

张忠祥, 沈琦, 康佳乐, 等. 不同种植方式西瓜果实农药残留的比较 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 265–271. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090365

ZHANG Zhongxiang, SHEN Qi, KANG Jiale, et al. Comparison of Pesticide Residues in Watermelon Fruits with Different Planting Methods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 265–271. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090365

· 分析检测 ·

不同种植方式西瓜果实农药残留的比较

张忠祥^{1,2}, 沈琦^{1,2}, 康佳乐^{1,2}, 孙涛², 马彦鹏³, 陶永霞^{1,*}, 王成^{4,*}

(1.新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052;

2.新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 新疆乌鲁木齐 830091;

3.伊犁师范大学生物与地理科学学院, 新疆伊宁 835000;

4.新疆农业科学院科研管理处, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要:为明确不同栽培种植方式产出西瓜果实的农药残留状况及其差异性, 本文以大棚、小拱棚、露地 3 种植方式产出的 65 份西瓜样品为研究对象, 在完成样品中 60 种农药残留定量分析的基础上, 通过慢性、急性膳食风险分析、风险排序等技术方法, 探讨了 3 种植方式产出西瓜果实农药残留的差异性。结果表明: 部分样品存在残留农药的现象, 但其慢性和急性膳食风险均不高; 3 种植方式中, 露地种植方式样品残留农药种类最多, 为 9 种, 且极低风险样品占比也低于其余 2 种方式, 为 76%; 此外, 3 种植方式需重点关注的风险相对较高残留农药种类不同, 大棚为三唑磷, 小拱棚为苯醚甲环唑、丙溴磷、氯氟氰菊酯, 露地种植为三唑磷、丙溴磷、咪鲜胺。综合以上分析可以得出: 3 种植方式中, 露地种植产出西瓜残留农药风险相对较高, 宜根据风险相对较高残留农药种类的差异, 分别加强监管。

关键词:西瓜, 种植方式, 农药残留, 膳食风险, 差异性分析

中图分类号: TS201.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)15-0265-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021090365



本文网刊:

Comparison of Pesticide Residues in Watermelon Fruits with Different Planting Methods

ZHANG Zhongxiang^{1,2}, SHEN Qi^{1,2}, KANG Jiale^{1,2}, SUN Tao², MA Yanpeng³,
TAO Yongxia^{1,*}, WANG Cheng^{4,*}

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Institute of Agricultural Quality Standard and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

3. College of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining 835000, China;

4. Administration of Scientific Research, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: In order to clarify the status of pesticide residues in watermelon fruits produced by different cultivation methods and their differences, this paper took 65 watermelon samples produced in three cultivation methods: Large shed, small arch shed, and open field as the research object, and 60 pesticide residues in the completed samples. On the basis of quantitative analysis, through technical methods such as chronic and acute dietary risk analysis and risk ranking, the differences of pesticide residues in watermelon fruits produced by the three planting methods were discussed. The results showed that: Some samples had residual pesticides, but their chronic and acute dietary risks were not high; among the three planting methods, the open field planting method had the largest number of residual pesticides, with 9 types, and the proportion of

收稿日期: 2021-10-11

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助; 农产品质量安全与优质化业务技术委托任务 (CSQA-2020-05-13); 新疆维吾尔自治区天山雪松计划 (2017XS07)。

作者简介: 张忠祥 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品质量与安全, E-mail: zzx726301770@163.com。

*** 通信作者:** 陶永霞 (1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: taoyongxia2010@163.com。

王成 (1971-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品质量与安全及其检测技术, E-mail: wangchengxj321@sina.com。

very low risk samples was also low. In the other two methods, it reached 76%; in addition, the three types of planting methods need to focus on the relatively high risk of different types of residual pesticides. The green house used triazophos, and the small arch house used difenoconazole, profenofos, and chlorofluoro cyanurate. Pyrethrin was grown in the open as triazophos, profenofos, and prochloraz. Based on the above analysis, it could be concluded that among the three planting methods, the risk of pesticide residues in watermelon grown in open field was relatively high, and supervision should be strengthened according to the differences in the types of pesticide residues with relatively high risks.

Key words: watermelon; cultivation method; pesticide residue; dietary risk; difference analysis

新疆一直以来都是我国重要的西瓜主产省份,年产量位居全国各省前列^[1],且逐步形成了大棚、小拱棚、露地等多种种植方式并举的局面,支撑果实分时段、长时供给的多元化种植模式。但在果蔬种植时常施用农药,可能会导致土壤和水污染,还会附着在作物上,被作物吸收,并转移给人类^[2],因此,分析不同种植方式产出西瓜果实的残留农药种类、评估其风险差异性,有利于支撑监管针对性的不断提升。

在上述大背景下,已有学者开展了不同种植方式产出果实残留农药种类及其风险差异性的研究与评估,但其评估结果有所不同,这主要体现在:相关学者对不同种植模式下的小白菜、青菜、西红柿、芥蓝、萝卜等^[3-7]蔬菜的农药残留情况进行了研究,结果表明:与露地种植相比大棚种植环境下,作物中残留农药消解速率更快,残留量更少;与之不同,相比较于大棚,也见露地种植白菜、西兰花中残留农药的降解速率更快,残留水平更低的报道^[8-9]。作物中农药残留问题备受大众关注,目前,关于不同种植模式下农药检出种类及其风险差异性的研究多集中在蔬菜作物中,对于不同种植模式下西瓜果实中检出农药种类及其风险差异性的研究报道尚不多见,存在不同种植方式产出西瓜果实残留农药种类及其风险差异性不明、风险相对较高等不足,难以为我国不同种植模式下西瓜果实中农药残留的差异性比较,提供完备的理论支撑。因此,研究不同种植模式下西瓜果实中农药残留水平及其膳食风险的差异性,利于为西瓜果实农药残留水平的科学、精准监管提供支撑,进而对我国优势农产品西瓜果实农药残留水平的科学判定产生积极作用。

本文以 2019 年同产区大棚、小拱棚、露地 3 种植方式产出的 65 份西瓜样品作为研究对象,参照 GB/T20769-2008、NY/T761-2008,完成了研究对象中 60 种农药残留的定量分析,进而综合急性、慢性膳食风险和风险排序等技术方法,探讨了 3 种植方式产出西瓜农药残留水平及其膳食风险的差异性,以期为区域西瓜果实农药残留水平的科学、精准监管提供支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

西瓜 共计 65 份,其中大棚种植样品 20 份,小拱棚种植样品 20 份,露地种植样品 25 份,按照 GB/T8855-2008 进行样品采集,2019 年 4 月至 10 月

完成样品采集工作,按照四分法,切分、匀浆处理后放在-18℃冰柜中冷冻,2019 年 11 月前完成各项指标的测定。阿维菌素、百菌清、吡虫啉、啉虫脒、哒螨灵、敌敌畏、毒死蜱、甲基对硫磷、甲胺磷、甲拌磷、甲基异柳磷、甲氰菊酯、甲萘威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、对硫磷、六六六、氧乐果、水胺硫磷、克百威、涕灭威、氟虫腈、乐果、三唑磷、杀螟硫磷、丙溴磷、马拉硫磷、亚胺硫磷、伏杀硫磷、辛硫磷、二嗪磷、三氯杀螨醇、氯氰菊酯、氰戊菊酯、溴氰菊酯、联苯菊酯、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯、氟胺氰菊酯、氟氰戊菊酯、灭多威、灭幼脲、除虫脲、虫螨腈、噻虫嗪、氟啶脲、异菌脲、五氯硝基苯、三唑酮、腐霉利、乙烯菌核利、多菌灵、苯醚甲环唑、啉霉胺、烯酰吗啉、咪鲜胺、啉菌酯、二甲戊灵、腈菌唑、氯吡脲等 60 种农药标准品 国家标准物质中心,质量分数与规格(1000 mg/L、1 mL);所用试剂正己烷、氯化钠(分析纯)、甲酸(专业分析级)、丙酮(分析纯) 北京市化工厂;甲醇、乙腈 色谱纯,美国 Fisher Scientific 公司;微孔滤膜 0.22 μm 北京振翔工贸有限公司;水为超纯水。

R-210 型旋转蒸发仪 瑞士步琦公司;弗罗里硅砂柱(1 g/6 mL)、氨基固相萃取小柱(1 g/6 mL) 迪马科技有限公司;N-EVAP112 型氮吹仪 美国 Organomation 公司;XevoTQ 型超高效液相色谱-串联质谱仪 美国沃特世公司;7890B 型气相色谱仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 农药残留定量方法 根据 GB/T 20769-2008、NY/T 761-2008 对 60 种农药残留进行定量分析。

1.2.2 西瓜农药残留急性、慢性膳食摄入风险研究方法 为评估比较大棚、小拱棚和露地种植西瓜农药残留水平的差异性,采用急、慢性膳食摄入风险分析进行相应的评估。根据 GB 2763—2019^[10],风险因子 ADI 值采用国家标准《食品中农药最大残留限量》规定值,查阅文献得^[11]:西瓜人均日消费量(F)为 0.14 kg/d;人体体重(bw)取 60 kg;根据 ESTI 表查询可知,西瓜大份餐(LP)为 2.5422 kg/d,变异因子(V)为 3;根据调研,西瓜单果重量(U)取 5 kg,根据以上结果分别赋分,可计算出样本的慢性和急性膳食风险,计算公式如下所示:

$$\%ADI = \frac{STMR \times F}{bw} / ADI \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

$$ESTI = \frac{U \times HR \times V + (LP - U) \times HR}{bw}$$

式 (2)

$$\%ARFD = \frac{ESTI}{ARFD} \times 100$$

式 (3)

式中, ADI 表示每日允许摄入量, mg/kg; STMR 表示样品检出农残平均值, mg/kg; F 表示日均消费量, kg/d; bw 表示人体体重, kg; ESTI 表示国际估算短期摄入量, kg; U 表示单个西瓜重量, kg; HR 表示检出农药最高残留量, mg/kg; V 表示变异因子; LP 表示大份餐, kg; ARFD 表示急性参考剂量, mg/kg。%ADI、%ARFD 值越大, 表明样品膳食摄入风险越大; 与之相反, %ADI、%ARFD 值越小, 表明样品膳食摄入风险越小。

1.2.3 风险排序研究方法 根据英国兽药残留委员会的风险排序矩阵, 对西瓜样品中检出的农药残留进行风险排序。各农药残留风险得分(S)和西瓜样品风险指数(RI)的计算公式如式(4)~(6)。风险得分以该西瓜样品中所有农药残留风险得分的平均值计, 风险得分越高, 残留风险也越高。

$$FOD = \frac{T}{P} \times 100$$

式 (4)

$$S = (A + B) \times (C + D + E + F)$$

式 (5)

$$RI = \sum_{i=1} S - TS_0$$

式 (6)

式中: FOD 表示种植过程农药使用频率, 根据调研及农药安全使用国家标准; T 为西瓜农药使用次数, 3 次; P 为新疆西瓜果实发育日数, 30 d; A 为毒性得分; B 为毒效得分; C 为西瓜膳食比例, 0.14; D 为农药使用频率得分; E 为高暴露人群得分; F 为残留水平得分; TS₀ 表示 n 种农药均未检出的样品得分。根据赋分标准(表 1)计算各农药残留风险得分及西瓜样品风险指数, 该指数越大, 风险越大。

1.2.4 质量控制 检测农药残留方法的加标回收率在 75%~120%, 检出限范围在 0.09~8.25 μg/kg。

1.3 数据处理

采用 Graphpad 8.0.2、Excel 2019 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 样品残留农药分析结果

大棚、小拱棚和露地西瓜样品中, 分别残留农药 5 种、8 种和 9 种, 根据中国农药信息网查询可得

(<http://www.chinapesticide.org.cn/>), 大棚中残留中毒农药为三唑磷, 小拱棚中残留中毒农药为丙溴磷、氯氟氰菊酯, 露地中残留中毒农药为三唑磷和丙溴磷, 其余检出农药均为低毒农药。残留农药样品所占比例如图 1 所示, 从图中可以看出: 三种栽培种植方式均检出多菌灵、啉虫脒、噻虫嗪、啞霉胺 4 种农药, 65 份西瓜样品中啉虫脒检出率为(37.6%)位于第一位, 其次为啞霉胺(22.3%)、噻虫嗪(11.3%)和多菌灵(10.6%)。

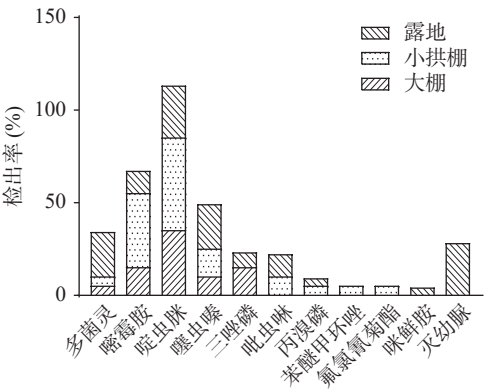


图 1 残留农药比例
Fig.1 Proportion of residual pesticides

不同种植方式产出西瓜农药残留水平有所不同, 大棚种植产出样品各农药残留水平为: 0.00~0.13 mg/kg, 小拱棚种植产出样品各农药残留水平为: 0.00~0.21 mg/kg, 露地种植产出样品各类农药残留水平为 0.00~0.24 mg/kg, 均低于各类农药所对应的最大残留限量。国家标准^[10]中各农药限量值为: 多菌灵 2 mg/kg、啉虫脒 2 mg/kg、噻虫嗪 0.2 mg/kg、吡虫啉 0.2 mg/kg、苯醚甲环唑 0.1 mg/kg、氯氟氰菊酯 0.05 mg/kg、咪鲜胺 0.1 mg/kg, 对于啞霉胺、三唑磷、丙溴磷和灭幼脲这四种农药, 但目前国标中并未单独针对西瓜制定残留限量标准, 建议加快相关农药 MRLs 的制定。

2.2 西瓜样品农药风险分析

2.2.1 西瓜样品残留农药慢性、急性膳食摄入风险结果分析 根据公式(1), 计算出西瓜样品各残留农药的 %ADI 值, 结果如表 2 所示: 大棚、小拱棚和露地种植西瓜残留农药的 %ADI 值分别在 0.0002%~0.0231%、0.0002%~0.0356%、0.0000%~0.0482% 之

表 1 风险排序赋分标准
Table 1 Evaluation criteria of risk ranking

指标	指标值	得分	指标值	得分	指标值	得分	指标值	得分
毒性得分	低毒	2	中毒	3	高毒	4	剧毒	5
毒效得分	>1×10 ⁻²	0	1×10 ⁻⁴ ~1×10 ⁻²	1	1×10 ⁻⁶ ~1×10 ⁻⁴	2	<1×10 ⁻⁶	3
膳食比例得分	<2.5	0	2.5~20	1	20~50	2	50~100	3
农药使用频率得分	<2.5	0	2.5~20	1	20~50	2	50~100	3
高暴露人群得分	无	0	不太可能	1	有可能	2	无相关数据	3
残留水平得分	未检出	1	<限量值	2	≥限量值	3	≥10倍限值	4

表 2 慢性膳食摄入风险分析结果

Table 2 Risk analysis of chronic dietary intake

农药种类	多菌灵	啉霉胺	啉虫脒	噻虫嗪	三唑磷	丙溴磷	吡虫啉	咪鲜胺	灭幼脲	苯醚甲环唑	氯氟氰菊酯
ADI(mg/kg·bw)	0.03	0.2	0.07	0.08	0.001	0.03	0.06	0.01	1.25	0.01	0.02
大棚	STMR(mg·kg ⁻¹)	0.0002	0.0002	0.004	0.0078	0.0001	ND	ND	ND	ND	ND
	%ADI(%)	0.0014	0.0002	0.0135	0.0227	0.0231	ND	ND	ND	ND	ND
小拱棚	STMR(mg·kg ⁻¹)	0.0008	0.0003	0.0084	0.0122	ND	0	0.0013	ND	0	0.0011
	%ADI(%)	0.0066	0.0004	0.0279	0.0356	ND	0.0002	0.005	ND	0.0008	0.0134
露地	STMR(mg·kg ⁻¹)	0.0053	0.0001	0.0081	0.0135	0	0.0001	0.0124	0	0.0002	ND
	%ADI(%)	0.0413	0.0001	0.0271	0.0394	0.0046	0.0004	0.0482	0	ND	ND

注: ND表示未检出。

间不等,每种残留农药 %ADI 值均远小于 100%,这说明:样品残留农药的慢性膳食摄入风险在可接受范围内。

啉霉胺和灭幼脲未规定急性参考剂量,根据公式(2)、公式(3)可计算出其余 9 种残留农药对摄食人群的急性膳食风险值 %ARFD。如表 3 所示,大棚、小拱棚和露地种植西瓜样品残留农药的 %ARFD 值分别在 0.15%~19.21%、0.01%~15.13%、0.03%~21.15% 之间不等,其中,大棚种植样品中三唑磷、小拱棚种植样品中啉虫脒、露地种植样品中啉虫脒急性膳食摄入风险均高于其他残留农药,%ARFD 值分别为 19.21%、15.13%、21.15%。大棚、小拱棚和露地检出 9 种残留农药的 %ARFD 值均远低于 100%,说明样品中残留农药的急性膳食风险也都在可接受范围内。

2.2.2 残留农药风险排序分析 对大棚、小拱棚和露地种植西瓜样品中残留农药进行风险排序,结果如图 2 所示。根据风险排序结果可以看出,大棚、小拱棚和露地种植西瓜样品中需关注的风险相对较高的残留农药种类也有所不同。其中,大棚种植西瓜需关注风险相对较高残留农药为三唑磷(24.62 分);小拱棚风险相对较高残留农药为:苯醚甲环唑(18.15 分)、丙溴磷(18.15 分)、氯氟氰菊酯(18.15 分);露地种植西瓜需关注的风险相对较高残留农药为丙溴磷(18.12 分)、咪鲜胺(18.12 分)以及三唑磷(24.82 分)。

此外,从图 2 中还可以看出:忽略种植方式,三

唑磷在所有残留农药中,风险得分最高,均在 20 以上,这说明风险相对较高的残留农药中,尤其需更多关注三唑磷的残留风险。

2.2.3 西瓜样品风险值分析 根据西瓜中各样品的风险指数大小,可将西瓜样品分为四类,分别是高风险样品($RI \geq 15$);中风险样品($10 \leq RI < 15$);低风险样品($5 \leq RI < 10$);极低风险样品($RI < 5$)。用公式(6)计算出大棚、小拱棚和露地种植 65 份西瓜样品各自的农药残留风险指数(RI),如图 3 所示,大棚、小拱棚和露地种植西瓜样品均为低风险样品、极低风险样品,极低风险样品所占比例在 76% 以上,与大棚、小拱棚种植相比,露地种植低风险样品所占比例(24%)相对稍高,从农药残留角度分析,露地种植西瓜质量安全水平相对较低。

3 讨论

3.1 啉霉胺、啉虫脒、噻虫嗪、多菌灵在其他水果中的检出情况

本文评估结果显示样品啉霉胺、啉虫脒、噻虫嗪、多菌灵 4 种农药残留的平均检出啉虫脒和啉霉胺的检出率相对较高,贵州茶叶^[12]和山西苹果^[13]中噻虫嗪和啉虫脒的检出率相对较高,这与前人研究评估结果接近。如:波兰^[14]和土耳其^[15]的草莓、山东苹果^[16]、新疆葡萄^[17]中多菌灵相对较高;在对上海本地水果中农药残留检测中发现:西瓜中的啉虫脒和桃子中的啉虫脒、多菌灵的检出频率最高^[18],张雁鸣等^[1]的评估结果也显示:新疆主产区西瓜中啉霉胺、啉虫

表 3 急性膳食摄入风险分析表

Table 3 Risk analysis table of acute dietary intake

农药种类	多菌灵	啉虫脒	噻虫嗪	三唑磷	丙溴磷	吡虫啉	苯醚甲环唑	氯氟氰菊酯	咪鲜胺
ARFD(mg·kg ⁻¹)	0.5	0.1	1	0.001	0.03	0.06	0.3	0.04	0.1
大棚	HR(mg·kg ⁻¹)	0.0036	0.0522	0.1342	0.0009	ND	ND	ND	ND
	ESTI(kg)	0.0008	0.0109	0.0281	0.0002	ND	ND	ND	ND
	%ARFD(%)	0.15	10.91	2.81	19.21	ND	ND	ND	ND
	HR(mg·kg ⁻¹)	0.0169	0.0724	0.2185	ND	0.0006	0.0139	0.0007	0.0229
小拱棚	ESTI(kg)	0.0035	0.0151	0.0457	ND	0.0001	0.0029	0.0002	0.0048
	%ARFD(%)	0.71	15.13	4.57	ND	0.01	0.73	0.05	11.98
	HR(mg·kg ⁻¹)	0.0865	0.1012	0.1554	0.0003	0.0014	0.2492	ND	0.0005
	ESTI(kg)	0.0181	0.0211	0.0325	0.0001	0.0003	0.0521	ND	0.0001
露地	%ARFD(%)	3.62	21.15	3.25	6.28	0.03	13.02	ND	0.11

注: ND代表未检出。

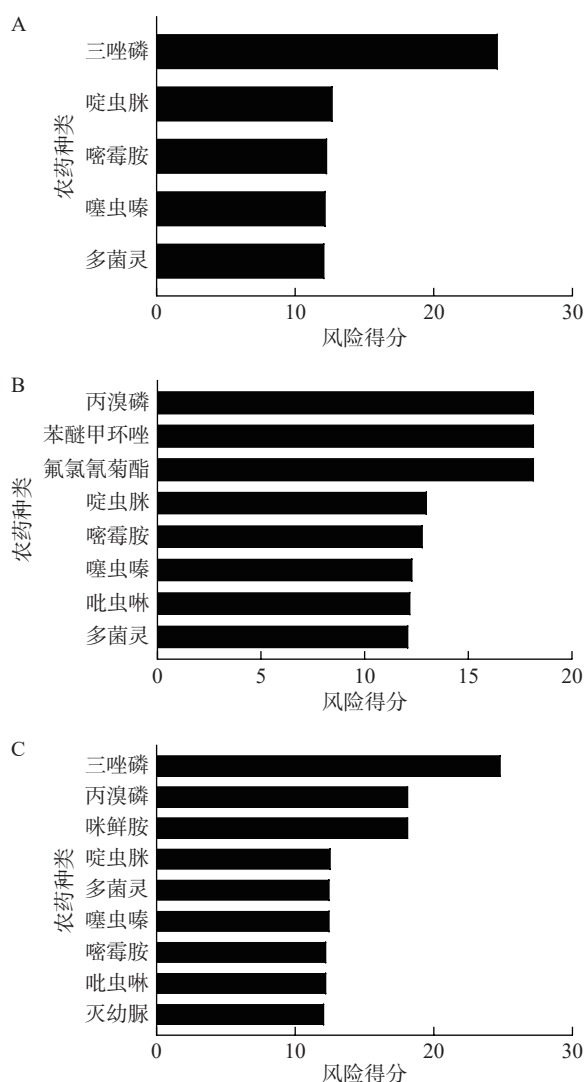


图 2 西瓜残留农药风险排序

Fig.2 Risk ranking of watermelon pesticide residues

注: A 为大棚种植风险得分; B 为小拱棚种植风险得分; C 为露地种植风险得分。

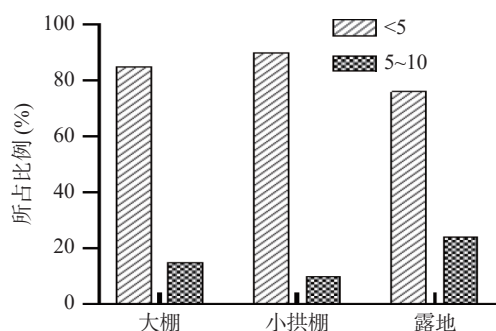


图 3 大棚、小拱棚和露地种植方式产出西瓜样品风险值

Fig.3 Risk value of watermelon sample produced in greenhouse, small arch shed and open cropping mode

脒、多菌灵的检出率相对较高。综合上述可知: 上述 4 种农药的施用频次相对较高, 宜加强规范施用的相关指导和培训。

3.2 西瓜中的农药残留现象与残留风险

本文分析表明三种种植模式下西瓜中残留农药的慢性膳食摄入风险值均小于 1.00%, 急性膳食摄入

风险均小于 22%, 都处于可接受风险。同时, 姚晶晶^[19]、张志恒等^[20]、凌淑萍等^[21] 的结论表明: 在西瓜急性慢性膳食摄入风险中, 各残留农药的 %ADI 和 %ARfD 值均远小于 100%, 这说明西瓜果实存在农药残留的现象, 但报道的残留风险均处安全水平。

西瓜出口贸易受限的主要因素之一为果实农药残留超标^[22], 为此各国纷纷出台了相应的农药残留限量标准(MRLs)来保证农产品的安全生产, 我国新出台的 GB 2763-2021 制定了西瓜中 60 种农药的 MRLs, 占总数的 10.6%^[10], 在果蔬中名列前茅, 但与其他国家或地区相比, 我国西瓜中农药 MRLs 覆盖的数量和种类都相对较少, 如日本^[22]、欧盟^[23]、加拿大^[22]、美国^[24] 它们对西瓜中规定最大残留限量的农药种类分别为 265 种、477 种、73 种、144 种, 其中, 前三者对未规定最大残留限量值的农药均采取不得高于 0.01 mg·kg⁻¹ 的标准。目前, 我国针对西瓜农药限量数量是高于中国香港的 17 种^[25]、俄罗斯的 14 种^[26]、CAC^[27] 的 6 种, 这是我国西瓜能够顺利出口的基本保障, 但与高端市场在农药 MRLs 数量、种类上的巨大差距, 可能会无法满足部分国家或地区的农药限量标准要求, 影响到我国西瓜出口总额。目前, 我国仍然实施大水果分类方式, 而在生产过程中, 不同瓜果类所面临的病虫害以及农药的施用方法是存在差异的, 不能一概而论。因而建议加快相关农药 MRLs 的制定, 同时进一步细化限量标准。

3.3 三唑磷为多种果蔬风险相对较高残留农药

房孝健^[28] 对 2010~2013 年间淄博市蔬菜农药残留情况做出调查发现: 三唑磷的检出率达 2.31%, 超标率达到 0.09%; 王冬群等^[29] 对 61 份梨进行了农药残留膳食摄入风险评估, 结果表明: 三唑磷慢性膳食摄入风险值为 2.38%, 急性膳食摄入风险为 460.00%, 风险处于不可接受水平; 何洁等^[30] 对番茄中的农药残留膳食摄入风险进行研究发现: 三唑磷残留风险得分为 24.2 属于高风险农药; 韦凯丽等^[31] 研究发现: 广西西瓜样品中, 三唑磷残留农药风险得分最高为 24.6, 上述研究报道内容与本文实验结果一致, 均表明三唑磷为需重点加强关注的风险残留农药种类。三唑磷是果蔬、粮食和棉花等作物上防治鳞翅目害虫、害螨、蝇类幼虫及地下害虫等病虫害有效的广谱有机磷农药^[32], 且具有毒性高, 对人体危害较大等特点, 故建议加强上述虫害高效生物防治药剂的研发与应用, 不断降低三唑磷的施用。

3.4 不同种植方式产出果实农药残留存在差异的可能原因

本文与郑坤明等^[33]、Yu 等^[4]、施海萍等^[34] 的研究结果一致, 即不同种植方式残留农药的种类及残留水平存在差异。研究表明: 农药残留水平取决于施用的起始浓度和残留消解速率^[35]。在起始浓度方面, 赵卫星等^[36] 的研究表明: 植株的光合作用越强, 植株吸收农药越多, 会导致残留越多, 而露地种植西瓜的光

合作用强于温室^[37],由此分析,露地种植西瓜植株残留农药的水平会相对较高。

在残留消解方面:温度和光照强度是影响农药残留消解速率的重要因素,如庚琴等^[38]的研究结果显示:啉虫脒和吡虫啉的消解速率随温度升高和光强的增加而加快,其原因可能与微生物和酶系的差异有关,如 Turechek 等^[39]的研究显示:随着温度的升高,总微生物和适宜降解农药的微生物数量都明显增多,同时,温度的变化也会影响植物酶系对农药的分解活性和效率。与露地相比,温室生态条件的特点是昼夜温差大、光照强度小等。综合上述文献可知:露地条件下,残留农药的降解速度应高于大棚种植,结合本文露地种植产出西瓜残留农药风险相对较高的结果,可以得出:起始浓度高可能是造成本文露地种植西瓜农药残留水平相对较高的主要原因。

4 结论

大棚、小拱棚和露地种植西瓜样品残留农药分别为 5、8、9 种,残留水平不等;从急、慢性膳食摄入风险结果看,样本最高慢性摄入风险(0.0482%)、最高急性膳食摄入风险(21.15%)均出现在露地栽培西瓜样品中;从样品风险指数计算结果可以看出,露地种植西瓜样品中低风险样品高于其他 2 种植方式。综合以上分析,可以得出 3 种栽培种植方式中,露地种植西瓜的农药残留水平相对较高。3 种植方式,需关注的风险相对较高残留农药种类不同,大棚、小拱棚和露地种植依次为三唑磷、苯醚甲环唑、丙溴磷、氯氟氰菊酯以及三唑磷、丙溴磷、咪鲜胺。

参考文献

- [1] 张雁鸣,玛合巴丽·托乎塔尔汉,沈琦,等.新疆主产区西瓜农药残留水平及其差异性评估[J].食品与机械,2021,37(2):58-63. [ZHANG Y M, MAHEBALI T H T E H, SHEN Q, et al. The pesticide residue level of watermelon in Xinjiang main producing area and its difference evaluation[J]. Food & Machinery, 2021, 37(2): 58-63.]
- [2] NJOKU K L, EZEH C V, OBIDI F O, et al. Assessment of pesticide residue levels in vegetables sold in some markets in Lagos State, Nigeria[J]. Nigerian Journal of Biotechnology, 2017, 32(1): 53-60.
- [3] PAN L, FENG X, ZHANG H. Dissipation and residues of pyrethrin in leaf lettuce under freenhouse and open field conditions[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14(7): 822.
- [4] YU Y L, FANG H, WANG X, et al. Dissipation of chlorpyrifos on pakchoi inside and outside greenhouse[J]. Journal of Environmental Sciences, 2005, 17(3): 503-505.
- [5] 黄兰洪,马琳,占绣萍,等.露地和大棚条件下噻虫嗪和啉虫脒在青菜中的残留及消解动态[J].农药,2018,57(1):42-45. [HUANG L Q, MA L, ZHAN X P, et al. Residue and decline study of thiamethoxam and acetamiprid in pakchoi under open field and greenhouse conditions[J]. Pesticide, 2018, 57(1): 42-45.]
- [6] 郑坤明,陈劲星,陈冬花,等.吡蚜酮在大棚和露地芥蓝上的残留消解动态[J].农药,2019,58(8):598-600. [ZHENG K M, CHEN J X, CHEN D H, et al. Residue and dissipation of pymetrozine in Chinese kale under open field and greenhouse conditions [J]. Pesticide, 2019, 58(8): 598-600.]
- [7] FENG X X, PAN L X, WANG C, et al. Residue analysis and risk assessment of pyrethrins in open field and greenhouse turnips [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(1): 877-886.
- [8] 杨江龙.不同种植方式蔬菜中农药残留的差异及污染控制研究[J].环境污染与防治,2014,36(9):70-73. [YANG J L. Difference research of pesticides residues in vegetables planting under different patterns and its environmental pollution control[J]. Environmental Pollution and Prevention, 2014, 36(9): 70-73.]
- [9] 张佳.璧山蔬菜基地大棚与露天种植西兰花农药残留比较研究[D].重庆:重庆师范大学,2019. [ZHANG J. Comparative study on pesticide residues in greenhouse and open-air planted broccoli in Bishan vegetable base[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2019.]
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. GB2763-2021 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量[S].北京:中国农业出版社,2021. [National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration of Market Supervision. GB2763-2021 National food safety standard. Maximum residue limit of pesticides in food[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2021.]
- [11] 赵姜,张琳,王志丹,等.我国居民西瓜消费特征及影响因素分析[J].中国蔬菜,2013(6):17-23. [ZHAO J, ZHANG L, WANG Z D, et al. Analysis of Chinese resident watermelon consuming characteristics and influencing factors[J]. Chinese Vegetables, 2013(6): 17-23.]
- [12] 王微,鄢人雨,兰吉玉,等.黔东南州茶叶农药残留膳食摄入风险评估[J].茶叶科学,2019,39(5):567-575. [WANG W, YAN R Y, LAN J Y, et al. Risk assessment of dietary intake of tea pesticide residues in Qiandongnan Prefecture[J]. Tea Science, 2019, 39(5): 567-575.]
- [13] 郝变青,秦曙,王霞,等.山西果品主产区苹果、梨、桃和枣果实农药残留水平及评价[J].山西农业科学,2015,43(4):452-455. [HAO B Q, QIN S, WANG X, et al. Detection and evaluation of pesticide residues in apple, pear, peach and jujube in Shanxi[J]. Shanxi Agricultural Science, 2015, 43(4): 452-455.]
- [14] MAGDALENA S B, EWA S, JULIAN R, et al. Pesticide residues in fruit and vegetables from south-eastern region of Poland [J]. Progress in Plant Protection, 2010, 50(4): 1980-1986.
- [15] BAKRCIG T, ACAY D B Y, BAKRCI F, et al. Pesticide residues in fruits and vegetables from the Aegean Region, Turkey [J]. Food Chemistry, 2014, 160: 379-392.
- [16] 叶孟亮.苹果常用农药残留及其膳食暴露评估研究[D].北京:中国农业科学院,2016. [YE M L. Studies on residue and dietary exposure risk assessment of pesticides applied in apple[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.]
- [17] 刘河疆,康露,华震宇,等.新疆鲜食葡萄产区农药残留风险评估[J].江西农业大学学报,2018,40(4):714-724. [LIU H J, KANG L, HUA Z Y, et al. Risk assessment of pesticide residues in Xinjiang grape producing areas[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2018, 40(4): 714-724.]
- [18] ZHANG Y, SI W, CHEN L, et al. Determination and dietary

- risk assessment of 284 pesticide residues in local fruit cultivars in Shanghai, China[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 1–11.
- [19] 姚晶晶, 陈丽君, 王明锐, 等. 西瓜中杀线虫剂农药残留及风险评估[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(6): 168–172. [YAO J J, CHEN L J, WANG M R, et al. Nematicidal pesticide residues in watermelon and its risk assessment[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2020, 48(6): 168–172.]
- [20] 张志恒, 汤涛, 徐浩, 等. 果蔬中氯吡嘧啶残留的膳食摄入风险评估[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(10): 1982–1991. [ZHANG Z H, TANG T, XU H, et al. Dietary intake risk assessment of clopyralid residues in fruits and vegetables[J]. *China Agricultural Science*, 2012, 45(10): 1982–1991.]
- [21] 凌淑萍, 付岩, 王全胜, 等. 苯醚甲环唑和吡唑醚菌酯在西瓜中的残留分析及膳食风险评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(3): 1215–1223. [LING S P, FU Y, WANG Q S, et al. Residual analysis and dietary risk assessment of difenoconazole and pyraclostrobin in watermelon[J]. *Journal of Food Safety and Quality Testing*, 2021, 12(3): 1215–1223.]
- [22] 庞荣丽, 吴斯洋, 郭琳琳, 等. 我国西瓜甜瓜质量安全标准现状及存在问题和建议[J]. *中国瓜菜*, 2019, 32(6): 1–8. [PANG R L, WU S Y, GUO L L, et al. Status, problems and suggestions of quality and safety standards in watermelon and melon in China[J]. *Chinese Melon and Vegetables*, 2019, 32(6): 1–8.]
- [23] 任艳玲, 王涛, 周玉峰, 等. 国内外西瓜农药最大残留限量比较分析[J]. *中国瓜菜*, 2018, 31(10): 1–6. [REN Y L, WANG T, ZHOU Y F, et al. Comparative analysis of domestic and international maximum residue limits for pesticides in fresh watermelon[J]. *Chinese Melon and Vegetables*, 2018, 31(10): 1–6.]
- [24] 郑床木, 戚亚梅, 白玲, 等. 美国农药残留监测体系概况及借鉴[J]. *农药科学与管理*, 2010, 31(11): 5–11. [ZHENG C M, QI Y M, BAI L, et al. Overview and reference of pesticide residue monitoring system in the United States[J]. *Pesticide Science and Management*, 2010, 31(11): 5–11.]
- [25] 宋稳成, 单炜力, 叶纪明, 等. 国内外农药最大残留限量标准现状与发展趋势[J]. *农药学学报*, 2009, 11(4): 414–420. [SONG W C, SHAN W L, YE J M, et al. Present situation and development trend of MRLs for pesticides in and outside China[J]. *Journal of Pesticide*, 2009, 11(4): 414–420.]
- [26] 聂继云, 匡立学, 沈友明. 我国果品农药最大残留限量标准沿革与现状[J]. *中国果树*, 2019(3): 107–109. [NIE J Y, KUANG L X, SHEN Y M. Evolution and status of maximum pesticide residue limits standards for fruit in China[J]. *China Fruit Tree*, 2019(3): 107–109.]
- [27] 毋永龙, 聂继云, 李志霞, 等. 我国和 CAC 新鲜水果农药残留限量标准比对研究[J]. *农产品质量与安全*, 2015(2): 31–34. [WU Y L, NIE J Y, LI Z X, et al. Comparative study on pesticide residue limits of fresh fruits between China and CAC[J]. *Quality and Safety of Agricultural Products*, 2015(2): 31–34.]
- [28] 房孝健. 淄博市蔬菜基地蔬菜农药残留调查与安全评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014. [FANG J X. Investigation and safety assessment of vegetable pesticide residue in vegetable base in Zibo[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.]
- [29] 王冬群, 胡寅侠, 华晚霞. 慈溪市梨农药残留膳食摄入风险评估[J]. *江苏农业学报*, 2016, 32(3): 698–704. [WANG D Q, HU Y X, HUA X X. Dietary intake risk assessment of pesticide residue in pears in Cixi city[J]. *Jiangsu Agricultural Journal*, 2016, 32(3): 698–704.]
- [30] 何洁, 刘文锋, 胡承成, 等. 贵州黔东南州番茄农药残留膳食摄入风险评估[J]. *食品科学*, 2019, 40(1): 202–208. [HE J, LIU W F, HU C C, et al. Risk Assessment of pesticide residues via dietary intake of tomatoes from Qiandongnan, Guizhou[J]. *Food Science*, 2019, 40(1): 202–208.]
- [31] 韦凯丽, 华震宇, 曹叶青, 等. 不同产地西瓜农药残留分析与膳食风险评估[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(7): 331–337, 270. [WEI K L, HUA Z Y, CAO Y Q, et al. Pesticide residue analysis and dietary risk assessment of watermelon in different habitats[J]. *Modern Food Technology*, 2020, 36(7): 331–337, 270.]
- [32] 张志恒, 袁玉伟, 郑蔚然, 等. 三唑磷残留的膳食摄入与风险评估[J]. *农药学学报*, 2011, 13(5): 485–495. [ZHANG Z H, YUAN Y W, ZHENG W R, et al. Dietary intake and its risk assessment of triazophos residue[J]. *Journal of Pesticide*, 2011, 13(5): 485–495.]
- [33] 郑坤明, 贾贵飞, 龚瑾, 等. 毒氟磷在大棚和露地西瓜和土壤中的残留消解动态[J]. *农药*, 2018, 57(8): 575–577, 592. [ZHENG K M, JIA G F, GONG J, et al. Residue dynamics of dufulin in watermelon and soil under open field and greenhouse conditions[J]. *Pesticide*, 2018, 57(8): 575–577, 592.]
- [34] 施海萍, 陈睿, 李大文, 等. 百菌清农药在蔬菜中的降解动态及残留规律研究[J]. *中国瓜菜*, 2006(5): 15–17. [SHI H P, CHEN J, LI D W, et al. Study of chlorothalonil's degradation and residues in vegetables[J]. *Chinese Melon and Vegetables*, 2006(5): 15–17.]
- [35] 尚子帅. 保护地和露地蔬菜上四种农药残留消解的比较研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012. [SHANG Z S. Residue dissipation of four pesticides on vegetables in comparison with the greenhouse and the field[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.]
- [36] 赵卫星, 孙治强, 陈之群, 等. 夏萝卜中有机磷农药残留消解动态及影响因素[J]. *河南农业科学*, 2004(11): 67–69. [ZHO W X, SUN Z Q, CHEN Z Q, et al. Degradation dynamics of residue of organophosphorus pesticides in summer radish and their effective factors[J]. *Henan Agricultural Science*, 2004(11): 67–69.]
- [37] 王锐, 刘露, 沈建锋, 等. 温室与露地条件下西瓜光合作用的日变化比较[J]. *甘肃农业大学学报*, 2010, 45(4): 80–84. [WANG R, LIU L, SHEN J F, et al. Comparison on photosynthetic diurnal change of watermelon in greenhouse and open field[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2010, 45(4): 80–84.]
- [38] 庾琴, 秦曙, 王霞, 等. 温度、光照及生物因子对啉虫脒和吡虫啉在油菜叶面消解的影响[J]. *农药学学报*, 2006(2): 147–151. [YU Q, QIN S, WANG X, et al. Dissipation of acetamiprid and imidacloprid under different temperature, light and biological factors on phyllosphere of brassica chinensis[J]. *Journal of Pesticide*, 2006(2): 147–151.]
- [39] TURECHEK W W, STEVENSON K L. Effects of host resistance, temperature, leaf wetness, and leaf age on infection and lesion development of pecan scab[J]. *Phytopathology*, 1998, 88(12): 1294–1301.