰菌胺	>5000	0.04	不需要	/	/
3	螺螨酯	>2500	0.01	不需要	/	/
4	螺虫乙酯	>5000	0.05	1.000	0.0023	0.00070
5	肟菌酯	>5000	0.04	0.500	0.0014	0.00040
6	多菌灵	5000~15000	0.03	0.020	0.2100	0.06800
7	噻螨酮	>5000	0.03	不需要	/	/
8	多效唑	2000	0.10	0.100	0.0024	0.00070
9	啶虫脒	146~217	0.07	0.025	0.1900	0.06000
10	烯酰吗啉	3900	0.20	0.600	0.0024	0.00080
11	氯虫苯甲酰胺	>5000	2.00	不需要	/	/
12	苯醚甲环唑	1453	0.01	0.160	0.0034	0.00110
13	腐霉利	6800	0.10	0.012	0.1200	0.03800
14	咪鲜胺	1600	0.01	0.025	0.0190	0.00610
15	胺鲜酯	8633~16570	0.02	不需要	/	/
16	氯氰菊酯	251	0.02	0.005	0.2600	0.08300
17	呋虫胺	2450	0.20	1.000	0.0002	0.00006
18	嘧霉胺	4061~5358	0.20	1.000	0.0002	0.00006
19	虫酰肼	>5000	0.02	0.900	0.0002	0.00005

注: ARfD 标注为不需要, 表示根据 JMPR 评估, 该农药无 ARfD 需求。/表示不需要计算急性膳食摄入风险。

2.4　农药风险排序

使用英国 FSA 模型根据公式(3)进行农药残留风险排序, 其中 *C*、*D*、*E* 根据表 1 定义赋分, *F* 根据表 2 中位值数据赋分, *A*、*B* 根据表 3 中数据赋分, 具体结果见表 4。根据得分情况分级, 小于等于 30 分为低风险农药, 30~50 分(不含 30 分)为中风险农药, 大于 50 分为高风险农药。其中, 氯氰菊酯、矮壮素、咪鲜胺属于高风险农药, 应引起重点关注。在风险排序中, 氯氰菊酯位列第一, 其高风险特征主要与其 LD_{50} 偏高, 检出值超出 MRL 有关; 矮壮素和咪鲜胺并列第二位, 尽管二者检出中位值偏低, 但未设定 MRL, 需采用临时残留限量(0.01 mg/kg)代替计算, 进而导致其风险偏高。啶虫脒、多菌灵、多效唑、胺鲜酯、呋虫胺、虫酰肼、螺螨酯、苯醚甲环唑属于中风险农药。其中除苯醚甲环唑外, 其他中风险农药均未在草莓上登记使用, 属于超范围用药。此外多菌灵、多效唑、胺鲜酯、呋虫胺、虫酰肼均没有制定相应的限量值, 这给监管工作带来了潜在的风险。在低风险农药中烯酰吗啉属于未在草莓上登记农药超范围使用, 且存在超标现象, 需引起相关注意。

表 4　农药残留风险排序结果

Table 4　Risk ranking results of pesticide residues

序号	农药名称	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	总分	排序
1	矮壮素	2	2	1	1	3	3	60	2
2	啶酰菌胺	1	2	1	1	3	2	30	12
3	螺螨酯	2	2	1	1	3	2	40	10
4	螺虫乙酯	1	2	1	1	3	2	30	12
5	肟菌酯	1	2	1	1	3	2	30	12
6	多菌灵	1	2	1	1	3	3	45	5
7	噻螨酮	1	2	1	1	3	2	30	12
8	多效唑	2	1	1	1	3	3	45	5
9	啶虫脒	3	2	1	1	3	2	50	4
10	烯酰吗啉	2	1	1	1	3	2	30	12
11	氯虫苯甲酰胺	1	1	1	1	3	2	20	18
12	苯醚甲环唑	2	2	1	1	3	2	40	10
13	腐霉利	1	1	1	1	3	2	20	18
14	咪鲜胺	2	2	1	1	3	3	60	2
15	胺鲜酯	1	2	1	1	3	3	45	5
16	氯氰菊酯	3	2	1	1	3	3	75	1
17	呋虫胺	2	1	1	1	3	3	45	5
18	嘧霉胺	2	1	1	1	3	2	30	12
19	虫酰肼	1	2	1	1	3	3	45	5

2.5 品质指标检测结果

草莓品质指标检测结果如表 5 所示，VC 含量范围在 11.6~60.7 mg/100 g，可溶性糖含量范围在 4.99%~15.98%，果胶含量范围在 13.3~52.5 g/kg，蛋白质含量范围在 2.28~77.30 mg/100 g，可滴定酸含量范围在 0.04%~0.11%，可溶性固形物含量范围在 6.60%~11.70%，硬度在 0.29~1.20 kg/cm^2。本研究结果与毛薇等[31]研究结果比较，可溶性糖与可溶性固形物检测结果含量范围相近，但可滴定酸和硬度差别较大；研究结果与强浩然等[32]研究结果比较，硬度、可溶性固形物、蛋白含量范围相近，但 VC、可溶性糖、可滴定酸结果差异较大，这可能与品种、土壤状况、管理水平有关，需要进一步进行验证。

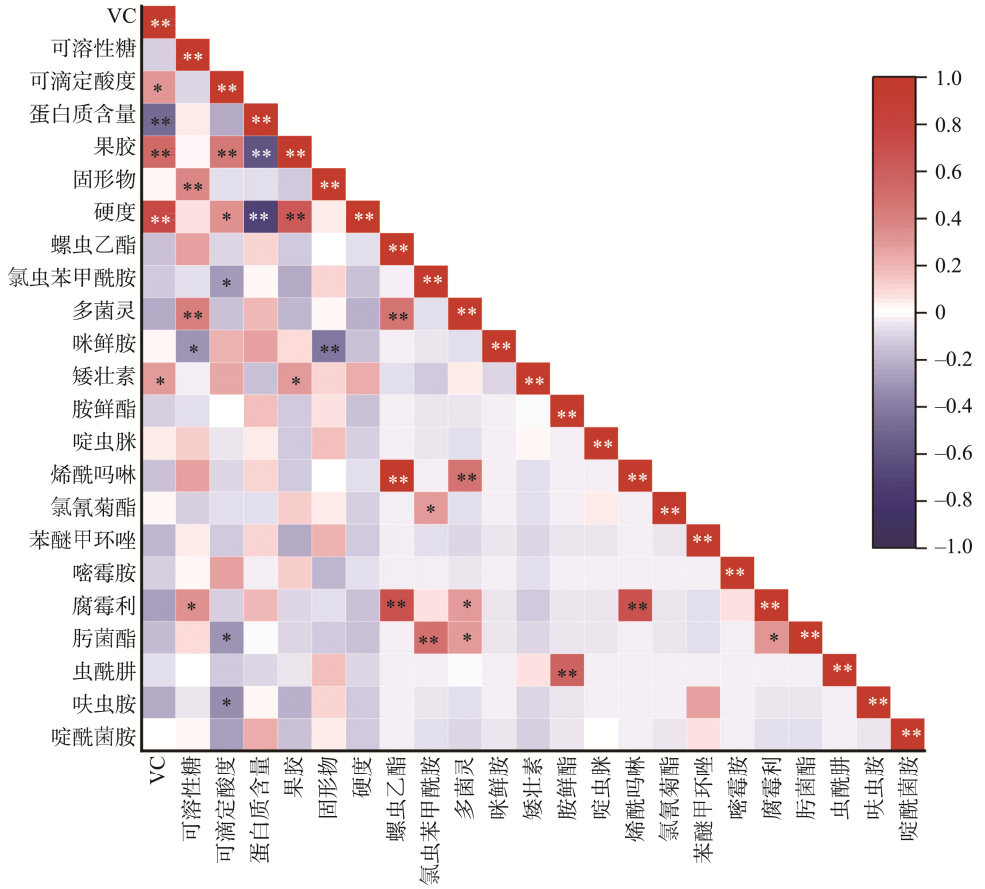
2.6 农药胁迫与品质的相关性

农药是控制病虫害、提高产量的有效手段，同时也可能对品质产生不良影响[33]，因此本研究考察了农药残留与品质之间的相关性，结果如图 2。采用相关性分析检验各指标间的关联程度，以 $P<0.05$ 为显著相关、$P<0.01$ 为极显著相关作为判断标准，其中红色为正相关，蓝色为负相关。结果表明，VC 与矮壮素显著正相关($P<0.05$)，可溶性糖与腐霉利显著正相关、与多菌灵极显著正相关、与咪鲜胺显著负相关($P<0.05$ 或 $P<0.01$)，可滴定酸与氯虫苯甲酰胺、呋虫胺和肟菌酯显著负相关($P<0.05$)，果胶含量与矮壮素显著正相关($P<0.05$)，固形物与咪鲜胺极显著负相关($P<0.01$)，蛋白、硬度与农药残留无显著相关关系。品质指标之间也存在一定的相关性，其中 VC 与硬度、果胶极显著正相关，与可滴定酸显著正相关，与蛋白极显著负相关($P<0.05$ 或 $P<0.01$)；可溶性糖与固形物极显著正相关($P<0.01$)；可滴定酸与硬度显著正相关($P<0.05$)，与果胶极显著正相关($P<0.01$)；果胶与硬度极显著正相关($P<0.01$)。

表 5 草莓中品质指标检测结果

Table 5 Detection results of quality indicators in *Fragaria ananassa*

品质指标	最小值	最大值	平均值
VC/(mg/100 g)	11.6	60.7	30.9
可溶性糖/%	4.99	15.98	11.47
果胶/(g/kg)	13.3	52.5	26.8
蛋白质/(mg/100 g)	2.28	77.30	34.70
可滴定酸/%	0.04	0.11	0.07
可溶性固形物/%	6.60	11.70	9.72
硬度/(kg/cm^2)	0.29	1.20	0.69



注：*表示显著相关($P<0.05$)；**表示极显著相关($P<0.01$)。

图 2 农药胁迫与品质相关性

Fig.2 Correlation between pesticide stress and quality

3　讨论与结论

草莓农药残留整体情况向好, 但检出的螺螨酯、螺虫乙酯、噻螨酮、啶虫脒、氯虫苯甲酰胺、氯氰菊酯、呋虫胺、虫酰肼等杀虫剂均未登记, 存在草莓生产过程中农药超范围使用的潜在风险。由于杀虫剂登记较少, 共 16 种(吡虫啉、联苯肼酯、乙螨唑、阿维菌素、氟啶虫酰胺、苦参碱、依维菌素、硫酰氟、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、丁氟螨酯、啶虫・氟酰脲、吡蚜・噻虫胺、氟吡呋喃酮、双丙环虫酯、d-柠檬烯、藜芦根茎提取物), 一方面建议加快低毒杀虫类农药在草莓上的登记; 另一方面推荐使用苦参碱类天然植物提取物, 主要针对草莓蚜虫、粉虱等刺吸式口器害虫, 作用迅速, 且不会干扰草莓碳代谢过程; 还可应用苏云金杆菌、白僵菌、绿僵菌等豁免制定最大残留限量标准的农药, 此类农药残留风险极低, 可有效替代对品质有潜在影响的化学杀虫剂。

农药胁迫与品质指标之间存在相关性, 这种关系应引起重视。苏杭等[34]分析了国内外植物生长调节剂对水果外观、内在品质的影响研究现状, 发现氯吡脲降低了草莓中的 VC 含量, 而芸苔素内酯、GA3、赤-芸复配剂、胺鲜酯等的使用增加了草莓中 VC 的含量, 本研究发现矮壮素残留水平与 VC 含量显著正相关, 其作用机制及合理施用方式值得进一步研究。由于矮壮素未在草莓上登记, 替代农药的选择可能成为下一步的研究重点。王鹏丽等[35]研究发现调环酸钙对苹果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、VC 含量有正面影响, 适当的喷施浓度, 有利于提高果实品质。而调环酸钙作为一种控旺剂, 具有低毒、半衰期短、环境友好、对下茬作物无影响等优势, 有望代替矮壮素成为新的控旺药剂使用。

氯虫苯甲酰胺、肟菌酯、呋虫胺残留与品质指标可滴定酸, 咪鲜胺与可溶性糖、固形物含量存在负相关性, 矮壮素与 VC、果胶, 多菌灵与 VC, 腐霉利残留与可溶性糖含量之间存在正相关性, 可作为调节品质参数时农药使用的选择参考指标。后续可通过设计不同试验, 观察与品质指标相关的合成关键酶活性, 获得更多的数据验证相关性的内在机制。本研究样本仅来自辽宁, 品质参数可能受品种、气候、栽培管理等多因素影响, 相关性结果需进一步验证, 建议仅供参考。

参考文献

[1] 李薇, 王哲, 刘妍, 等. 我国草莓产业发展新形势、存在的问题及建议[J]. 中国南方果树, 2025, 54(2): 240–248.
LI W, WANG Z, LIU Y, *et al*. New situation, problems and recommendations of the development of strawberry industry in China [J]. South China Fruits, 2025, 54(2): 240–248.

[2] 李建波, 郝雨. 我国草莓产业竞争力评价与时空演变分析[J]. 中国南方果树, 2025, 54(5): 218–233.
LI JB, HAO Y. Evaluation of competitiveness and analysis of space-time evolution of strawberry industry in China [J]. South China Fruits, 2025, 54(5): 218–233.

[3] 孟庆珍, 尹双. 丹东市草莓产业发展现状、问题及对策分析[J]. 北方园艺, 2025(7): 142–148.
MENG QZ, YIN S. Development status, problems and countermeasures analysis of strawberry industry in Dandong City [J]. Northern Horticulture, 2025(7): 142–148.

[4] 孙瑞, 常琳琳, 李双桃, 等. 国家桃草莓种质资源圃(北京)的草莓种质资源收集保存与创新利用进展[J]. 果树学报, 2025, 42(11): 2566–2576.
SUN R, CHANG LL, LI ST, *et al*. Progress of collection, conservation and innovative utilization of straw berry germplasm resources in the National Peach and Strawberry Germ plasm Resources Repository (Beijing) [J]. Journal of Fruit Science, 2025, 42(11): 2566–2576.

[5] 庞夫花, 袁华招, 许林林, 等. 国家桃草莓种质资源圃(南京)的草莓种质资源收集保存与创新利用进展[J]. 果树学报, 2025, 42(11): 2693–2703.
PANG FH, YUAN HZ, XU LL, *et al*. Progress of collection, conservation and utilization of strawberry resources in the National Peach and Strawberry Germplasm Repository (Nanjing) [J]. Journal of Fruit Science, 2025, 42(11): 2693–2703.

[6] EWG Science Team. EWG's 2025 shopper's guide to pesticides in produce™ [EB/OL]. (2025-06-11) [2025-12-15]. https: //www.ewg.org/foodnews/summary.php

[7] EL-KASEM SAA, NAIEL MHF, MUBARAK M, *et al*. Assessment of pesticide residues in vegetables selected from different Egyptian governorates [J]. Highlights in BioScience, 1–13. DOI: 10.36462/h.biosci.202301

[8] GORDAN H, MAHDAVI V, BASIJ M, *et al*. Optimized QuEChERS-HPLC-MS/MS method for pesticide residue detection in strawberries and associated health risks [J]. Journal of Agriculture and Food Research, 1–15. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.101907

[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.
ZHENG W, YAN HL. Risk assessmentof pesticide residuesin strawberriesin 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 Technology, 2023, 33(3): 361–363.

[11] 郑碧霞. 莆田市涵江区草莓农药残留状况分析及膳食风险评估[J]. 基层农技推广, 2024(3): 106–111.
ZHENG BX. Pesticide residue analysis and dietary risk assessment of strawberries in Hanjiang District, Putian City [J]. Primary Agricultural Technology Extension, 2024(3): 106–111.

[12] 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.

[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*. Monitoring and risk assessment of multi-pesticide residues in strawberries in Fengxian District, Shanghai [J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2025, 41(1): 80–87.

[14] CHU Y, TONG Z, DONG X, *et al*. Simultaneous determination of 98 pesticide residues in strawberries using UPLC-MS/MS and GC-MS/MS [J]. Microchemical Journal, 1–6. DOI: 10.1016/j.microc.2020.104975

[15] 陶俊杰, 陈双双, 钟文奇, 等. 植物生长调节剂对金奉猕猴桃果实品质与果皮厚度的影响[J]. 果树学报, 2025, 42(1): 123–132.
TAO JJ, CHEN SS, ZHONG WQ, *et al*. Effects of plant growth regulators on fruit quality and peel thickness of Jinfeng kiwifruit [J]. Journal of Fruit Science, 2025, 42(1): 123–132.

[16] 李瑞, 黎振源, 洪先龙, 等. 植物生长调节剂对水果品质的影响及机理研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(14): 399–411
LI R, LI ZY, HONG XL, *et al*. Research progress on effects and mechanisms of plant growth regulators on fruit quality [J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(14): 399–411.

[17] 王琦, 苏杭, 王怀松, 等. 基于电子鼻与电子舌技术评价氯吡脲对甜瓜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 24–30.
WANG Q, SU H, WANG HS, *et al*. Effects of forchlorfenuron on quality of melon based on electronic nose and electronic tongue [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(14): 24–30.

[18] 苏杭, 王怀松, 金芬, 等. 植物生长调节剂噻苯隆对甜瓜品质的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(16): 3095–3105.
SU H, WANG HS, JIN F, *et al*. Effects of plant growth regulators thidiazuron on melon quality [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(16): 3095–3105.

[19] 付岩, 胡晨雷, 张亮, 等. 苯醚甲环唑、氟唑菌酰胺及其代谢物在葡萄中的残留行为及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(19): 123–133.
FU Y, HU CL, ZHANG L, *et al*. Residues behavior and dietary risk assessment of difenoconazole, fluxapyroxad and its metabolites in *Vitis vinifera* L. [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(19): 123–133.

[20] 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.

[21] 高仁君, 陈隆智, 张文吉. 农药残留急性膳食风险评估研究进展[J]. 食品科学, 2007, 28(2): 363–368.
GAO RJ, CHEN LZ, ZHANG WJ. Review on pesticide residues acute dietary risk assessment [J]. Food Science, 2007, 28(2): 363–368.

[22] FORKUOH F, BOADI NO, BORQUAYE LS, *et al*. Risk of human dietary exposure to organochlorine pesticide residues in fruits from Ghana [J]. Scientific Reports, 1–5. DOI: 10.1038/s41598-018-35205-w

[23] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2011 年全新修订)[M]. 拉萨: 西藏人民出版社, 2010.
Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for chinese residents (2011 revised edition) [M]. Lhasa: Xizang People's Publishing House, 2010.

[24] 吴永宁, 赵云峰, 李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
WU YN, ZHAO YF, LI JG. The fifth China total diet study [M]. Beijing: Science Press, 2018.

[25] 王建忠, 郭春景, 吴限鑫. 综合安全评估(FSA)法在芹菜农药残留安全评估中的应用[J]. 中国蔬菜, 2020(3): 61–66.
WANG JZ, GUO CJ, WU XX. Application of FSA in safety assessment of celery pesticide residue [J]. China Vegetables, 2020(3): 61–66.

[26] 罗俊霞, 赵建波, 于玉红, 等. 基于监测数据的郑州市草莓膳食摄入风险评估[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2023, 44(4): 98–106.
LUO JX, ZHAO JB, YU YH, *et al*. Risk assessment of strawberry dietary in take in Zhengzhou based on risk monitoring [J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2023, 44(4): 98–106.

[27] 王立东, 向发椿, 陈晓林, 等. 绵阳市草莓主产区生产用药调查及农药残留检测分析[J]. 农药科学与管理, 2024, 45(5): 15–20.
WANG LD, XIANG FC, CHEN XL, *et al*. Investigation and analysis of pest control and pesticide residue on strawberry in Mianyang City [J]. Pesticide Science and Administration, 2024, 45(5): 15–20.

[28] 班思凡, 金芬, 李春梅, 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, JIN F, LI CM, *et al*. Dietary risk assessments of pesticide residues in greenhouse-grown strawberry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 212–220.

[29] LEWIS KA, TZILIVAKIS J, WARNER D, *et al*. An international database for pesticide risk assessments and management [J]. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2016, 22(4): 1050–1064.

[30] University of Hertfordshire. Pesticides properties database [EB/OL]. (2025-12-20) [2025-12-20]. http: //sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/atoz.htm

[31] 毛薇, 刘键晔, 孙家波, 等. 10 个草莓品种的果实品质分析与综合评价[J]. 山东农业科学, 2025, 57(9): 41–50.
MAO W, LIU JY, SUN JB, *et al*. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 10 strawberry varieties [J]. Shandong Agricultural Scienes, 2025, 57(9): 41–50.

[32] 强浩然, 王天乐, 徐炜, 等. 十一种草莓新品种引进筛选研究[J]. 北方园艺, 2020(9): 39–45.
QIANG HR, WANG TL, XU W, *et al*. Studyof intraduction and screening of eleven new strawberry varieties [J]. Northern Horticulture, 2020(9): 39–45.

[33] 李栋, 李佳奇, 连文超, 等. 农药胁迫和硒元素等干预对作物品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(19): 6422–6431.
LI D, LI JQ, LIAN WC, *et al*. Effects of pesticide stress, selenium and other elements intervention on crop quality [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(19): 6422–6431.

[34] 苏杭, 张鹏, 李慧, 等. 我国常用植物生长调节剂对水果品质影响研究[J]. 农产品质量与安全, 2017(2): 44–48.
SU H, ZHANG P, LI H, *et al*. Effect of plant growth regulators in common use on fruit quality in China: A review [J]. Quality and Safety of Agro-products, 2017(2): 44–48.

[35] 王鹏丽, 庄丽萍, 胡雯, 等. 3 种植物生长调节剂对'秦帅'苹果新梢生长及果实品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2025, 53(12): 1–8.
WANG PL, ZHUANG LP, HU W, *et al*. Effects of three plant growth regulators on new shoot growth and fruit quality of 'Qinshuai' apple [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2025, 53(12): 1–8.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)