

不同产地甜瓜植物生长调节剂残留分析和膳食风险评估

郝政棋^{1,2}, 沈琦², 勿吉斯古冷^{1,2}, 何伟忠^{2*}, 王成^{3*}

(1.新疆农业大学食品科学与药学学院, 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、农村农业部农产品质量安全风险评估实验室、新疆农产品质量安全重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830091)(3.新疆农业科学院, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要:为明确不同产地甜瓜植物生长调节剂残留状况,探明其残留风险。该研究以2020年广西、海南、河北、辽宁、江苏、吉林132份甜瓜样品为研究对象,参照DB65/T 3970-2017《蔬菜和水果中17种植物生长调节剂残留量的测定液相色谱-串联质谱法》开展了样品中6种植物生长调节剂残留水平的定量分析,比较了不同产地甜瓜植物生长调节剂残留差异,进而开展了各产区残留植物生长调节剂的急、慢性膳食摄入风险评估和风险排序。甜瓜样品中残留5种植物生长调节剂,其中脱落酸残留样品占比最高为72.13%,其次是多效唑、矮壮素、氯吡啶、烯效唑,残留样品占比分别为11.48%、9.29%、4.37%、2.73%。残留的5种植物生长调节剂,其慢性膳食摄入风险在0%~0.1197%,平均值为0.0152%;急性膳食摄入风险在0%~9.7141%,平均值为0.6692%,均远低于100%,处于安全水平。风险排序得分,无高风险植物生长调节剂,且不同产地残留样品风险得分不同。综合残留样品占比、急、慢性膳食风险评估及风险得分来看,eMRL建议制定修订多效唑、矮壮素、烯效唑的最大残留限量值分别为9、4、1 mg/kg,且脱落酸和多效唑的残留风险相对较高,建议加强关注。

关键词:甜瓜;植物生长调节剂;风险评估;最大残留限量建议值

文章编号:1673-9078(2024)04-303-311

DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.0513

Residue Analysis and Dietary Risk Assessment of Plant Growth Regulators in Melons of Different Origins

XI Zhengqi^{1,2}, SHEN Qi², WUJISIGuleng^{1,2}, HE Weizhong^{2*}, WANG Cheng^{3*}

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)
(2.Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Agricultural Product Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of the Ministry of Rural Agriculture, Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Product Quality and Safety, Urumqi 830091, China)
(3. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang, Urumqi 830091, China)

引文格式:

郝政棋,沈琦,勿吉斯古冷,等.不同产地甜瓜植物生长调节剂残留分析和膳食风险评估[J].现代食品科技,2024,40(4):303-311.

XI Zhengqi, SHEN Qi, WUJISIGuleng, et al. Residue analysis and dietary risk assessment of plant growth regulators in melons of different origins [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 303-311.

收稿日期:2023-05-04

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(CARS-25);新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02006-1);新疆甜瓜产业技术体系资助(XJARS-06)

作者简介:郝政棋(1996-),男,在读研究生,研究方向:农产品质量安全,E-mail:xi915382426@163.com

通讯作者:何伟忠(1981-),男,研究员,研究方向:农产品品质及其质量安全控制技术, E-mail:hewei198112@126.com;共同通讯作者:王成(1971-),男,研究员,研究方向:农产品质量安全及其功能营养特性研究, E-mail:wangcheng321@sina.com

Abstract: In order to clarify the residue status of plant growth regulators in melons from different production areas and to explore the residue risk, in this study, 132 melon samples from Guangxi, Hainan, Hebei, Liaoning, Jiangsu and Jilin in 2020 were used as the research objects. Quantitative analysis of the residue levels of six plant growth regulators in these samples was carried out with reference to DB65/T 3970-2017 "Determination of residues of 17 plant growth regulators in vegetables and fruits by liquid chromatography-tandem mass spectrometry". The differences in residues of plant growth regulators in the melons from different production areas were compared, and then the acute and chronic risk assessment and risk ranking for dietary intake of residual plant growth regulators in the melons from different production areas were carried out. There were 5 kinds of plant growth regulators left in the melon samples, among which abscisic acid residues accounted for the highest proportion (72.13%), followed by paclobutrazole, chlorpyrimide, and enbutrazole (accounting for 11.48%, 9.29%, 4.37% and 2.73%, respectively). In terms of the five residual plant growth regulators, the chronic risk of their dietary intake ranged from 0% to 0.119 7%, with an average value of 0.015 2%; The acute risk of their dietary intake ranged from 0% to 9.714 1%, with a mean value of 0.669 2%. Both risks were well below 100% and at a safe level. Risk ranking revealed that there were no high-risk plant growth regulators, and the risk scores of residual samples from different origins were different. Based on the proportion of residual samples, acute and chronic dietary risk assessment and risk scores, eMRL recommends to formulate and revise the maximum residue limits of paclobutrazole, polycarboxilin and enbutrazole to 9, 4 and 1 mg/kg, respectively, and the residue risks of abscisic acid and paclobutrazole are relatively high. Thus, it is recommended to pay more attention.

Key words: melon; plant growth regulators; risk assessment; recommended maximum residue limit

植物生长调节剂因具有调节作物生长、增产、稳产、改善作物品质等作用,而被广泛应用于瓜果,包括甜瓜的栽培种植过程中^[1-3]。开展甜瓜植物生长调节剂残留风险评估研究,明确残留水平及风险状况,可为甜瓜中残留植物生长调节剂的安全使用有效监管提供科学数据和技术支持,利于支撑和促进植物生长调节剂在甜瓜种植过程中的安全规范使用。

植物生长调节剂的滥用和误用也是影响食用农产品质量的潜在隐患^[4],如 Luo 等^[5]发现麦冬中存在多效唑超标的现象; Le 等^[6]发现越南河内芥菜中 GA4 (赤霉素) 残留超标,存在潜在风险; 黄志英等^[7]在对抚州市豆芽菜中 7 种植物生长调节剂残留检测中发现: 豆芽菜中的 4-氯苯氧乙酸超标率为 11.36%, 存在一定的安全风险。苏海雁等^[8]在对广西果蔬中 28 种植物生长调节剂残留检测中发现, 22 批豆芽中共有 10 批次含有的 4-氯苯氧乙酸, 其中有 3 批残留超标这与广西市场监督管理局检验报告相同。也见葡萄和卷心菜^[9]、苹果和番茄^[10]、人参^[11]等作物中植物生长调节剂残留风险评估的报道。植物生长调节剂 (PGRs) 本身也是有毒性的^[12]: 包括造成肝损伤、对家蚕具有急性和慢性毒性、影响环境等。研究发现脱落酸对家蚕具有急性和慢性毒性^[13]; PGRs 具有肝脏毒素和免疫毒素在人体长时间蓄积会造成肝损伤^[14]; 还有研究发现 PGRs

的施用可能会对环境产生一定影响^[15]。据 FAO 数据库显示, 我国甜瓜收获面积和产量分别占世界总量的 36.91% 和 49.23%^[16], 位居各国之首, 但还鲜见甜瓜植物生长调节剂残留水平及其膳食风险的系统研究报道。

本文以 6 省份 8 个市、县, 分别为盐城市、唐山市、沈阳市、康平县、吉林市、三亚市、乐东县、南宁市 (A~H) 132 份甜瓜样品为研究对象, 参照 DB65/T 3970-2017 《蔬菜和水果中 17 种植物生长调节剂残留量的测定液相色谱-串联质谱法》, 通过液相色谱-串联质谱仪, 开展了样品中植物生长调节剂残留种类及水平的研究分析, 并评估了残留植物生长调节剂的急、慢性膳食摄入风险及不同产地风险排序的差异, 以期为我国甜瓜质量安全水平的提升提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

甜瓜: 根据甜瓜上市时间, 2020 年成熟期完成采集。样品采集于江苏 5 份、河北 20 份、辽宁 40 份、吉林 16 份、海南 31 份、广西 20 份, 共计 6 省份 8 个县 (A-H) 132 份样品。

液相色谱-串联质谱仪: 电喷雾离子源, 日

本 SHIMADZU 公司; Scyncronis-C18 色谱柱 (150 mm×2.1 mm, 5 μm), 美国沃特世公司; MX-F 涡动混合器, 中国 DRAGONLAB 公司; 5415D 离心机, Eppendorf 公司; C18 吸附剂、0.45 μm 有机滤膜, 中国上海安谱中国有限责任公司。

乙腈和甲醇 (色谱纯), 美国默克公司; 甲酸和乙酸铵均为分析纯 (脱落酸 99.8%), 坛墨; 多效唑 95.2%, 安谱; 烯效唑 99.8%, 阿尔塔科技; 氯吡脞 98%, 安谱; 矮壮素 97.7%, 安谱; 缩节胺 99%, 阿尔塔科技; 实验室用水为超纯水。

1.2 实验与方法

1.2.1 参试植物生长调节剂及分析方法

参试植物生长调节剂共 6 种, 具体是: 矮壮素、多效唑、氯吡脞、缩节胺、脱落酸、烯效唑。

参照 DB65/T 3970-2017《蔬菜和水果中 17 种植物生长调节剂残留量的测定液相色谱-串联质谱法》进行定量分析。

1.2.2 膳食摄入风险研究方法

参照聂继云等^[17]报道的方法进行残留植物生长调节剂慢性、急性膳食摄入风险及风险排序。

慢性膳食摄入风险按照公式 (1) 进行评估。

$$\%ADI = \frac{Z \times 0.1644}{Q \times X} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

Z—农药残留平均值 (STMR), mg/kg;

Q—体质量, kg, 按 60 kg 计算;

ADI—每日允许摄入量, mg/kg;

0.1644—居民日均甜瓜消费量, kg。

急性膳食摄入风险按照公式 (2) 和公式 (3) 进行分析。

$$M = \frac{U \times H \times v + (L - U)}{Q} \quad (2)$$

$$\%ARfD = \frac{M}{G} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

M—估算短期摄入量 (ESTI), kg;

U—单果质量, kg, 按 3 kg 计算;

H—最高残留量 (HR), mg/kg, 取 99.9 百分位点值;

v—变异因子, 取值 3;

L—甜瓜消费大份量 (LP), kg, 按 0.6264 kg 计算;

ARfD—急性参考剂量, mg/kg。

%ARfD 和 %ADI 值越大表示风险越大, 当

%ARfD 和 %ADI > 100% 时, 表示风险为不可接受水平; %ARfD 和 %ADI ≤ 100% 时, 则表示风险为可接受水平。

表 1 植物生长调节剂急、慢性参考值

Table 1 Acute and chronic reference values of plant growth regulators

植物生长调节剂	ADI/(mg/kg)	ARfD/(mg/kg)
矮壮素	0.05	0.05
多效唑	0.1	0.1
氯吡脞	0.07	0.5
脱落酸	13.6	/
烯效唑	0.02	1

1.2.3 风险排序研究方法

风险排序按照公式 (4) 和公式 (5) 进行计算。

$$J = \frac{T}{P} \times 100\% \quad (4)$$

$$S = (A+B) \times (C+D+E+F) \quad (5)$$

式中:

J—农药使用频率 (FOD);

T—果实发育过程中使用此类农药的次数;

P—果实发育日数, d;

A—毒性得分;

B—毒效得分;

C—甜瓜膳食比例得分;

D—农药使用频率得分;

E—高暴露人群得分;

F—残留水平得分。

根据农药合理使用国家标准, 农药最高使用次数 T 计 3 次; 果实发育日数 P 计 45 d; 甜瓜膳食比例 C 计 1.6; 农药使用频率 D 为 1; 高暴露人群 E 尚无相关数据计 3 分; 根据检出农药毒性、ADI 和农药残留水平, 对照表 2, 可得出残留农药的毒性得分 A、毒效得分 B 和残留水平得分 F。

1.2.4 植物生长调节剂最大残留限量估计值的计算

$$Y = \frac{X \times Q}{L} \quad (6)$$

式中:

Y—最大残留限量估计值 (eMRL)。

1.3 数据处理

采用 Origin 2021 绘图、SPSS 进行数据处理。

2 结果与讨论

2.1 不同产地甜瓜样品植物生长调节剂残留情况

由图 1 可知, 132 份甜瓜样品中, 共检出 5 种植物生长调节剂残留。其中脱落酸残留样品占比最高, 其次是多效唑、矮壮素、氯吡脞、烯效唑, 残留样品占比依次是 72.13%、11.48%、9.29%、4.37%、2.73%。

相关报道显示: 脱落酸、多效唑在部分作物种也存在有残留样品占比相对较高的特点, 如李晓贝等^[18]发现上海草莓和葡萄有脱落酸的样品占比为 100%; 宋雯等^[19]的研究结果显示江浙蔬菜样品残留 15 种植物生长调节剂, 有残留样品占比由高到低依次为: 脱落酸 90.74%、矮壮素 20.37%、多效唑 14.07% 等。另外, 余翠翠等^[20]、徐国锋等^[21]的报道表明在麦冬中检出率为 100%、在葡萄残留样品的占比也居于前列。本文研究结果显示, 残留的 5 种

植物生长调节剂中, 脱落酸和多效唑残留样品占比相对较高与上述报道结果一致。

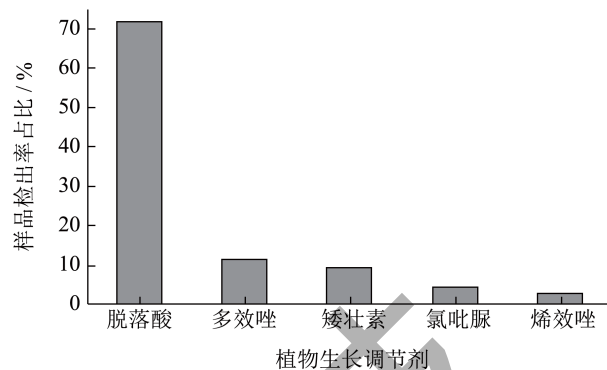


图 1 残留样品所占比例 (%)

Fig.1 Proportion of residual samples (%)

残留样品占比高, 说明甜瓜种植中脱落酸和多效唑的使用相对广泛; 但通过中国农药信息网查询, 脱落酸和多效唑均未在甜瓜上登记允许使用, 建议加快脱落酸和多效唑的登记, 以引导瓜农规范用药。

表 2 毒性、毒效、残留水平赋分标准

Table 2 Scoring standards for toxicity, toxicity, and residue levels

指标	指标值	得分	指标值	得分	指标值	得分	指标值	得分
毒性 (A)	低毒	2	中毒	3	高毒	4	剧毒	5
毒效 (B)	$>1 \times 10^{-2}$	0	$1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$	1	$1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$	2	$<1 \times 10^{-6}$	3
膳食比例 (C)	<2.5	0	2.5~20	1	20~50	2	50~100	3
农药使用频率 (D)	>2.5	0	2.5~20	1	20~50	2	50~100	3
高暴露人群 (E)	无	0	不太可能	1	很可能	2	有或无相关数据	3
残留水平 (F)	未检出	1	$<$ 限量值	2	\geq 限量值	3	≥ 10 倍限量值	4

表 3 不同产地甜瓜样品植物生长调节剂残留情况

Table 3 Residues of plant growth regulators in melon samples from different origins

省份	县、市	植物生长调节剂/(mg/kg)				
		烯效唑	氯吡脞	矮壮素	多效唑	脱落酸
1	A	nd	nd	nd	nd	0.011 0~0.028 3
2	B	0.000 4~0.001 8	nd	0.001 5~0.044 0	0.000 2~0.020 7	0.028 7~0.748 1
3	C	nd	0.000 3	nd	0.000 3	0.004 4~0.613 0
	D	nd	0.000 2~0.001 2	0.009 0~0.012 1	0.000 6	0.001 2~1.037 9
4	E	0.000 2	0.000 3	nd	0.000 2~0.002 2	0.023 7~0.4143
5	F	nd	nd	0.002 1~0.003 7	0.000 3~0.000 5	0.009 7~0.125 0
	G	nd	nd	0.000 2~0.000 6	nd	0.010 8~0.128 0
6	H	0.001 3~0.002 3	nd	0.000 3~0.043 4	0.005 4~0.010 0	0.001 4~0.110 2

注: nd 表示未检出。

表3为甜瓜样品植物生长调节剂残留水平概况,其中矮壮素残留水平最高的样品出现在H市,残留水平0.043 4 mg/kg, C市和E市样品均未检出矮壮素残留;多效唑残留水平最高样品出现在B市,残留值是0.020 7 mg/kg, A市和G市样品均未检出多效唑残留;氯吡脞残留水平最高样品出现在D市,残留值是0.001 2 mg/kg, A、B、F、G、H市样品均未检出氯吡脞残留;脱落酸残留水平极大值样品出现在D市,残留水平为1.037 9 mg/kg,极小值出现在D市,残留值为0.001 2 mg/kg;烯效唑残留水平最高值样品出现在E市,残留值为0.000 2 mg/kg, A、C、D、F、G市样品均未检出烯效唑残留。

上述结果说明:不同产地样品残留植物生长调节剂有所不同,其中脱落酸在所有产地中残留样品占比最高,其次是多效唑。目前GB2763-2021仅有氯吡脞的限量值,本研究所采集样品中氯吡脞残留水平均未超过该限量值。

不同产地同种农产品的农药残留水平和残留种类有所不同,如:张雁鸣等^[22]比较了新疆主产区西瓜农药残留水平的差异性,发现不同县市西瓜农药残留污染程度不同, E市、D县、L市、N县的残留污染程度相对较高;张甘霖等^[23]对中国市售水果蔬菜农药残留水平研究发现,不同城市间市售果蔬农药残留状况差别明显;韦凯丽等^[24]对新疆、山东、广西三产地的西瓜农药残留水平分析发现,3产地的农药残留种类、残留样品占比、主要残留农药均有不同。

为进一步探讨残留植物生长调节剂的膳食风险水平,本文通过膳食摄入风险评估,评估甜瓜中残留植物生长调节剂的急、慢性膳食摄入风险。

2.2 不同产地甜瓜样品急、慢性膳食风险评估

2.2.1 植物生长调节剂慢性膳食风险评估

样品残留植物生长调节剂残留慢性膳食摄入风险评估结果见表4。从表4可知,残留5种植物生长调节剂的慢性膳食摄入风险在0.000 0%~0.119 7%间,平均值为0.015 2%,远低于100%。这表明:样品虽存在残留植物生长调节剂的现象;但其慢性膳食摄入风险处于安全水平。

2.2.2 植物生长调节剂急性膳食风险评估

经查阅美、日、欧等相关文件^[25]脱落酸不需要规定急性膳食风险评定,故未开展急性膳食摄入风险评估,其余4种残留植物生长调节剂的急性膳食摄入风险评估结果列于表5。由表5可知, B市H市样品矮壮素%ARfD相对较高,分别为9.714 1%和9.573 0%; D市矮壮素、B市和H市样品多效唑的%ARfD在1%~3%之间;其余省份样品残留植物生长调节剂的%ARfD均在1%以下。总体来看,样品4种残留植物生长调节剂的急性膳食摄入风险在0%~9.714 1%间,平均值为0.669 2%,远低于100%,这表明样品残留甜瓜植物生长调节剂残留急性膳食摄入风险处于安全水平。本研究结果显示植物生长调节剂虽存在残留的现象,但其急、慢性膳食摄入风险均为安全。

表4 不同产地甜瓜样品植物生长调节慢性膳食摄入风险

Table 4 Plant growth regulation and chronic dietary intake risk in melon samples from different origins

省份	县、市	植物生长调节剂				
		烯效唑/%	氯吡脞/%	矮壮素/%	多效唑/%	脱落酸/%
1	A	0	0	0	0	0.000 4
2	B	0.015 1	0	0.072 9	0.007 8	0.004 9
3	C	0	0.001 0	0	0.000 8	0.004 5
	D	0	0.002 0	0.057 8	0.001 6	0.001 9
4	E	0.002 4	0.001 0	0	0.002 2	0.002 5
5	F	0	0	0.015 0	0.001 0	0.000 6
	G	0	0	0.001 9	0	0.000 9
6	H	0.024 7	0	0.119 7	0.021 1	0.000 6

表 5 不同产地甜瓜样品植物生长调节急性膳食摄入风险
Table 5 Plant growth regulation of acute dietary intake risk in melon samples from different origins

省份	县、市	植物生长调节剂			
		烯效唑/%	氯吡脞/%	矮壮素/%	多效唑/%
1	A	0	0	0	0
2	B	0.019 8	0	9.714 1	2.286 4
3	C	0	0.006 0	0	0.034 5
	D	0	0.027 6	2.675 4	0.065 3
4	E	0.001 9	0.005 6	0	0.238 8
5	F	0	0	0.806 6	0.055 1
	G	0	0	0.131 6	0
6	H	0.025 8	0	9.573 0	1.100 0

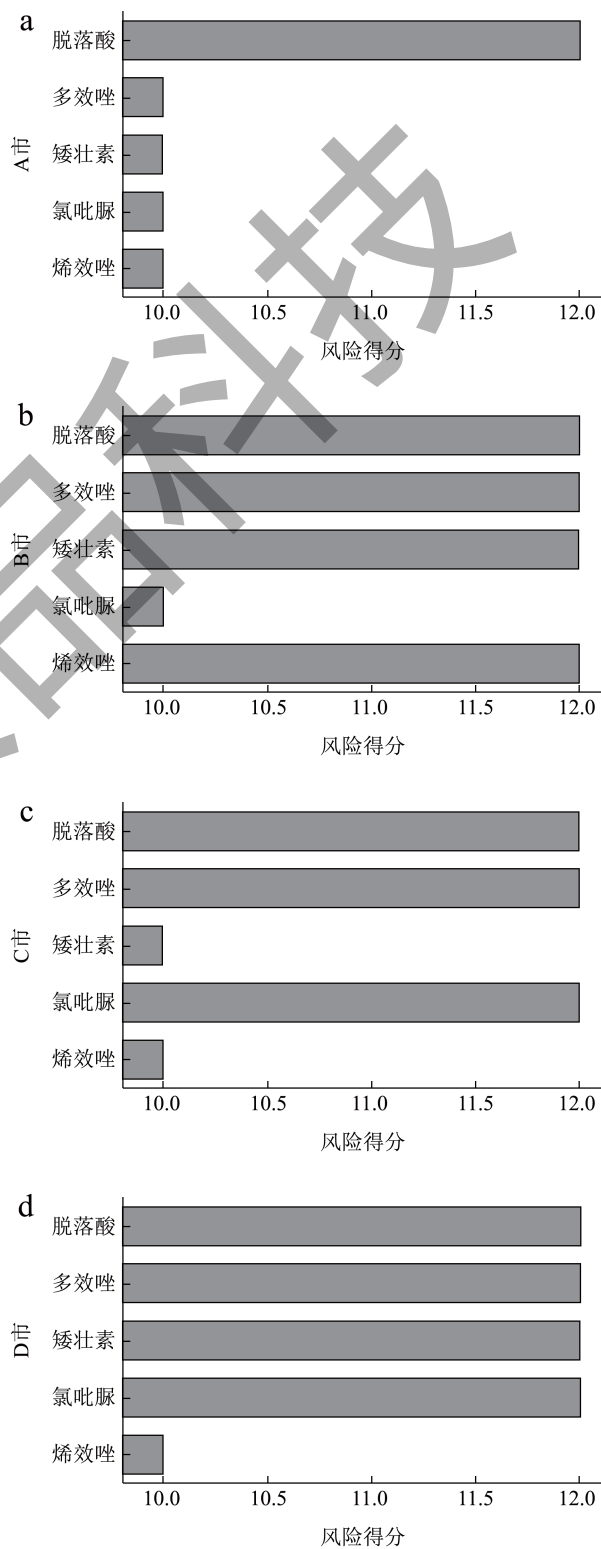
已知文献发现：植物生长调节剂残留农产品中普遍存在，但其急、慢性膳食摄入风险均在可接受范围内，如：高宇航等^[26]发现，菜豆中共检出 4 种植物生长调节剂其 %ADI 和 %ARfD 范围分别在 0.020%~3.11% 和 0.020%~1.57% 显示风险极低；兰珊珊等^[27]对蔬菜中多效唑残留评估发现，估计每日摄入量占 ADI 的 0.04%~0.21%，估计短期摄入量占 ARfD 的 0.07%~0.95% 整体风险非常低；张志恒等^[28]、凌淑萍等^[29]对氯吡脞、矮壮素等在农产品中的膳食摄入风险评估中发现，果蔬中氯吡脞每日摄入量占 ADI 值的 0.03%~0.45%，短期摄入量占 ARfD 值的 0.01%~0.13%；矮壮素每日摄入量占 ADI 值的 14.3%，两者研究均表明风险为可接受。同时，开展本文急慢性膳食风险与上述报道急慢性膳食风险的比较后发现，结果与本文相同。

2.3 不同产地植物生长调节剂残留风险排序得分

不同产地（县、市）甜瓜样品残留风险得分见图 2，脱落酸在所有 8 个市中风险得分均最高；多效唑次之，体现在除 A 市和 G 市风险得分相对较低外，其他 6 市的风险得分均和脱落酸相同；A、C、E 市在矮壮素风险得分相对较低；C、D、E 市氯吡脞、B、E、H，烯效唑风险得分相对较高。由此可以得出，不同省份植物生长调节剂的风险得分有所不同，总体来看，脱落酸和多效唑的风险相对突出。

根据风险评估得分可以看出脱落酸和多效唑的风险相对较高，有学者研究结果显示：王丽英等^[30]发现河北省售草莓中多效唑为主要残留植物生

长调节剂检出率为 26.35%；马晨等^[31]在发现荔枝中植物生长调节剂多效唑使用位于前列；宋雯等^[19]在对蔬菜的植物生长调节剂残留分析中发现脱落酸和多效唑为主要残留植物生长调节剂。上述研究结果与本文研究结果相同，由此可见，需要在种植中加强关注脱落酸和多效唑。



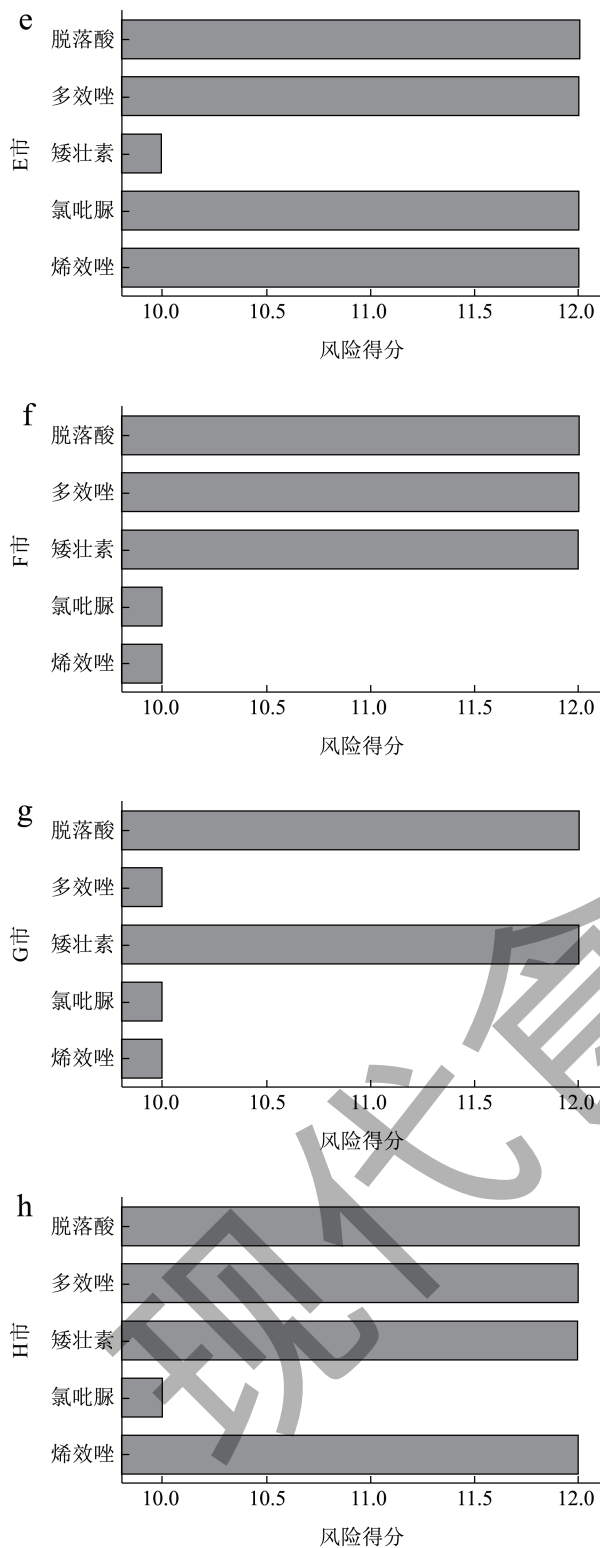


图2 不同产地(县、市)甜瓜样品残留风险得分
Fig.2 Residual risk scores of melon samples from different origins (counties)

根据上述研究结果结合查阅文献发现：梁颖等^[32]研究发现，叶面喷施脱落酸可以明显提升黄瓜的品质，如可溶性糖和抗坏血酸的含量；王晓晨

等^[33]发现脱落酸提高了葡萄中单萜物质的含量改善玫瑰香型葡萄的品质；Pan等^[34]发现脱落酸产生菌在青菜中提高了总酚、总黄酮、抗坏血酸等水平；褚乾梅^[35]发现喷施多效唑可以有效降低油菜株高，还可提高油菜子产量和改善油菜子品质。上述研究发现植物生长调节剂可以改善果蔬的品质，这就会导致这两种植物生长调节剂在作物上的广泛使用，这可能也是脱落酸和多效唑检出率较高的原因。

2.4 现有植物生长调节剂最大残留限量的适用性

甜瓜中植物生长调节剂最大残留限量建议值见表6，可以看出与eMRL相比氯吡脞的MRL过严，其余植物生长调节剂的eMRL分别为多效唑、矮壮素、烯效唑的9.57、4.78、0.95 mg/kg，且脱落酸的ADI高达13.6 mg/kg，因此不需要在甜瓜中制定最大残留限量值。

表6 植物生长调节剂最大残留限量建议值(mg/kg)

Table 6 Recommended maximum residue limits for plant growth regulators

种类	ADI	eMRL	MRL	RMRL	$P_{99.5}$
脱落酸	13.6	/	—	/	0.748 1
多效唑	0.1	9.57	—	10	0.010 0
矮壮素	0.05	4.78	—	5	0.043 4
氯吡脞	0.07	6.70	0.1	7	0.000 5
烯效唑	0.02	0.95	—	1	0.001 8

注：ADI：每日允许摄入量；eMRL：最大残留限量估计值；MRL：最大残留限量；RMRL：最大残留限量建议值； $P_{99.5}$ ：99.5百分位点残留量。

综合5种植物生长调节剂检出率占比、急、慢性膳食风险评估及风险排序结果，按照最大残留限量比eMRL略高或略低原则建议制订多效唑、矮壮素、烯效唑的最大残留限量值分别为9、4、1 mg/kg。5种植物生长调节剂的99.5百分位点残留值也明显低于国家最大残留限量和最大残留限量建议值，说明MRL值和RMRL值可以保护消费者健康。

3 结论

本文中6省份8个县、市的132份甜瓜样品的质量安全良好，检出的5种植物生长调节剂无残留超标情况。急、慢性膳食摄入风险结果表明，抽检的样品风险水平极低，甜瓜样品植物生长调节剂残留均为安全。eMRL建议制订多效唑、矮壮素、烯

效唑的最大残留限量值分别为9、4、1 mg/kg。风险排序结果发现不同产地的植物生长调节剂风险不同,以脱落酸的风险得分在所有省份中最高,其次是多效唑,建议后续应该加强关注,并加快脱落酸和多效唑的登记,以指导瓜农规范用药。

参考文献

- [1] MEHSRAM L T, SONKAMBLE A M, PATIL S R, et al. Effect of plant growth regulators on yield and quality of watermelon [J]. *The Pharma Innovation Journal*, 2022, 11(3): 2424-2427.
- [2] ALI M R, QUDDUS M A, TRINA T N, et al. Influence of plant growth regulators on growth, yield, and quality of tomato grown under high temperature in the tropics in the summer [J]. *International Journal of Vegetable Science*, 2022, 28(1): 59-75.
- [3] SIEBENEICHLER T J, CRIZEL R L, REISSER L, et al. Changes in the abscisic acid, phenylpropanoids and ascorbic acid metabolism during strawberry fruit growth and ripening [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 108: 104398.
- [4] 周纯洁, 赵博, 黄思瑜, 等. QuEChERS-LC-MS/MS法测定果蔬中4种植物生长调节剂残留[J]. *食品工业*, 2019, 40(9): 273-277.
- [5] LUO Z L, ZHANG L X, MOU Y, et al. Multiresidue analysis of plant growth regulators and pesticides in traditional Chinese medicines by high performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2019, 411(11): 2447-460.
- [6] VAN Nhan Le, QUANG T N, TIEN D N, et al. The potential health risks and environmental pollution associated with the application of plant growth regulators in vegetable production in several suburban areas of Hanoi, Vietnam [J]. *Biologia Futura*, 2020, 71(3): 323-331.
- [7] 黄志英, 何军. 2020年-2021年抚州市豆芽菜中7种植物生长调节剂残留调查分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 2022, 32(13): 1654-1656, 1664.
- [8] 苏海雁, 吕敏, 薛亚馨, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定果蔬中28种植物生长调节剂残留量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(14): 5664-5673.
- [9] ZHAN X P, LIU B, ZHU W F, et al. Simultaneous detection of multiple plant growth regulator residues in cabbage and grape using an optimal QuEChERS sample preparation and UHPLC-MS/MS method [J]. *Journal of AOAC International*, 2022, 105(1): 129-141.
- [10] XUE J, WANG S, YOU X, et al. Multi-residue determination of plant growth regulators in apples and tomatoes by liquid chromatography/tandem mass spectrometry [J]. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2011, 25(21): 3289-3297.
- [11] 彭韵洁, 陈丽娜, 杨明, 等. QuEChERS-UPLC-MS/MS测定人参中19种植物生长调节剂残留及膳食暴露评估[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(24): 161-169.
- [12] 许艳秋, 王广成, 高立明, 等. 麦冬种植中植物生长调节剂使用情况、残留现状及影响综述[J]. *农药学报*, 2021, 23(6): 1073-1084.
- [13] 黄深惠, 蒋满贵, 黄旭华, 等. 2种植物生长调节剂对家蚕的毒性作用[J]. *蚕业科学*, 2020, 46(4): 517-521.
- [14] BHADORIA P, NAGAR M, BAHRIK V, et al. Effect of ethephon on the liver in albino rats: A histomorphometric study [J]. *Biomedical Journal*, 2015, 38(5): 421.
- [15] 张亚琴, 李思佳, 邓秋林, 等. 化肥与植物生长延缓剂配施对麦冬产量形成和次生代谢产物的影响[J]. *草业科学*, 2019, 36(6): 1544-1552.
- [16] 联合国粮食及农业组织. FAOSTAT数据 [EB/OL] (2020-03-04). <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- [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.
- [18] 李晓贝, 吴海平, 赵晓燕, 等. 上海地产葡萄和草莓中植物生长调节剂残留及膳食摄入风险评估[J]. *农药学报*, 2022, 24(1): 152-160.
- [19] 宋雯, 徐浩, 汪雯, 等. 蔬菜中植物生长调节剂残留的膳食摄入风险评估——以江浙地区为例[J]. *农产品质量与安全*, 2017, 1: 9-14, 20.
- [20] 余翠翠, 王晖, 隋春, 等. 四川三台麦冬产区生长调节剂使用情况调研及残留研究[J]. *中国现代中药*, 2019, 21(12): 1669-1674.
- [21] 徐国锋, 聂继云, 李静, 等. GC/ECD测定葡萄中多效唑和烯效唑的残留[J]. *农药*, 2014, 53(10): 736-738, 755.
- [22] 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.
- [23] 张甘霖, 庞小平, 刘海燕. 中国城市市售水果蔬菜农药残留水平及其空间差异研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2020, 43(3): 160-164.
- [24] 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.
- [25] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion on the peerreview of the pesticide risk assessment of the active substance gibberellic acid [J]. *EFSA J*, 2012, 10(1): 2507.
- [26] 高宇航, 高明坤, 田明硕, 等. 海南地区菜豆和豇豆中植物生长调节剂残留和风险评估[J]. *农产品质量与安全*, 2020, 5: 59-63.
- [27] 兰珊珊, 林昕, 邹艳红, 等. 蔬菜中多效唑残留的膳食暴露与风险评估[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(2): 336-341, 245.

- [28] 张志恒,汤涛,徐浩,等.果蔬中氯吡脞残留的膳食摄入风险评估[J].中国农业科学,2012,45(10):1982-1991.
- [29] 凌淑萍,付岩,王全胜,等.矮壮素在荸荠田中的残留及质量安全风险评估[J].食品安全质量检测学报,2021,12(24):9627-9634.
- [30] 王丽英,任贝贝,刘印平,等.河北省市售水果中植物生长调节剂残留状况调查与分析[J].食品安全质量检测学报,2019,10(12):3929-3935.
- [31] 马晨,张群,段云,等.荔枝上植物生长调节剂使用与残留现状分析[J].热带农业科学,2019,39(4):67-75.
- [32] 梁颖,张泽锦,王力明,等.叶面喷施脱落酸对黄瓜果实品质的影响[J].西南农业学报,2023,36(3):629-636.
- [33] 王晓晨,聂子页,刘先菊,等.脱落酸对‘京香玉’葡萄果实单萜物质合成的影响[J].园艺学报,2023,50(2):237-249.
- [34] PAN W, LU Q, XU Q R, et al. Abscisic acid-generating bacteria can reduce Cd concentration in pakchoi grown in Cd-contaminated soil [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 177(AUG.):100-107.
- [35] 褚乾梅,白桂萍,谢捷,等.多效唑喷施时期对油菜农艺性状、产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2023,62(1):18-22.

现代食品科技