

何 欣,陈 健,李 勇,等. 八种植物生长调节剂在桃果实上的残留及膳食摄入风险评估[J]. 江苏农业学报,2024,40( 10 ):1962-1969.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.10.021

# 八种植物生长调节剂在桃果实上的残留及膳食摄入风险评估

何 欣<sup>1,2,3</sup>, 陈 健<sup>2,3</sup>, 李 勇<sup>2,3</sup>, 宋立晓<sup>2,3</sup>, 王冬兰<sup>2,3</sup>, 余向阳<sup>1,2,3</sup>, 陈小龙<sup>2,3</sup>

(1.江苏海洋大学海洋食品与生物工程学院,江苏 连云港 222005; 2.江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所,江苏 南京 210014; 3.省部共建国家重点实验室培育基地/江苏省食品质量安全重点实验室,江苏 南京 210014)

**摘要:** 植物生长调节剂已广泛应用于中国桃生产中,但在桃树上已登记的植物生长调节剂产品仅多效唑·甲哌鎓,且中国无桃果实中植物生长调节剂最大残留限量标准,由于登记的植物生长调节剂产品少,缺少安全间隔期、用药间隔期等信息,可能会导致盲目用药,增加残留与膳食风险。为明确中国桃主产区桃果实中植物生长调节剂残留现状,本研究采集中国 13 个桃主产区 420 份样品,针对 8 种植物生长调节剂开展残留情况调查与慢性膳食摄入风险评估,并对不同产地、不同时间残留情况进行分析。结果表明,中国桃主产区果实样品中植物生长调节剂残留检出率达到 71.4%,8 种植物生长调节剂检出率分别为多效唑 60.0%、矮壮素 21.7%、胺鲜酯 8.1%、复硝酚钠 6.7%、赤霉素 5.0%、噻苯隆 1.0%、氯吡脞 1.0%、烯效唑 0.7%。样品总体残留检出率较高,慢性膳食摄入风险为 0.001 0%~0.360 8%,对一般人群为“无不可接受风险”。中国桃不同主产区、不同时间桃果实中植物生长调节剂残留种类与残留量差异较大,南方地区应重视露地栽培桃树 7 月份的多效唑的使用,北方地区应关注设施栽培桃树 5 月份的植物生长调节剂的使用。建议农业技术推广人员根据地域、栽培模式、环境气候的差别,指导种植户科学使用植物生长调节剂。为保障中国居民膳食安全,应尽快制定桃果实中植物生长调节剂最大残留限量标准。

**关键词:** 桃; 植物生长调节剂; 残留; 风险评估

**中图分类号:** TQ452;S662.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2024)10-1962-08

## Residues and dietary intake risk assessment of eight plant growth regulators in peach fruits

HE Xin<sup>1,2,3</sup>, CHEN Jian<sup>2,3</sup>, LI Yong<sup>2,3</sup>, SONG Lixiao<sup>2,3</sup>, WANG Donglan<sup>2,3</sup>, YU Xiangyang<sup>1,2,3</sup>, CHEN Xiaolong<sup>2,3</sup>

(1.School of Ocean Food and Biological Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China; 2.Institute of Food Safety and Nutrition, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3.State Key Laboratory Cultivation Base, Ministry of Science and Technology/Jiangsu Key Laboratory for Food Quality and Safety, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Plant growth regulators have been widely used in peach production in China, but only one registered plant growth regulator, paclobutrazol·methylpyrazine, has been found on peaches. Additionally, there is no maximum residue limit standard for plant growth regulators on peaches in China. The small number of registered plant growth regulator products and the

收稿日期:2024-04-01

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项基金项目(CARS-30-5-03);江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(23)1015]

作者简介:何 欣(1996-),女,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为农产品质量与安全。(E-mail)1934641723@qq.com

通讯作者:余向阳,(E-mail)yuxy@jaas.ac.cn;陈小龙,(E-mail)20140008@jaas.ac.cn

lack of information such as safety intervals and medication intervals may lead to indiscriminate drug use, increasing the risk of residue and diet. To clarify the current situation of plant growth regulators residue on peach fruits in China's main peach production areas, we conducted a survey on the residue of eight plant growth regulators in 420 samples from 13 peach production areas, and analyzed the differences in production areas. The results showed that the detection rate of

residual plant growth regulators in peach fruits in the main production areas of China reached 71.4%, with pesticide detection rates of 60.0% for paclobutrazol, 21.7% for chlormequat, 8.1% for diethyl aminoethyl hexanoate, 6.7% for sodium nitrophenol, 5.0% for gibberellin, 1.0% for thidiazuron, 1.0% for forchlorfenuron, and 0.7% for uniconazole. The overall residual detection rate was high. The risk of chronic dietary intake was 0.001 0%–0.360 8%, which was no unacceptable risk for the general population. There were great differences in the types and amounts of plant growth regulator residues in peach fruits in different main producing areas and at different times in China. The southern region should pay attention to the use of paclobutrazol in peach trees cultivated in open field in July, and the northern region should pay attention to the use of plant growth regulators in peach trees cultivated in facilities in May. It was suggested that agricultural technology extension workers should guide growers to use plant growth regulators scientifically according to the differences in geography, cultivation modes and environmental climate. In order to ensure the dietary safety of Chinese residents, the maximum residue limit standard of plant growth regulators in peach fruits should be formulated as soon as possible.

**Key words:** *Prunus persica* (L.) Batsch; plant growth regulator; residue; risk assessment

植物生长调节剂(PGR)按功能可分为3大类:生长抑制剂、生长促进剂和生长延缓剂<sup>[1-2]</sup>。外源施加PGR可改变桃树的发育进程,如抑制新梢生长、打破休眠、促进花芽分化、增加结果母枝、提高种子和新梢的淀粉含量等<sup>[3-6]</sup>。与传统农药相比,PGR不仅毒性较低,而且可以有效改善作物品质,提高作物抗性等,因此被广泛应用于桃树栽培中。据统计,截至2024年6月28日,中国登记的PGR产品有1 906个,其中原药238个,制剂1 668个<sup>[7]</sup>,涉及54个有效成分,但桃生产中登记的PGR仅多效唑·甲哌鎇。由于登记的产品少,桃种植户施用其他调节剂时常参照其已登记作物的用药方案用药,可能会导致PGR施用过量甚至滥用,从而影响桃果实品质和食用安全<sup>[8]</sup>。相关研究表明,PGR会产生生殖毒性、肝肾毒性和免疫毒性等<sup>[9-11]</sup>,甚至有些PGR有致癌、致畸、致突等毒性<sup>[12]</sup>。为保障居民膳食安全,中国制定了苹果、葡萄、西瓜、橙等11种水果中PGR最大残留限量标准(GB 2763-2021)<sup>[13]</sup>,但还未制定桃果实中PGR的最大残留限量标准。由于登记的PGR产品少,缺乏安全用药指导且无最大残留限量标准,实际生产中桃农违规使用的PGR种类多,实际桃生产中PGR残留状况不清、风险不明。本研究采集中国13个桃主产区共420份鲜桃样品,对8种PGR进行了残留检测与膳食摄入风险分析,为保障桃膳食安全与PGR在桃生产上的科学使用提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

8种PGR标准品(纯度 $\geq 95\%$ ,德国Dr. Ehrenstorfer公司产品)、乙腈(德国Merck公司产品)、甲

醇(德国Merck公司产品)、甲酸铵(美国Fisher公司产品)均为色谱纯,无水硫酸镁(天津Agela有限公司产品)、C18(天津Agela有限公司产品)、氯化钠(国药集团化学试剂有限公司产品)均为分析纯,试验用水均为超纯水。

### 1.2 仪器与设备

6410-1200三重四极杆串联质谱(美国Agilent公司产品)、TG16-WS离心机(长沙湘智离心机仪器有限公司产品)、IKA组织研磨仪(德国IKA公司产品)、Direct-Q 5 UV型超纯水系统(美国Millipore公司产品)。

### 1.3 鲜桃样品采集

按照GB/T 8855<sup>[14]</sup>规定的取样方法,于2023年分别从江苏省、辽宁省、河北省、山东省、广西壮族自治区、河南省、四川省、福建省、湖北省、浙江省、北京市、甘肃省、陕西省共13个桃主产地采集了420份鲜桃样品,采样点覆盖中国桃栽培主产地面积的90%。桃样品成熟度为市售桃果实的8成,每个果园按照五点取样法进行取样,每份样品至少3 kg,采集后及时冷链运回实验室。

### 1.4 样品前处理

桃果实去核后将整果(包括果肉和果皮)加少许干冰研磨5 min,混匀,于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。样品前处理方法按照文献<sup>[15]</sup>与文献<sup>[16]</sup>的专利方法改进,称取10 g桃果实粉碎后样品,置于50 mL离心管中,加入20 mL乙酸-乙腈溶液(1%),振荡2 min,超声波提取15 min,加入3 g无水 $\text{MgSO}_4$ 和1 g NaCl,涡旋振荡1 min,5 000 r/min离心5 min,取1 mL上清液,加入0.15 g无水 $\text{MgSO}_4$ 和0.05 g C18,振荡2 min,5 000 r/min离心5 min,过0.22  $\mu\text{m}$ 有机系滤膜,用纯水稀释50倍后待测。

### 1.5 液相色谱串联质谱检测方法

色谱条件:ACQUITY UPLC HSS T3 色谱柱(美国 Waters 公司产品),流动相 A 为甲酸铵溶液(2 mmol/L),流动相 B 为甲醇。色谱柱规格 2.1 mm×100.0 mm,1.8 μm,温度 40 ℃,流速 0.4 mL/min,进样量 1.0 μL。梯度洗脱程序<sup>[16]</sup>为 0~0.5 min,98%流动相 A;0.5~6.0 min,98%~10%流动相 A;6.0~8.0 min,10%流动相 A;8.0~13.0 min,10%~98%流动相 A。

质谱条件:ESI 离子源,MRM 模式,扫描参数见表 1,离子源温度 150 ℃,毛细管电压 0.5 kV,脱溶剂气温度 600 ℃,脱溶剂气流速 1 000 L/h。

### 1.6 检测方法验证

以空白桃果实样品提取净化后溶液作为溶剂,配制基质匹配标准溶液,复硝酚钠质量浓度分别为 2.5 ng/L、10.0 ng/L、25.0 ng/L;赤霉素质量浓度分别为 5.0 ng/L、20.0 ng/L、50.0 ng/L;矮壮素、胺鲜酯、多效唑、烯效唑、噻苯隆、氯吡脞质量浓度分别为 0.5 ng/L、2.0 ng/L、5.0 ng/L,测定各待测 PGR 的峰面积,以基质匹配标准溶液质量浓度( $x$ )为横坐标,峰面积( $y$ )为纵坐标,绘制各 PGR 的基质匹配标准曲线。通过向待测空白桃果实样品中添加 1 倍定量限与 4 倍定量限 2 个浓度水平的 PGR 标准溶液,每个浓度 3 个重复,确认测定方法的准确度和精密度。

### 1.7 慢性膳食摄入风险评估

按照以下公式计算桃果实中 PGR 残留对慢性膳食摄入风险的贡献( $\%ADI$ )<sup>[17]</sup>。

$$\%ADI = \frac{STMR \times 0.022}{bw \times ADI} \times 100\%$$

(1)

公式中  $STMR$  为抽样检测平均残留值(mg/kg);0.022 为居民日均桃果实消费量(kg)<sup>[15,18]</sup>;  $bw$  为体重,按 63 kg 计<sup>[19]</sup>;  $ADI$  为每日允许摄入量。由于缺

少中国居民桃果实消费的大份餐数据,因此未进行急性膳食摄入风险评估。

## 2 结果与分析

### 2.1 检测方法验证

如表 2 所示,在相应的线性范围内质量浓度与其峰面积间具有良好的线性关系,相关系数 $\geq 0.998\ 7$ 。如表 3 所示,8 种 PGR 的平均回收率在 60.0%至 100.0%之间,相对标准偏差在 0 至 13.3%之间,均小于 15.0%,符合中华人民共和国原农业部第 2386 号公告《农药残留检测方法国家标准编制指南》中关于农药残留检测的要求,说明检测方法可靠。8 种 PGR 提取离子色谱图见图 1。

表 1 8 种植物生长调节剂的保留时间、特征离子和扫描参数  
Table 1 Retention time, characteristic ions, and scanning parameters of eight plant growth regulators

植物生长调节剂	电离方式	保留时间 (min)	离子对 ( $m/z$ )	碰撞能量 (V)
矮壮素	ESI+	1.02	122.0>58.0	21
			122.0>59.0	18
赤霉素	ESI-	4.25	345.1>143.0	16
			345.1>239.2	13
复硝酚钠	ESI-	5.12	168.0>123.0	16
			168.0>153.0	13
噻苯隆	ESI+	5.81	221.0>93.9	15
			221.0>102.0	15
胺鲜酯	ESI+	5.83	216.2>71.2	25
			216.2>100.2	16
氯吡脞	ESI+	6.40	248.1>93.0	35
			248.1>129.0	15
多效唑	ESI+	6.84	294.1>125.1	35
			294.1>70.2	20
烯效唑	ESI+	7.17	292.1>125.0	30
			292.1>69.9	20

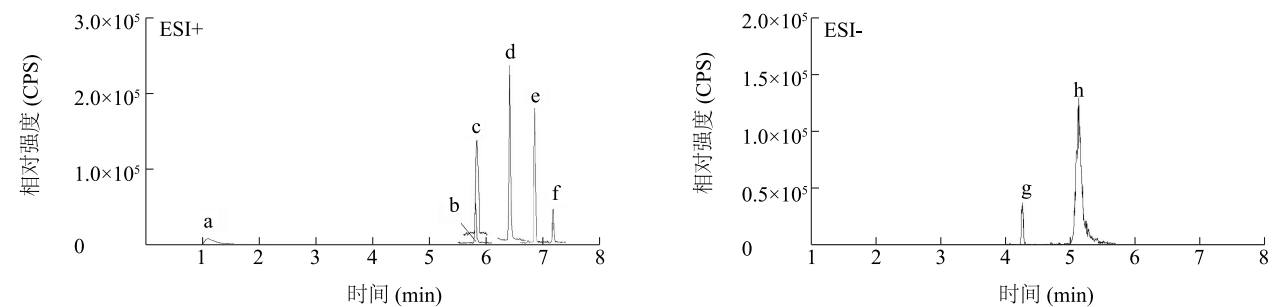
表 2 8 种植物生长调节剂的基质匹配标准曲线、相关系数、检测限与定量限

Table 2 Matrix matching standard curves, correlation coefficients, quantification limits and detection limits for eight plant growth regulators

植物生长调节剂	线性范围 (ng/g)	基质匹配标准曲线	相关系数	检测限 (ng/g)	定量限 (ng/g)
矮壮素	0.5~5.0	$Y=2.13\times10^4x+1.65\times10^2$	0.999 9	0.2	0.5
赤霉素	5.0~50.0	$Y=1.65\times10^2x+2.99\times10^1$	0.999 5	2.0	5.0
复硝酚钠	2.5~25.0	$Y=2.35\times10^2x+8.11\times10^3$	0.999 8	0.8	2.5
噻苯隆	0.5~5.0	$Y=3.01\times10^4x+1.72\times10^3$	0.999 9	0.2	0.5
胺鲜酯	0.5~5.0	$Y=1.20\times10^5x+3.91\times10^3$	0.999 9	0.2	0.5
氯吡脞	0.5~5.0	$Y=9.74\times10^4x+7.12\times10^3$	0.999 8	0.2	0.5
多效唑	0.5~5.0	$Y=8.16\times10^4x+5.30\times10^3$	0.998 7	0.2	0.5
烯效唑	0.5~5.0	$Y=2.27\times10^4x+1.16\times10^2$	0.999 8	0.2	0.5

表 3 8 种植物生长调节剂检测方法准确度、精密度  
Table 3 Accuracy and precision of the detection methods of eight plant growth regulators

植物生长 调节剂	添加水平 (ng/g)	回收率(%)			平均回收率 (%)	相对标准差 (%)
		I	II	III		
矮壮素	0.5	65.0	65.0	65.0	60.0	0
	2.0	85.0	85.0	80.0	83.3	1.6
赤霉素	5.0	72.0	60.0	68.0	66.7	9.2
	20.0	91.0	91.0	88.5	90.2	1.6
复硝酚钠	2.5	68.0	68.0	60.0	65.3	7.1
	10.0	85.0	81.0	81.0	82.3	2.8
噻苯隆	0.5	80.0	80.0	80.0	80.0	0
	2.0	95.0	90.0	90.0	91.7	3.1
胺鲜酯	0.5	100.0	80.0	80.0	86.7	13.3
	2.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0
氯吡脞	0.5	80.0	80.0	80.0	80.0	0
	2.0	95.0	90.0	90.0	91.7	3.1
多效唑	0.5	80.0	80.0	80.0	80.0	0
	2.0	95.0	90.0	90.0	91.7	3.1
烯效唑	0.5	80.0	80.0	80.0	80.0	0
	2.0	95.0	95.0	90.0	93.3	3.1



a:矮壮素,b:噻苯隆,c: 胺鲜酯,d:氯吡脞,e:多效唑,f:烯效唑,g:赤霉素,h:复硝酚钠。

图 1 8 种植物生长调节剂提取离子色谱图

Fig.1 Ion chromatograms extracted from eight plant growth regulators

2.2 桃果实中 8 种植物生长调节剂总体检出水平

420 份样品中,共有 300 份样品检出 1 种或多种 PGR,总体检出率达 71.4%,单个样品最多检出 4 种 PGR。如图 2 所示,检出 1 种、2 种、3 种与 4 种 PGR 残留的样品个数(检出率)分别为 201 个(47.9%)、72 个(17.1%)、19 个(4.5%)与 8 个(1.9%)。由表 4 可知,8 种 PGR 检出率由高到低排序分别为多效唑(60.0%)、矮壮素(21.7%)、胺鲜酯(8.1%)、复硝酚钠(6.7%)、赤霉素(5.0%)、噻苯隆(1.0%)、氯吡

脞(1.0%)、烯效唑(0.7%)。检出的 PGR 中 81.7%为植物生长延缓剂(多效唑、矮壮素),主要原因是种植户为防止桃树旺长<sup>[20]</sup>,应用植物生长延缓剂控制其新梢生长。对比甜瓜中多效唑检出率(11.48%)<sup>[21]</sup>,桃果实中多效唑残留风险值得关注。另外,桃果实中矮壮素和赤霉素检出率大于葡萄中矮壮素检出率(5.3%)和赤霉素检出率(2.6%)<sup>[22]</sup>。复硝酚钠在冬枣、樱桃、蓝莓和葡萄中的检出率超过 60.0%<sup>[23-24]</sup>,氯吡脞在猕猴桃中的检出率为 37.19%<sup>[25]</sup>,相对而言,桃果实中复硝

酚钠和氯吡脞的残留率较低。

### 2.3 桃果实中 8 种植物生长调节剂总体超标水平

由于中国还未制定桃果实中植物生长调节剂最大残留限量标准,因此无法判定是否超标。从《食品安全国家标准食品中农药最大残留限量》(GB-2763)可知,除赤霉素外中国已在其他作物中制定了相关 PGR 最大残留限量值(表 4),如多效唑在苹果、荔枝果实中最大残留限量值为 0.50 mg/kg,芒果中最大残留限量值为 0.05 mg/kg,本研究中桃果实中多效唑残留最大值为 1 342.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,超过了苹果、荔枝、芒果最大残留限量值;多效唑残留平均值为 63.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,超过了芒果最大残留限量值,因此中国亟需制定桃果实上多效唑的最大残留限量值。复硝酚钠在桃果实中检出的残留量最大值为 123.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,检出率 6.7%,参照橙最大残留限量值 0.10 mg/kg(100.00  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ),复硝酚钠在桃果实中

残留超标。矮壮素、胺鲜酯、氯吡脞、烯效唑的最大检出值分别为 418.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、44.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、2.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、25.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,参照已制定作物的最大残留限量值,无超标现象。

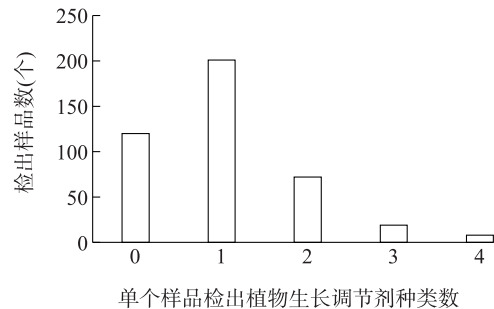


图 2 单个样品检出的植物生长调节剂种类数

Fig.2 Number of plant growth regulators detected in a single sample

表 4 样品中 8 种植物生长调节剂总体检出情况

Table 4 Detection of eight plant growth regulators in samples

植物生长调节剂	检出有植物生长调节剂残留的样品数量(个)	检出率(%)	检出植物生长调节剂残留最大值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	检出植物生长调节剂残留最小值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	检出植物生长调节剂残留平均值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	所有样品植物生长调节剂残留平均值* ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	已制定的标准	
							作物	最大残留限量值( $\text{mg}/\text{kg}$ )
多效唑	252	60.0	1 342.6	0.7	63.4	38.1	苹果	0.50
							荔枝	0.50
							芒果	0.05
矮壮素	91	21.7	418.1	0.6	18.1	4.1	番茄	1.00
胺鲜酯	34	8.1	44.6	0.7	5.2	0.7	普通白菜	0.05
							菜用大豆	0.05
复硝酚钠	28	6.7	123.2	2.8	39.9	3.1	橙	0.10
赤霉素	21	5.0	90.3	5.1	35.2	2.0	-	
噻苯隆	4	1.0	67.2	0.6	23.1	0.5	苹果	0.05
							枣	0.05
氯吡脞	4	1.0	2.3	0.7	1.5	0.3	猕猴桃	0.05
							葡萄	0.05
烯效唑	3	0.7	25.9	1.1	9.4	0.6	柑	0.30
							橘	0.30
							橙	0.30

\* 表示未检出植物生长调节剂残留的样品按照检出限一半计。

### 2.4 桃果实中植物生长调节剂慢性膳食摄入风险评估

由表 5 可知,中国 13 个桃主产区 8 种 PGR 慢性膳食摄入风险值为 0.001 0%~0.360 8%,远低于 100%,对一般人群为“无不可接受风险”。复硝酚钠慢性膳食摄入风险值相对较高,主要原因是复硝

酚钠的每日允许摄入量 ADI 值相对更低,毒性相对较大,因此需要更加关注复硝酚钠的慢性膳食摄入风险。

### 2.5 不同地域桃果实中植物生长调节剂残留差异

不同地域植物生长调节剂检出差异比较采用  $\chi^2$  检验,两两比较采用 DUNN test 检验,通过 Bonfer-



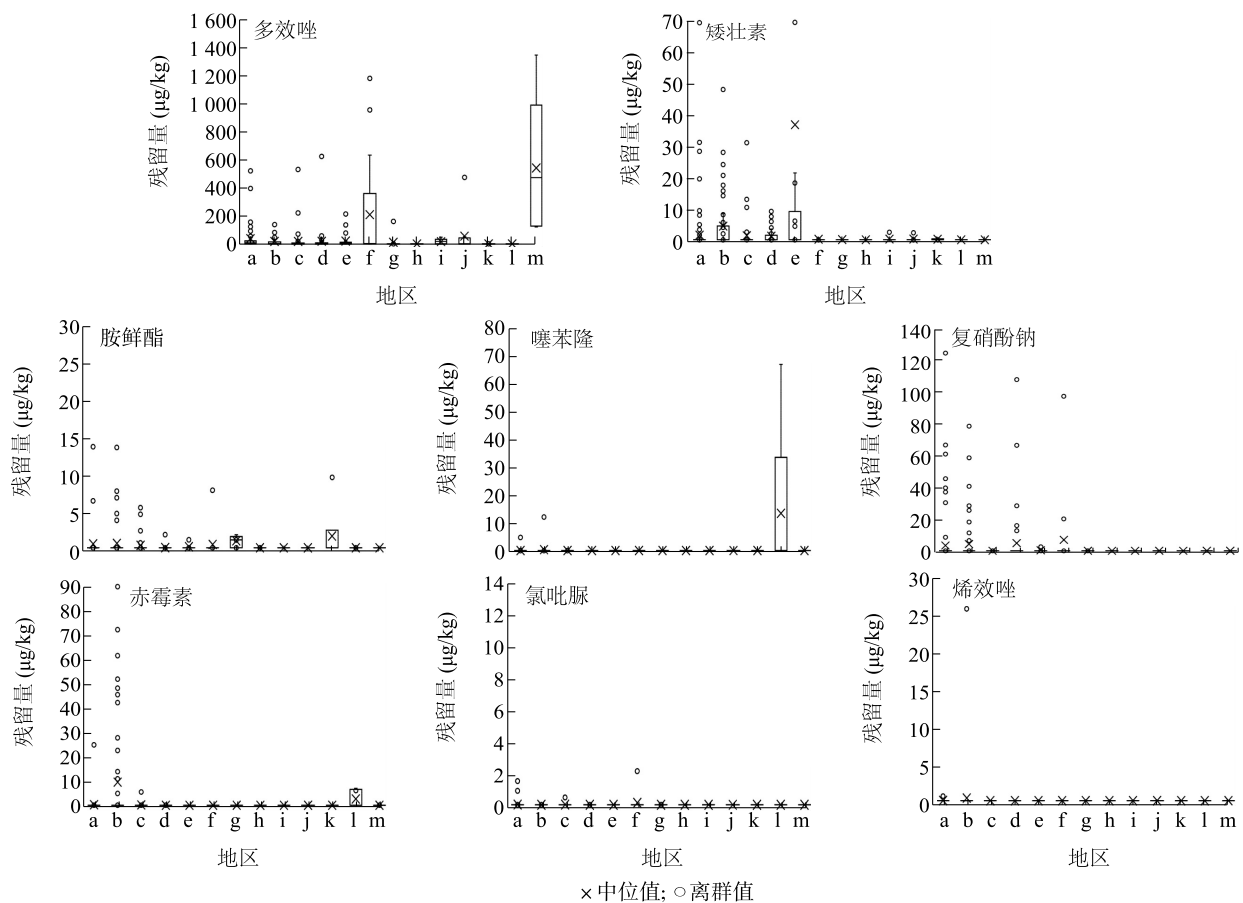
roni 校正法调整显著性值 ( $P < 0.05$ )。结果如图 3 所示,陕西、河南桃主产区桃果实中多效唑残留水平与其他省(市、自治区)之间具有显著差异,陕西桃主产区桃果实中检出多效唑残留量最大值高达  $1\,342.6\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ,急性膳食摄入风险相对较大;河南桃主产区桃果实中检出多效唑残留量平均值为  $540.0\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ,应加强河南、陕西两地桃主产区多效唑施用指导。甘肃桃主产区桃果实中噻苯隆残留水平与其他省(市、自治区)之间具有显著差异,虽然桃果实中噻苯隆残留平均值相对其他省(市、自治区)高,但总体检出量均较低。总体上河北、辽宁、江苏桃主产区桃果实中矮壮素残留量平均值低,与各省(市、自治区)之间无显著差异,但个别样品残留量高,因此应关注河北、辽宁、江苏 3 地桃主产区桃果实中矮壮素的急性膳食摄入风险,加强矮壮素施用指导。13 个省(市、自治区)桃主产区桃果实中赤霉素残留

水平无显著性差异,但辽宁个别样品赤霉素残留水平相对较高,应关注辽宁桃主产区桃果实中赤霉素急性膳食摄入风险。

表 5 桃果实中 8 种植物生长调节剂慢性膳食摄入风险

Table 5 Chronic dietary intake risk of eight plant growth regulators in peach fruits

生长调节剂	残留中值 ( $\text{mg}/\text{kg}$ )	每日允许摄入量 ( $\text{mg}/\text{kg}$ , 体重)	慢性膳食摄入 风险(%)
多效唑	0.038 1	0.100	0.133 0
矮壮素	0.004 1	0.050	0.028 6
胺鲜酯	0.000 7	0.023	0.010 6
复硝酚钠	0.003 1	0.003	0.360 8
赤霉素	0.002 0	0.680	0.001 0
噻苯隆	0.000 5	0.040	0.004 4
氯吡脞	0.000 3	0.070	0.001 5
烯效唑	0.000 6	0.020	0.010 5



a: 江苏; b: 辽宁; c: 河北; d: 山东; e: 广西; f: 河南; g: 四川; h: 福建; i: 湖北; j: 浙江; k: 北京; l: 甘肃; m: 陕西。

图 3 不同区域桃果实中 8 种植物生长调节剂检出量箱线图

Fig.3 Box plots of the detection of eight plant growth regulators in peach fruits in different regions

## 2.6 不同时间段植物生长调节剂残留差异

如图 4 所示,采样时间集中于 2023 年 5-9 月,按照 8 种 PGR 总体检出量平均值进行汇总,总体检出量平均值按月份分布规律为 7 月>5 月>6 月,不同产地检出量平均值时间分布规律具有差异性,辽宁 5 月检出量平均值最高,山东 6 月检出量平均值最高,江苏 7 月检出量平均值最高。不同月份检出的 PGR 种类不同,总体情况是 5 月份检出的残留植物生长调节剂以多效唑、赤霉素、复硝酚钠、矮壮素为主,6 月份和 8 月份以多效唑为主。不同月份 PGR 检出量不同与当地栽培措施相关。辽宁、山东

两省 5-6 月桃树以早熟设施栽培为主,桃幼树营养生长旺盛,枝条年生长量大,树冠郁闭,通风透光不良<sup>[26]</sup>,需要施用多效唑或矮壮素来抑制营养生长促进生殖生长。江苏省 7 月份植物生长调节剂检出量高,主要是因为该省桃树以露地栽培为主,夏季高温高湿,常遇连续阴雨天气。连续阴雨天光照不足,易导致桃树新梢徒长<sup>[27]</sup>,需要施用多效唑来抑制营养生长,提高叶片光合能力<sup>[28]</sup>。因此应根据不同植物生长调节剂的用途,加强分类施用指导,提高植物生长调节剂使用效率,减少残留,保证食品安全。

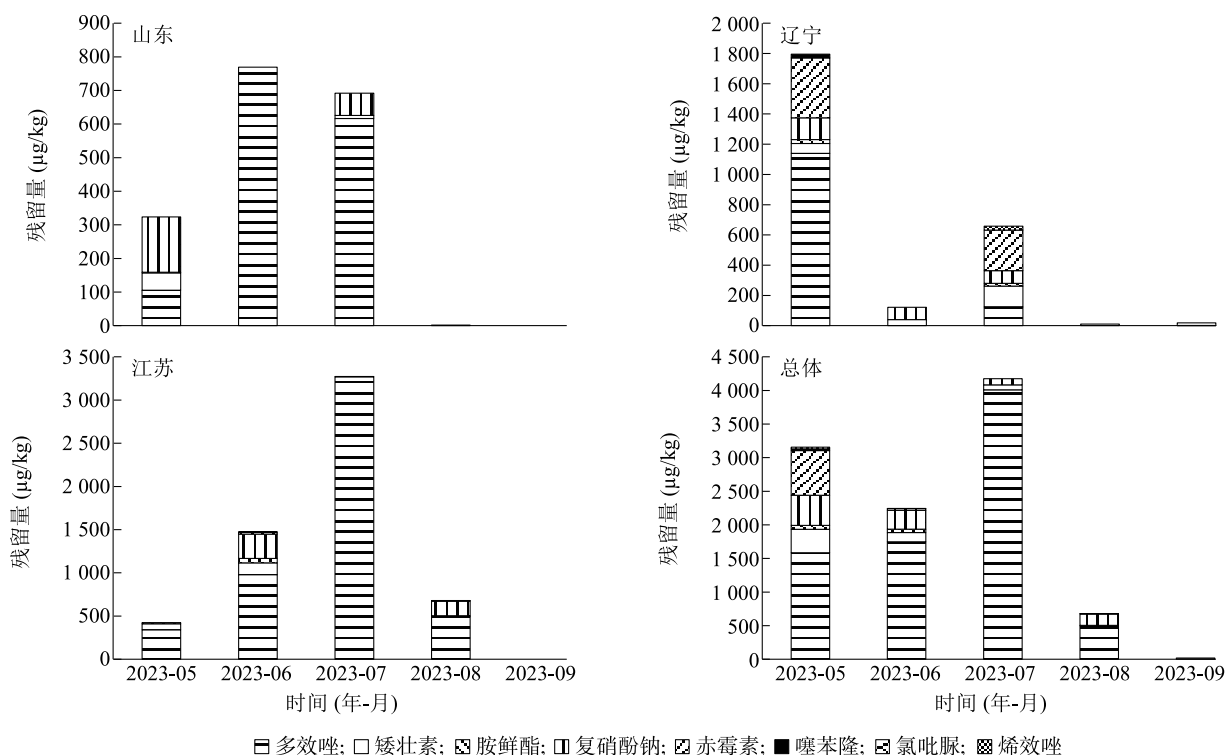


图 4 桃果实中 8 种植物生长调节剂检出时间分布规律

Fig.4 Detection time distribution of eight plant growth regulators in peach fruits

## 3 结论与建议

中国主产区桃果实中 PGR 残留检出率达到 71.4%, 8 种 PGR 检出率由高到低排序为多效唑 (60.0%)、矮壮素 (21.7%)、胺鲜酯 (8.1%)、复硝酚钠 (6.7%)、赤霉素 (5.0%)、噻苯隆 (1.0%)、氯吡脞 (1.0%)、烯效唑 (0.7%), 慢性膳食摄入风险值为 0.001 0%~0.360 8%, 远低于 100%, 对一般人群为“无不可接受风险”。但由于缺少中国居民

食用桃果实大份餐数据,无法进行急性膳食摄入风险分析,但桃果实中检出植物生长调节剂残留量较高,为保障中国居民膳食安全,亟需制定桃果实中 PGR 最大残留限量标准。不同地域、不同月份植物生长调节剂残留种类与残留量具有差异,农技推广人员应根据地域、栽培模式、环境气候的差别,科学指导种植户使用 PGR。如加强河南、陕西桃主产地多效唑的施用指导,加强广西、河北、辽宁与江苏桃主产地矮壮素的施用指导。桃树上已登记的 PGR

仅多效唑·甲哌鎗,无法满足桃的生产需求,建议农药企业按照需求进行相关登记,明确用药量、用药时间与安全间隔期,进而保障桃生产需求。

## 参考文献:

- [1] RADEMACHER W. Plant growth regulators; backgrounds and uses in plant production[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2015, 34: 845-872.
- [2] NISHIJIMA T. Use of plant growth regulators for floriculture in Japan[J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, 309: 111630.
- [3] MONGE E, AGUIRRE R, BLANCO A. Application of paclobutrazol and GA3 to adult peach trees; effects on nutritional status and photosynthetic pigments[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1994, 13: 15-19.
- [4] 安丽君, 金 亮, 杨春琴, 等. 外源赤霉素对桃的成花效应及其作用机制[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 605-611.
- [5] 范伟国, 孔凡来, 贾 霞. 新川中岛桃花期及花果质量的赤霉素调控[J]. *山西果树*, 2009(2): 8-10.
- [6] 杜纪红, 叶正文, 苏明申, 等. 多效唑和摘心处理对油桃果实发育和新梢生长量以及各器官碳水化合物含量的影响[J]. *上海农业学报*, 2022, 38(3): 7-13.
- [7] 农业农村部农药检定所. 农药登记数据[DB/OL]. (2023-12-01) [2024-01-20]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [8] 岳可心, 闫伊萌, 张鸿旭, 等. 植物生长调节剂的毒性研究进展[J]. *农药*, 2021, 60(4): 239-243, 276.
- [9] ALMEIDA C, CARDOSO M F, SOUSA M, et al. Quantitative study of caspase-3 activity in semen and after swim-up preparation in relation to sperm quality[J]. *Human Reproduction*, 2005, 20(5): 1307-1313.
- [10] TROUDI A, AMARA I B, SAMET A M, et al. Oxidative stress induced by 2,4-phenoxyacetic acid in liver of female rats and their progeny: biochemical and histopathological studies[J]. *Environmental Toxicology*, 2012, 27(3): 137-145.
- [11] ISIK I, CELIK I. Investigation of neurotoxic and immunotoxic effects of some plant growth regulators at subacute and subchronic applications on rats[J]. *Toxicology and Industrial Health*, 2015, 31(12): 1095-1105.
- [12] HUSSAIN A, AUDIRA G, SIREGAR P, et al. Waterborne exposure of paclobutrazol at environmental relevant concentration induce locomotion hyperactivity in larvae and anxiolytic exploratory behavior in adult zebrafish[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(13): 4632.
- [13] 国家卫生健康委员会, 农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准食品中农药最大残留限量: GB 2763-2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 新鲜水果和蔬菜取样方法: GB/T 8855-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] 陈小龙, 王 亚, 程金金, 等. 啉虫脒在桃上的残留消解规律与膳食风险评估[J]. *农药学报*, 2021, 23(3): 545-551.
- [16] 刘腾飞, 杨代凤, 陆皓茜, 等. 一种基于液质联用方法的快速样品前处理装置: CN202120360355 [P]. 2021-02-07.
- [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] 吕 健, 毕金峰, 赵晓燕, 等. 国内外桃加工技术研究进展[J]. *食品与机械*, 2012, 28(1): 268-271, 274.
- [19] 王陇德, 齐小秋, 陈传宏, 等. 中国居民营养与健康状况调查报告: 2002 综合报告[R]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
- [20] SHARMA S K, DHAR S. Using paclobutrazol and leaf-to-fruit-ratio as tools for improving yield and quality of non-dwarfing high-density peach orchards[J]. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2023, 35(16): 85-99.
- [21] 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/OL]. *现代食品科技*, 2024, 40(4): 303-311. DOI: [org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.05137](https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.05137).
- [22] 兰 丰. 水果中复硝酚钠的残留分析及膳食风险评估[J]. *中国口岸科学技术*, 2020(10): 81-88.
- [23] 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.
- [24] 金 静, 王 霞, 秦 曙. 番茄中复硝酚钠、胺鲜酯残留量的分析检测[J]. *农药*, 2023, 62(3): 206-212.
- [25] 邓 文, 史利刚, 武剑洲, 等. 眉县猕猴桃农药残留风险评估[J]. *现代农业科技*, 2024(5): 169-174, 181.
- [26] XI W P, ZHANG Q Y, LU X Y, et al. Improvement of flavour quality and consumer acceptance during postharvest ripening in greenhouse peaches by carbon dioxide enrichment[J]. *Food Chemistry*, 2014, 164: 219-227.
- [27] 王召元, 李永红, 常瑞丰, 等. 设施桃果实品质的影响因素及改善措施[J]. *河北果树*, 2017(6): 22-24.
- [28] KISHORE K, SINGH H S, KURIAN R M. Paclobutrazol use in perennial fruit crops and its residual effects: a review[J]. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 85(7): 863-872.

(责任编辑: 黄克玲)