

# 我国豇豆的质量安全状况及安全生产研究进展

罗俊霞<sup>1</sup>, 郭志刚<sup>2</sup>, 申战宾<sup>1</sup>, 段鹿梅<sup>1</sup>, 李艳珍<sup>3</sup>, 豆志培<sup>3</sup>,  
张启成<sup>4</sup>, 赵建波<sup>4</sup>, 苏鹤<sup>5</sup>, 介领军<sup>4</sup>, 刘燕敏<sup>4</sup>

(1. 郑州市产品质量检验检测中心 郑州 450006; 2. 杞县农业农村局 河南杞县 475200; 3. 开封市产品质量检验检测中心 河南开封 475000; 4. 郑州市农业技术推广中心 郑州 450002; 5. 河南省经济作物推广总站 郑州 450002)

**摘要:**近年来,豇豆质量安全状况不容忽视,主要存在农药残留和重金属两方面的污染。在农药残留方面,影响其质量安全的风险因子包括违规使用禁限用农药、常规农药超限量使用和多残留共存;在重金属方面,传统的重金属元素是影响其质量安全的风险因子之一,有益微量元素含量过高也会影响其质量安全。为了全面提高豇豆的质量安全水平,在生产中要探明各种危害因子产生的主要环节,分析其关键控制点,在豇豆生产过程中对各种风险因子的关键控制点进行有效控制。通过分析,揭示了豇豆中农药残留半衰期与自身代谢量及豇豆干物质累积量之间的关系、豇豆器官的生长时长与重金属累积量之间的关系,据此提示豇豆生产中,要根据豇豆的病虫害发生规律适时施药,根据农药在豇豆体内的半衰期精准施药,根据豇豆的生长阶段匹配施用合适安全间隔期的农药,以控制豇豆产品的农药残留;并加强产前产地的选择,根据产地重金属的检出情况,有针对性地选择种植重金属低累积的豇豆品种,以控制豇豆产品的重金属残留。

**关键词:**豇豆;重金属;农药残留;质量安全

中图分类号:S643.4

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)10-009-09

## Research progress on the quality and safety status and safety production of cowpea in China

LUO Junxia<sup>1</sup>, GUO Zhigang<sup>2</sup>, SHEN Zhanbin<sup>1</sup>, DUAN Lumei<sup>1</sup>, LI Yanzhen<sup>3</sup>, DOU Zhipei<sup>3</sup>, ZHANG Qicheng<sup>4</sup>, ZHAO Jianbo<sup>4</sup>, SU He<sup>5</sup>, JIE Lingjun<sup>4</sup>, LIU Yanmin<sup>4</sup>

(1. Zhengzhou Product Quality Testing and Distribution Center, Zhengzhou 450006, Henan, China; 2. Qixian Agriculture and Rural Bureau, Qixian 475200, Henan, China; 3. Kaifeng Product Quality Testing and Distribution Center, Kaifeng 475000, Henan, China; 4. Zhengzhou Agricultural Technology Extension Centre, Zhengzhou 450002, Henan, China; 5. Henan Provincial Economic Crop Promotion Station, Zhengzhou 450002, Henan, China)

**Abstract:** In recent years, the quality and safety of cowpeas has drawn significant attention, primarily due to contamination issues related to pesticide residues and heavy metals. In terms of pesticide residues, the key risk factors affecting their quality and safety include the illegal use of banned or restricted pesticides, excessive use of conventional pesticides, and the coexistent of multiple residues. Regarding heavy metals, traditional heavy metal elements are one of the risk factors affecting their quality and safety, while excessively high levels of beneficial trace elements in the human body can also affect their quality and safety. In order to comprehensively improve the quality and safety level of cowpea, it is essential to identify the primary sources of various hazards during production, analyze their key control points, and implement effective measures to manage these risk factors. Through analysis, the relationship between the half-life of pesticide residues in cowpea and its own metabolic amount, as well as the relationship between the growth duration of cowpea organs and the accumulation of heavy metals, have been revealed. This suggests that during cowpea production, pesticides should be applied in a timely manner according to the occurrence patterns of pests and diseases, and precisely applied according to the half-life of pesticides within the plant to control pesticide residues in the cowpea products. Furthermore, the selection of production sites should be strengthened, and based on the detection of heavy metals in production sites, targeted selection of cowpea varieties with low accumulation of heavy metals should be made to control heavy metal residues in cowpea products.

**Key words:** Cowpea; Heavy metal; Pesticide residue; Quality and safety

收稿日期:2025-05-06;修回日期:2025-07-25

作者简介:罗俊霞,女,高级农艺师,主要从事农产品质量检测与研究工作。E-mail:13838293802@139.com

通信作者:申战宾,男,农艺师,主要从事农产品质量检测与研究工作。E-mail:13939021082@139.com

赵建波,男,正高级农艺师,主要从事农业技术推广与研究工作。E-mail:71819@163.com

豇豆属于豇豆属一年生蔬菜[*Vigna unguiculata* (Linn.) Walp.]，是重要的豆科作物，在热带、亚热带及部分温带地区广泛种植，在我国也有悠久的种植历史。我国豇豆常年栽培面积在 3.33 万  $\text{hm}^2$  以上，占比超过蔬菜种植面积的 10%<sup>[1]</sup>。豇豆种植过程中病虫害发生较为严重，易被真菌、细菌侵染发生锈病、叶霉病、白粉病等病害，还易发生蚜虫、蓟马、烟粉虱等虫害，蚜虫类小型害虫会传播病毒，导致其发生病毒病<sup>[2]</sup>。为防治病虫害，在豇豆生产中不可避免地要施用农药，长期过量及不合理施用农药造成豇豆农药残留超标；经调查，为提高豇豆经济收益，生产中投入大量化肥，有些农户甚至使用污水进行灌溉，造成不同程度的重金属污染。目前，豇豆质量安全问题已经引起国家高度重视，农业农村部制定了《豇豆农药残留突出问题攻坚治理考核细则》，2021 年农业农村部等 7 部门联合实施为期 3 年的食用农产品“治违禁 控药残 促提升”行动，豇豆是该行动重点治理的蔬菜之一，然而，自该行动实施以来，豇豆农药残留的不合格率不降反升<sup>[3]</sup>。因此，有必要摸清我国豇豆的质量安全状况，了解危害豇豆质量安全的风险来源并探明其风险因子，确定质量安全风险的关键控制点，分析其原因并严格加以控制，以全面提高豇豆的质量安全水平。为此，笔者研读了大量豇豆质量安全风险评估方面的相关文献，就其质量安全风险来源及风险评估相关问题进行述评，以期为豇豆安全品质的提高提供一定的借鉴。

## 1 豇豆质量安全风险来源

### 1.1 农药残留

农药是农业生产中不可或缺的生产资料，为农产品的有效增产发挥了不可磨灭的作用，但其滥用给农产品质量安全带来的风险也显而易见，也是危害豇豆质量安全重要的风险来源。据食品安全抽检公布结果系统数据查询，2014 年 1 月至 2022 年 3 月、2022 年 3 月至 2023 年 6 月、2023 年 6—11 月期间，豇豆不合格率分别为 4.55%、9.33%、6.78%；李卫东等<sup>[3]</sup>对农业农村部和上海地产豇豆抽检结果进行汇总，结果显示，2023 年 5—7 月，北京、天津豇豆不合格率为 1.13%，2021 年 1 月至 2023 年 12 月，上海豇豆不合格率为 1.04%。目前，国家已经发布多个禁限用农药规范性文件，将有机氯类农药六六六、艾氏剂等，有机磷类农药甲胺磷、对硫磷等，有机氮类农药杀虫脒，苯基吡唑类农药氟虫胺等，

共 50 种农药列入禁用农药名录，限制涕灭威、内吸磷、氟虫腈等 22 种农药的使用范围，禁止毒死蜱、乙酰甲胺磷、甲基异柳磷、涕灭威、灭线磷、内吸磷、硫环磷、氯唑磷、甲拌磷、克百威、灭多威、氧乐果、水胺硫磷等 10 多种高毒、剧毒农药在蔬菜上使用<sup>[4]</sup>。但在豇豆中依然检出了氧乐果<sup>[5]</sup>、甲拌磷<sup>[5]</sup>等禁止在蔬菜上使用的农药，豇豆质量安全状况令人担忧。

1.1.1 豇豆中各种农药残留的检出状况 (1) 农药残留检出率偏高。农药残留检出率偏高包括 2 个方面，即豇豆样品的农药残留检出率偏高和检出农药占施检农药的百分比偏高，但由于施检农药范围不一，且所使用检测仪器的灵敏度存在差异，导致各地豇豆检出的农药差别较大。如对西北某六地蔬菜生产基地抽取 120 个豇豆样品进行 389 种农药残留的测定，其中有 79 个豇豆中检出 34 种残留农药，豇豆样品农药残留的检出率为 65.83%，检出的农药占施检农药的 8.74%<sup>[5]</sup>。对陕西省 15 份豇豆实施 11 种杀菌剂的检测，有 12 份豇豆检出 8 种杀菌剂，样品检出率 86.67%，农药检出率 72.73%<sup>[6]</sup>。测定海南省地区豇豆样品中的 10 种新烟碱类杀虫剂，56 份样品中有 15 份检出了 5 种农药残留，样品检出率为 26.79%，农药检出率 50%<sup>[7]</sup>。对海南地区豇豆实施 7 种植物生长调节剂的检测，100% 的样品有检出，7 种植物生长调节剂检出了 3 种，农药的检出率为 42.86%<sup>[8]</sup>。2023 年，对福建省蔬菜生产基地抽取 522 个豇豆样品进行 91 种农药残留检测，有 322 个样品共检出 56 种农药残留，样品检出率为 61.69%，农药检出率是 61.54%<sup>[9]</sup>。对湖南省<sup>[10]</sup>和浙江省<sup>[11]</sup>市售豇豆进行包括 11 种有机磷、2 种氨基甲酸酯、2 种抗生素类杀虫剂、4 种新烟碱类杀虫剂、2 种拟除虫菊酯类杀虫剂及灭蝇胺在内的 22 种农药残留的检测，湖南省市售豇豆检出了 18 种农药，农药检出率是 81.82%；浙江省市售豇豆样品检出率 60.27%，检出的农药占施检农药的 86.36%。对 2013—2016 年重庆地产豇豆进行 19 种农药残留的检测，共检出 14 种农药残留，农药检出率是 73.68%<sup>[12]</sup>。吉林省长春市 2021 年流通领域豇豆抽检结果显示，豇豆中农药残留检出率为 72.7%、超标率为 15.9%<sup>[13]</sup>。

(2) 禁限用农药时有检出，常规农药时有超标。禁用农药指国家发布公告明确禁止在国内销售和使用的农药，限用农药指剧毒、高毒以及对销售和使用有特殊要求的农药；截至 2023 年底，我国

已公布 72 种禁限用农药(禁用农药 50 种,限用农药 22 种)<sup>[4]</sup>。目前,我国豇豆上禁限用农药不仅时有检出,而且检出频次较高,李自芹等<sup>[5]</sup>、张丽等<sup>[10]</sup>、汪雨龙等<sup>[11]</sup>、龚久平等<sup>[12]</sup>、聂宏骞等<sup>[14]</sup>、梁靖凯等<sup>[15]</sup>、蒲云霞等<sup>[16]</sup>、王兰兰等<sup>[17]</sup>、段云等<sup>[18]</sup>、陈玲欢等<sup>[19]</sup>分别从各省份豇豆中检出了如毒死蜱、甲拌磷及其代谢物甲拌磷砒、甲拌磷亚砒、甲胺磷、乙酰甲胺磷、氧乐果、水胺硫磷、甲基异柳磷、三唑磷、 $\alpha$ -硫丹、克百威、氟虫腈、灭多威、克百威等禁限用农药中的一种或者多种。李自芹等<sup>[5]</sup>在西北六地豇豆中检出禁止在蔬菜上使用的毒死蜱和甲拌磷,二者检出率分别是 3.33%、0.83%;张丽等<sup>[10]</sup>在湖南省市售豇豆中检出了甲胺磷、氧乐果、克百威、三唑磷、甲基异柳磷、水胺硫磷、毒死蜱、氟虫腈、乙酰甲胺磷等 9 种禁限用农药,其检出率分别是 0.38%、0.38%、0.57%、0.57%、0.57%、0.76%、0.57%、0.76%、0.19%,超标率分别为 0.19%、0.19%、0.38%、0.38%、0.57%、0.57%、0.38%、0.19%、0.19%;陈玲欢等<sup>[19]</sup>从长沙市售的豇豆中检出了三唑磷、甲基异柳磷、克百威,检出率分别是 10%、2.5%、1.25%。

浙江省市售豇豆检出率排名前 5 的农药为灭蝇胺、啶虫脒、噻虫嗪、甲维盐和倍硫磷,其检出率分别为 23.90%、20.98%、13.72%、12.88%、7.10%,该省市售豇豆的超标率为 16.74%,超标率前 5 的农药为倍硫磷、灭蝇胺、三唑磷、克百威和甲基异柳磷,超标率分别为 4.25%、3.82%、2.41%、2.28%、2.04%<sup>[11]</sup>。西北某六地蔬菜生产基地抽取的豇豆样品,毒死蜱、阿维菌素、甲氨基阿维菌素、苯甲酸盐、噻虫胺和啶虫脒等农药存在超标<sup>[5]</sup>;吉林省长春市 2021 年流通领域豇豆超标率为 15.9%<sup>[13]</sup>;湖北省流通领域豇豆超标率为 35.06%,其中啶虫脒、三唑磷、灭蝇胺检出率较高<sup>[17]</sup>;海南省豇豆中灭蝇胺的超标率为 6.3%<sup>[20]</sup>;S 省市售豇豆 2021、2022 年连续 2 年超标率均位于所有抽检的蔬菜榜首<sup>[21]</sup>。

(3)多残留现象较为严重。豇豆多残留共存的现象严重,91 种农药中 2 种及以上农药共存的样品占检出农药残留样品总量的 72.98%<sup>[9]</sup>,海南省流通领域的豇豆样品多残留共存的现象普遍,12 种农药中 2 种农药共存<sup>[14]</sup>,39 种农药中 2 种农药共存<sup>[18]</sup>,33 种农药中 8 种农药共存<sup>[22]</sup>,在待检农药多菌灵、啶虫脒和阿维菌素中 31.9%样品检出 2 种农药共存,12.5%的样品检出 3 种农药共存<sup>[23]</sup>等。

1.1.2 豇豆中残留农药的质量安全风险状况 豇豆中农药残留检出较为普遍,但采用不同的风险评

估方法评估后,不同的农药残留给不同地域的豇豆带来的风险程度各有不同。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维菌素给西北某六地蔬菜生产基地生产的豇豆中带来较高的风险,多残留带给豇豆的膳食风险也不容忽视<sup>[5]</sup>;福建省蔬菜生产基地生产的豇豆中倍硫磷、克百威和氧乐果的短期膳食暴露风险较高,三唑磷和氧乐果的长期膳食暴露风险较高<sup>[9]</sup>;海南蔬菜生产基地的豇豆中多效唑、复硝酚钠、脱落酸 3 种 PGR 的急、慢性膳食暴露风险均较低,可以接受<sup>[8]</sup>,多菌灵、啶虫脒和阿维菌素的风险商均小于 1,不会对公众健康产生危害<sup>[23]</sup>,灭蝇胺、多菌灵残留量对不同人群慢性膳食摄入风险范围为 0.057 6%~0.131 4%,急性膳食摄入风险范围为 0.375 8%~29.126 6%,可以接受<sup>[21]</sup>;若长期食用海南基地生产的含有机磷农药残留的豇豆,超过监测数据的 95<sup>th</sup>和 99<sup>th</sup>百分位点时,风险在可接受范围,若农残超过 99.9<sup>th</sup>百分位点时,会对 4~6 岁、7~11 岁年龄组人群产生不可接受的风险<sup>[24]</sup>。S 省 2021、2022 年市售豇豆中克百威和灭蝇胺残留形成的风险高于阈值,氧乐果残留形成的风险不可接受<sup>[21]</sup>。

## 1.2 重金属

1.2.1 部分地区重金属污染及质量安全状况 广义的重金属是指比重大于 5 的金属,包括金(Au)、银(Ag)、铜(Cu)、铁(Fe)、铅(Pb)、锌(Zn)等 45 种金属元素,狭义的重金属是指对环境造成污染、危害人体健康的重金属,主要是指镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)、铅(Pb),以及类金属,如砷(As)等具有显著生物毒性的元素<sup>[22]</sup>。重金属毒性大、难挥发、易积累,且隐蔽性强,不仅影响农作物的生长发育,还会通过食物链危害人畜健康<sup>[25]</sup>,其一般通过污水灌溉、大气沉降、废弃物抛洒以及化肥农药的不合理使用进入土壤<sup>[26]</sup>,经过耕作被农作物吸收,进入食物链,进而对人类造成危害。整体来讲,我国豇豆产品中多数有 Pb、Cd、Cr、Hg、As 等重金属元素检出,其中安徽升金湖地区的豇豆中 Pb 达到重度污染,陕西省的豇豆中 Pb 达警戒线,河南新乡卫河沿岸的豇豆 Cr 和 As 达中度污染,其他地区豇豆中重金属污染可以接受。详见表 1。

此外,有些重金属元素,如 Cu、Zn、Fe、Mn、Ni 等,在人体内微量存在时,可促进人体的生长代谢,但当其浓度高于一定的阈值时,则会对人体产生毒性。经检测,采自湖南农业大学实验基地的豇豆,Fe、Ni、Mn 的含量(w,后同)分别为 15.9、1.975、5.120 mg·kg<sup>-1</sup>,其中 Ni 和 Mn 对儿童存在较大的非

表 1 豇豆重金属检出及风险评价情况  
Table 1 Detection and risk assessment of heavy metals in cowpea

| 样品来源<br>Sample source                                  | 重金属含量中位值或者污染水平<br>Median value of heavy metal content or pollution level/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |                     |                     |                     |                     |                     |                     | 评价结论<br>Conclusion                     | 评价方法<br>Evaluation method                        | 文献<br>Reference                                |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                        | 铅(Pb)                                                                                           | 镉(Cd)               | 铬(Cr)               | 砷(As)               | 汞(Hg)               | 锌(Zn)               | 铜(Cu)               |                                        |                                                  |                                                |
| 广东省<br>Guangdong province                              | <0.065 0                                                                                        | <0.060 0            | 0.018 5             | <0.0110             | 0.000 31            | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 可接受<br>Acceptable                      | 非参数概率评估<br>Non parametric probability evaluation | 余江 YU Jiang <sup>[27]</sup>                    |
| 浙江慈溪<br>Cixi, Zhejiang                                 | 0.011 0                                                                                         | 0.000 9             | 0.025 0             | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 安全<br>Secure                           | 单因子污染指数法<br>Single factor pollution index        | 翁颖,等<br>WENG Ying, et al <sup>[28]</sup>       |
| 贵州铜仁<br>Tongren, Guizhou                               | 0.011~0.109                                                                                     | 0.002~0.004         | 0.034~0.085         | 0.034~0.085         | 未测定<br>Not measured | 2.82~4.29           | 未检出<br>Not detected | 可接受<br>Acceptable                      | 单因子污染指数法<br>Single factor pollution index        | 蒋宗宏,等<br>JIANG Zonghong, et al <sup>[29]</sup> |
| 浙江杭州<br>Hangzhou, Zhejiang                             | 0.101                                                                                           | 0.004               | 0.304               | 0.005               | 未测定<br>Not measured | 2.662               | 0.581               | 未评价<br>Not evaluated                   |                                                  | 龚梦丹,等<br>GONG Mengdan, et al <sup>[30]</sup>   |
| 甘肃兰州<br>Lanzhou, Gansu                                 | 0.013~0.070                                                                                     | 0.001~0.011         | 0.010~0.113         | 0.004~0.029         | 0.000 9~0.006       | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 未评价<br>Not evaluated                   |                                                  | 张伯尧<br>ZHANG Boyao <sup>[31]</sup>             |
| 河北承德平泉<br>Pingquan, Chengde, Hebei                     | 0.002~0.079                                                                                     | 0.001~0.007         | 0.058~0.187         | 0.001~0.008         | 0.006~0.012         | 1.627~3.832         | 0.554~2.537         | 可接受<br>Acceptable                      | 单因子污染指数法<br>Single factor pollution index        | 张汉阳<br>ZHANG Hanyang <sup>[32]</sup>           |
| 陕西省<br>Shaanxi province                                | 0.087 8±0.387 0                                                                                 | 0.004 6±0.009 1     | 未测定<br>Not measured | 0.014 9±0.024 9     | 0.004 9±0.018 8     | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | Pb 达警戒线<br>Pb reaches the warning line | 单因子污染指数法<br>Single factor pollution index        | 聂晓玲,等<br>NIE Xiaoling, et al <sup>[33]</sup>   |
| 安徽升金湖<br>Shengjin Lake, Anhui                          | 1.15±0.07                                                                                       | 0.01±0.01           | 0.36±0.06           | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 8.41±0.69           | 2.21±0.41           | Pb 重度污染<br>Heavy Pb pollution          | 污染指数法<br>Pollution index method                  | 郭绍义,等<br>GUO Shaoyi, et al <sup>[34]</sup>     |
| 山西太原<br>Taiyuan, Shanxi                                | 0~0.055 1                                                                                       | 0.001 7~0.003 0     | 0.019 1~0.051 5     | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 0.041 6~5.938 2     | 0.599 3~1.541 6     | 安全<br>Secure                           | 污染指数法<br>Pollution index method                  | 张珍珍,等<br>ZHANG Zhenzhen, et al <sup>[35]</sup> |
| 河南新乡<br>卫河沿岸<br>Along the Wei River in Xinxiang, Henan | 未测定<br>Not measured                                                                             | 未测定<br>Not measured | 0.962               | 1.124               | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 中度污染<br>Pollution                      | 污染指数法<br>Pollution index method                  | 杨和连,等<br>YANG Helian, et al <sup>[36]</sup>    |
| 湖南农业大学<br>Hunan Agricultural University                | 0.011                                                                                           | 0.006               | 0.857               | 0.018               | 未测定<br>Not measured | 未测定<br>Not measured | 0.979               | 可接受<br>Acceptable                      | 危害物风险系数法<br>Hazard risk coefficient method       | 郭思宇,等<br>GUO Siyu, et al <sup>[37]</sup>       |

致癌风险,对成人也存在潜在的总非致癌风险<sup>[37]</sup>。

**1.2.2 重金属对豇豆的影响** 土壤重金属污染会严重影响作物安全生产,豇豆果实中的重金属一般随土壤中重金属浓度增大而增加,二者之间存在较为显著的正相关,如 Cd<sup>[38]</sup>、Ni<sup>[39]</sup>、Hg<sup>[40]</sup>,且对包括 Ni<sup>[39]</sup>、Hg<sup>[40]</sup>、Cd<sup>[38, 41-42]</sup>、Pb<sup>[43]</sup>在内的重金属存在一个安全生产浓度阈值,当土壤中重金属达到该阈值,其对重金属的富集量迅速升高,种植的安全性下降。研究表明,豇豆生产中对应的 Ni、总 Hg、Cd、Pb 的土壤安全阈值分别为 196 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[39]</sup>、21.18 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[40]</sup>、7 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[42]</sup>、200 mg·kg<sup>-1</sup><sup>[43]</sup>。

在 Cd 高污染地区进行蔬菜设施栽培会加速土壤酸化,提高土壤 Cd 积累量,使蔬菜重金属 Cd 含量升高<sup>[43]</sup>,豇豆属于 Cd 低累积品种<sup>[42, 44]</sup>,随着土壤中 Cd、Ni 含量增加,豇豆地上生物量表现为先增加后减少<sup>[39, 42]</sup>,不同品种的豇豆、同一豇豆品种的不同部位对镉的富集能力存在较大差异,豇豆果实相较于豇豆根、茎秆、叶片,对 Cd 的富集能力弱<sup>[41]</sup>,笔者认为其原因可能是豇豆果实的生长期相对较短,从根部迁移至果实的 Cd 相对较少。Pb、Cd 复合污染抑制豇豆生长,抑制程度与豇豆富集 Pb、Cd 的能力一致<sup>[43]</sup>。低浓度 Ni 促进豇豆生长,当土壤中 Ni 含量为 650 mg·kg<sup>-1</sup>时,抑制豇豆生长;豇豆对 Ni 的富集能力较强, Ni 污染土壤要避免种植豇豆<sup>[45]</sup>。在 Hg 污染土壤上种植豇豆,施加生物碳会阻碍豇豆对 Hg 的富集<sup>[46]</sup>。

## 2 豇豆生产过程中农药的安全使用技术

### 2.1 豇豆生产过程中农药残留降解规律

在豇豆生产中,表 2 是符合一级动力学方程的动态消解过程的农药,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维菌素在豇豆大棚和露地栽培时,灭蝇胺在露地栽培时单独使用和灭蝇胺、啶虫脒、噻虫嗪、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维·氟啶、氯虫·高氯氟 6 种农药混合使用的动态消解过程不符合一级动力学方程,且 6 种农药混合施用,农药之间的相互作用有加速其消解的可能;而灭蝇胺和啶虫脒混合施用,有延长其降解半衰期的风险;二者混和施用,3 次用药后,灭蝇胺的半衰期均显著长于其单独施用;第 1 次、第 3 次用药后,混用时啶虫脒的半衰期在单施和混施之间,且与二者无显著差异,第 2 次用药后,啶虫脒的半衰期显著长于其单用;增加施药次数,可延长农药的降解半衰期:无论单施还是

混施,每增加 1 次用药显著延长啶虫脒的半衰期;第 2 次施药稍微延长灭蝇胺的半衰期,第 3 次施药显著延长灭蝇胺的半衰期;生产中使用灭蝇胺和啶虫脒对豇豆的维生素 C、可溶性蛋白、粗纤维、可溶性固形物和还原糖含量等营养品质均无影响<sup>[47-49]</sup>。同一种农药在豇豆生产中的半衰期随栽培方式<sup>[48]</sup>、施药剂量<sup>[48-49]</sup>、施药次数<sup>[49]</sup>,甚至是试验地点<sup>[48-49]</sup>、农药剂型<sup>[50-52]</sup>、施药时期的不同而不同,毒死蜱可以在豇豆生长的播种期和苗期安全使用,在豇豆始花期使用毒死蜱,安全间隔期须在 10 d 以上,结荚盛期禁止使用毒死蜱<sup>[50]</sup>。

### 2.2 农药在豇豆体内的代谢

很多农药在植物体内进行代谢,转化成其他农药,有些代谢产物的毒性高于母体。如甲基硫菌灵的主要代谢产物是多菌灵<sup>[53]</sup>、丁硫克百威的代谢产物是克百威和 3-羟基克百威<sup>[54]</sup>等;克百威和 3-羟基克百威的毒性比丁硫克百威的毒性高 20 倍左右<sup>[54]</sup>。有学者研究了部分农药在豇豆体内的代谢转化,如噻虫啉在豇豆体内可以代谢成 5 种具有毒理学意义的代谢产物,包括噻虫啉酰胺、6-氯烟酸(6-CNA)、噻虫啉尿素、2-氯-5-羟基甲基吡啶(6-CPA)、噻虫啉烯炔,这些代谢产物随时间变化而变化,施药后 0.5 d 在豇豆果实内,6-CNA>6-CPA>噻虫啉烯炔,施药后 1 d 和 3 d 在豇豆果实内,6-CNA>6-CPA>噻虫啉酰胺>噻虫啉烯炔,施药后 5 d 在豇豆果实内,6-CNA>6-CPA,施药第 7 天开始,豇豆中仅有 6-CNA<sup>[51]</sup>。乙酰甲胺磷在豇豆体内可产生毒性较高的甲胺磷,甲胺磷的残留量也随着时间的延长而降低,其消解规律亦符合一级动力学方程<sup>[52]</sup>。

### 2.3 农药安全间隔期-豇豆生长阶段匹配策略

基于对吡虫啉、乙基多杀菌素、甲维盐、啶虫脒、高效氯氟氰菊酯、溴氰虫酰胺、虫螨腈等 7 种农药在豇豆上应用的田间试验,王娣等<sup>[55]</sup>提出豇豆安全间隔期-生长阶段匹配策略,认为该 7 种农药在豇豆播种期、苗期均可以使用;啶虫脒在豇豆始花期可以使用 1 次,高效氯氟氰菊酯、虫螨腈在豇豆始花期可以使用 2 次,安全间隔期为 5 d;乙基多杀菌素、吡虫啉、甲维盐、溴氰虫酰胺降解较快,可用于豇豆结荚盛期,毒死蜱可以在豇豆生长的播种期和苗期安全使用,在豇豆始花期使用毒死蜱,安全间隔期须在 10 d 以上,结荚盛期禁止使用毒死蜱。丁硫克百威可以在豇豆播种期安全使用,但因其植物体内将代谢为毒性更强的克百威和 3-羟基克

表 2 农药在豇豆中的动态降解规律

Table 2 Dynamic degradation patterns of pesticides in cowpe

| 栽培方式<br>Cultivation<br>method | 农药名称<br>Pesticide name                 | 制剂类型<br>Type of<br>preparation | 施药方式<br>Application<br>method | 施药剂量<br>Application<br>dosage/<br>(a.i.g·hm <sup>-2</sup> ) | 施药时期<br>Application<br>period                                        | 残留降解<br>动力学方程<br>Residual<br>degradation<br>kinetics equation | 试验处理<br>Experimental<br>treatment | 半衰期<br>(T <sub>1/2</sub> )Half-<br>life/d | 推荐使用<br>安全间隔期<br>Recommended<br>safeinterval<br>for using/d | 决定系数或<br>相关系数<br>Determination<br>coefficient or<br>correlation<br>coefficient | 文献<br>Reference                            |
|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 露地<br>Open field              | 溴虫氟苯双酰胺<br>Bromothrofen<br>benzamide   | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 50                                                          | 结荚期<br>Pod setting period                                            | $C=0.308e^{-0.227t}$                                          | 单施 Individual application         | 3.10                                      | 1                                                           | 0.985 0(R <sup>2</sup> )                                                       | 邹志博,等<br>HUAN Zhibo, et al <sup>[47]</sup> |
|                               | 双丙环虫酯<br>Dichloropyruvic<br>acid ester | DC                             | 喷雾<br>Spray                   | 50                                                          |                                                                      | $C=0.108e^{-0.312t}$                                          | 单施 Individual application         | 2.20                                      | 1                                                           | 0.958 0(R <sup>2</sup> )                                                       |                                            |
|                               | 氟啶虫胺胍<br>Sulfoxaflor                   | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 100                                                         |                                                                      | $C=0.314e^{-0.19t}$                                           | 单施 Individual application         | 3.60                                      | 1                                                           | 0.761 0(R <sup>2</sup> )                                                       |                                            |
| 大棚<br>Greenhouse              | 灭蝇胺<br>Cyromazine                      | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 225                                                         | 开花结荚至采收期<br>From flowering and<br>pod formation to<br>harvest period | $C=0.1024e^{-0.1369t}$                                        | 单施 Individual application         | 5.06                                      | 3                                                           | 0.803 2                                                                        | 梁启富,等<br>LIANG Qifu, et al <sup>[48]</sup> |
|                               | 啶虫脒<br>Acetamiprid                     | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 225                                                         |                                                                      | $C=0.0654e^{-0.1545t}$                                        | 混施 Combined application           | 4.49                                      | 3                                                           | 0.785 2                                                                        |                                            |
|                               | 氯虫苯甲酰胺<br>Chlorantraniliprole          | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 30                                                          |                                                                      | $C=0.2130e^{-0.4781t}$                                        | 单施 Individual application         | 1.45                                      | 3                                                           | 0.978 6                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 30                                                          |                                                                      | $C=0.1567e^{-0.2592t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.31                                      | 3                                                           | 0.952 0                                                                        |                                            |
|                               | 氯虫苯甲酰胺<br>Chlorantraniliprole          | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 93.15                                                       |                                                                      | $C=0.1544e^{-0.3345t}$                                        | 单施 Individual application         | 2.07                                      | 5                                                           | 0.904 9                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 93.15                                                       |                                                                      | $C=0.1518e^{-0.3555t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.95                                      | 5                                                           | 0.823 3                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 14.1                                                        |                                                                      | $C=0.0752e^{-0.4798t}$                                        | 单施 Individual application         | 1.44                                      | 5                                                           | 0.908 7                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 14.1                                                        |                                                                      | $C=0.1014e^{-0.5754t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.20                                      | 5                                                           | 0.981 3                                                                        |                                            |
|                               | 氟啶虫胺胍<br>Sulfoxaflor                   | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 27.9                                                        |                                                                      | $C=0.4567e^{-0.3137t}$                                        | 单施 Individual application         | 2.21                                      | 3                                                           | 0.936 7                                                                        |                                            |
|                               | 氟啶虫胺胍<br>Sulfoxaflor                   | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 27.9                                                        |                                                                      | $C=0.2920e^{-0.3906t}$                                        | 混施 Combined application           | 2.21                                      | 3                                                           | 0.923 5                                                                        |                                            |
|                               | 噻虫嗪<br>Thiamethoxam                    | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                                      | $C=0.3253e^{-0.4856t}$                                        | 单施 Individual application         | 1.43                                      | 3                                                           | 0.987 7                                                                        |                                            |
|                               | 噻虫嗪<br>Thiamethoxam                    | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                                      | $C=0.1980e^{-0.5636t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.23                                      | 3                                                           | 0.948 4                                                                        |                                            |
| 露地<br>Open field              | 啶虫脒<br>Acetamiprid                     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 30                                                          |                                                                      | $C=0.2572e^{-0.6159t}$                                        | 单施 Individual application         | 1.13                                      | 3                                                           | 0.914 5                                                                        |                                            |
|                               | 氯虫苯甲酰胺<br>Chlorantraniliprole          | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 30                                                          |                                                                      | $C=0.2592e^{-0.4462t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.55                                      | 3                                                           | 0.989 1                                                                        |                                            |
|                               | 氯虫苯甲酰胺<br>Chlorantraniliprole          | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 93.15                                                       |                                                                      | $C=0.2713e^{-0.3198t}$                                        | 单施 Individual application         | 2.17                                      | 5                                                           | 0.958 5                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 93.15                                                       |                                                                      | $C=0.2887e^{-0.3900t}$                                        | 混施 Combined application           | 2.32                                      | 5                                                           | 0.995 9                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 14.1                                                        |                                                                      | $C=0.0541e^{-0.3784t}$                                        | 单施 Individual application         | 1.83                                      | 5                                                           | 0.959 0                                                                        |                                            |
|                               | 氯氟菊酯<br>Chlorfenvinphos                | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 14.1                                                        |                                                                      | $C=0.0567e^{-0.3033t}$                                        | 混施 Combined application           | 2.29                                      | 5                                                           | 0.964 8                                                                        |                                            |
|                               | 氟啶虫胺胍<br>Sulfoxaflor                   | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 27.9                                                        |                                                                      | $C=0.5575e^{-0.3209t}$                                        | 单施 Individual application         | 2.16                                      | 3                                                           | 0.889 6                                                                        |                                            |
|                               | 氟啶虫胺胍<br>Sulfoxaflor                   | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 27.9                                                        |                                                                      | $C=0.5336e^{-0.3876t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.89                                      | 3                                                           | 0.758 8                                                                        |                                            |
|                               | 噻虫嗪<br>Thiamethoxam                    | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                                      | $C=0.4248e^{-0.6387t}$                                        | 单施 Individual application         | 1.09                                      | 3                                                           | 0.922 5                                                                        |                                            |
|                               | 噻虫嗪<br>Thiamethoxam                    | WG                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                                      | $C=0.5110e^{-0.4721t}$                                        | 混施 Combined application           | 1.47                                      | 3                                                           | 0.975 0                                                                        |                                            |
|                               | 灭蝇胺<br>Cyromazine                      | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 300                                                         | 结荚期<br>Pod setting period                                            | $C=0.7628e^{-0.1900t}$                                        | 单施 Individual application         | 3.65                                      | -                                                           | 0.962 3(R)                                                                     | 符笃韩<br>FU Duhun <sup>[49]</sup>            |
|                               | 灭蝇胺<br>Cyromazine                      | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 300                                                         |                                                                      | $C=1.0277e^{-0.1790t}$                                        | 混施 Combined application           | 3.87                                      | -                                                           | 0.926 6(R)                                                                     |                                            |

表 2 (续)  
Table 2 (Continued)

| 栽培方式<br>Cultivation<br>method | 农药名称<br>Pesticide name | 制剂类型<br>Type of<br>preparation | 施药方式<br>Application<br>method | 施药剂量<br>Application<br>dosage/<br>(a.i.g·hm <sup>-2</sup> ) | 施药时期<br>Application<br>period                          | 残留降解<br>动力学方程<br>Residual<br>degradation<br>kinetics equation | 试验处理<br>Experimental<br>treatment | 半衰期<br>(T <sub>1/2</sub> ) Half-<br>life/d | 推荐使用<br>安全间隔期<br>Recommended<br>safeinterval<br>for using/d | 决定系数或<br>相关系数<br>Determination<br>coefficient or<br>correlation<br>coefficient | 文献<br>Reference                        |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 露地<br>Open field              | 啶虫脒<br>Acetamiprid     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                        | C=0.201 2e <sup>-0.329 0t</sup>                               | 单施 Individual application         | 2.11                                       | -                                                           | 0.865 4(R)                                                                     | 王婉,等<br>WANG Di, et al <sup>[50]</sup> |
|                               | 灭蝇胺<br>Cyromazine      | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                        | C=0.302 3e <sup>-0.325 t</sup>                                | 混施 Combined application           | 2.13                                       | -                                                           | 0.910 0(R)                                                                     |                                        |
|                               | 啶虫脒<br>Cyromazine      | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 300                                                         | 第 1 次施药后 7 d<br>7 days after the first<br>application  | C=0.892 5e <sup>-0.182 t</sup>                                | 单施 Individual application         | 3.81                                       | -                                                           | 0.946 6(R)                                                                     |                                        |
|                               | 啶虫脒<br>Acetamiprid     | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 300                                                         |                                                        | C=1.167 9e <sup>-0.177 t</sup>                                | 混施 Combined application           | 3.91                                       | -                                                           | 0.956 5(R)                                                                     |                                        |
| 露地<br>Open field              | 啶虫脒<br>Acetamiprid     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                        | C=0.399 9e <sup>-0.185 t</sup>                                | 单施 Individual application         | 3.75                                       | -                                                           | 0.961 3(R)                                                                     | 王婉,等<br>WANG Di, et al <sup>[50]</sup> |
|                               | 啶虫脒<br>Acetamiprid     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                        | C=0.463 8e <sup>-0.176 t</sup>                                | 混施 Combined application           | 3.94                                       | -                                                           | 0.967 5(R)                                                                     |                                        |
|                               | 灭蝇胺<br>Cyromazine      | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 300                                                         | 第 2 次施药后 7 d<br>7 days after the<br>second application | C=0.903 7e <sup>-0.137 t</sup>                                | 单施 Individual application         | 5.06                                       | -                                                           | 0.942 2(R)                                                                     |                                        |
|                               | 灭蝇胺<br>Cyromazine      | SC                             | 喷雾<br>Spray                   | 300                                                         |                                                        | C=1.142 0e <sup>-0.119 t</sup>                                | 混施 Combined application           | 5.81                                       | -                                                           | 0.945 1(R)                                                                     |                                        |
| 露地<br>Open field              | 啶虫脒<br>Acetamiprid     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                        | C=0.402 9e <sup>-0.171 t</sup>                                | 单施 Individual application         | 4.05                                       | -                                                           | 0.958 0(R)                                                                     | 王婉,等<br>WANG Di, et al <sup>[50]</sup> |
|                               | 啶虫脒<br>Acetamiprid     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 75                                                          |                                                        | C=0.454 3e <sup>-0.166 t</sup>                                | 混施 Combined application           | 4.18                                       | -                                                           | 0.958 7(R)                                                                     |                                        |
|                               | 毒死蜱<br>Chlorpyrifos    | CS                             | 喷雾<br>Spray                   | 172.8                                                       | 结荚盛期<br>Peak period of pod<br>formation                | C=1 726.6 e <sup>-0.431 t</sup>                               | 单施 Individual application         | 1.60                                       | -                                                           | 0.981 5(R <sup>*</sup> )                                                       |                                        |
|                               | 噻虫啉<br>Thiacloprid     | TC                             | 喷雾<br>Spray                   | 150                                                         | -                                                      | C=1 600.04e <sup>-0.024 t</sup>                               | 单施 Individual application         | 1.06±0.30                                  | -                                                           | 0.996 0(R <sup>*</sup> )                                                       |                                        |
| 温室<br>Greenhouse              | 噻虫啉<br>Thiacloprid     | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 675                                                         | 结荚期<br>Pod setting period                              | C=2.179 3e <sup>-0.442 3t</sup>                               | 单施 Individual application         | 1.57                                       | 1.8                                                         | 0.909 1(R)                                                                     | 潘少东<br>PAN Shaodong <sup>[51]</sup>    |
|                               | 乙酯甲胺磷<br>Orthene       | -                              | 喷雾<br>Spray                   | -                                                           | -                                                      | C=0.084 1e <sup>-0.0212 6t</sup>                              | -                                 | 3.26                                       | 2.4                                                         | 0.971 5(R)                                                                     |                                        |
|                               | 甲胺磷<br>Methamidophos   | WP                             | 喷雾<br>Spray                   | 810                                                         | 结荚期<br>Pod setting period                              | C=2.138 2e <sup>-0.379 7t</sup>                               | 单施 Individual application         | 1.83                                       | 2.0                                                         | 0.911 0(R)                                                                     |                                        |
|                               | 乙酯甲胺磷<br>Orthene       | -                              | 喷雾<br>Spray                   | -                                                           | -                                                      | C=0.153 7e <sup>-0.0215 3t</sup>                              | -                                 | 3.22                                       | 5.5                                                         | 0.969 8(R)                                                                     |                                        |
| -<br>-<br>-<br>-              | 甲胺磷<br>Methamidophos   | EC                             | 喷雾<br>Spray                   | 675                                                         | 结荚期<br>Pod setting period                              | C=2.353 0e <sup>-0.485 5t</sup>                               | 单施 Individual application         | 1.53                                       | 1.9                                                         | 0.919 8(R)                                                                     | 潘少东<br>PAN Shaodong <sup>[51]</sup>    |
|                               | 乙酯甲胺磷<br>Orthene       | -                              | 喷雾<br>Spray                   | -                                                           | -                                                      | C=0.252 3e <sup>-0.0357 7t</sup>                              | -                                 | 1.94                                       | 4.5                                                         | 0.919 8(R)                                                                     |                                        |
|                               | 甲胺磷<br>Methamidophos   | -                              | -                             | -                                                           | -                                                      | -                                                             | -                                 | -                                          | -                                                           | -                                                                              |                                        |
|                               | 乙酯甲胺磷<br>Orthene       | -                              | -                             | -                                                           | -                                                      | -                                                             | -                                 | -                                          | -                                                           | -                                                                              |                                        |

注: WP. 可湿性粉剂; EC. 乳油; WG. 水分散粒剂; SC. 悬浮剂; DC. 可分散液剂; CS. 微囊悬浮剂; TC. 原药。 -: 在“推荐豇豆使用安全间隔期”列和“种植设施条件”列中表示原文中未注明; “甲胺磷”行中的甲胺磷是乙酯甲胺磷施用后的代谢产物, 无甲胺磷施用相关信息。

Note: WP. Wettable powder; EC. Emulsifiable concentrate; WG. Water-dispersible Granules; SC. Suspension concentrate; DC. Dispersible concentrate; CS. Capsule suspensions; TC. Technical concentrate. -: The columns labeled "Recommended safety interval for cowpea use" and "Planting facility conditions" indicate that the original text does not specify; the row labeled "Methamidophos" indicates that methamidophos is a metabolite of acephate after application, and there is no relevant information on methamidophos application.

百威,在豇豆生长苗期和结荚期使用具有极高的风险<sup>[56]</sup>;因为乐果在植物体内将代谢为毒性更强的氧乐果,所以在豇豆苗期和结荚期使用乐果具有较高的风险,豇豆结荚期不宜使用乐果,苗期使用也应加以限制<sup>[57]</sup>。多菌灵在豇豆上使用,其安全间隔期大于10 d,不适合在豇豆结荚期使用<sup>[58]</sup>。

### 3 讨论与展望

豇豆营养丰富,是我国的主栽蔬菜品种之一,根据2021年国家统计局数据,豇豆产量达1490万t,人均年消费量超过10 kg<sup>[59]</sup>,其质量与安全人们的健康息息相关,但长期的监测结果表明,豇豆产品存在较大的质量安全隐患,风险来源主要是重金属和农药残留。在重金属方面,除了Pb、Cd、Cr、Hg、As传统的风险元素外,人体内有利的微量元素(如Fe、Ni、Mn等),当其含量高于一定的阈值时,对人体也会产生一定毒性,在生产中也应当加以重视。在农药残留方面,豇豆的风险来源主要在于禁限用农药;因多残留共存现象普遍存在,常规农药的使用也不容忽视;在加强豇豆质量安全监管的同时,应加强用药安全培训,引导菜农在法律法规允许的情况下安全用药;在病虫害化学防治时,要选用高效、低毒、低残留、安全间隔期短的农药,且要保证豇豆采摘时所用农药已过安全间隔期<sup>[60]</sup>;要根据豇豆不同的生长时期,正确选择、使用豇豆上已经登记的农药,根据各农药在豇豆中动态降解规律和半衰期及其在豇豆生产中使用的安全间隔期,合理确定农药的使用次数;同时要重视易发生代谢的农药的使用,尤其要关注代谢物的毒性及降解规律。关于农药的半衰期,笔者认为,对于不易代谢的农药,其在豇豆中的半衰期,取决于豇豆单位时间内干物质的积累量,二者理论上呈负相关,即豇豆单位时间内干物质的积累量越大,其半衰期越短;对于易代谢的农药,其在豇豆中的半衰期,还与其代谢的量密切相关;因此,在豇豆生产中加强对肥水的管控也至关重要。

#### 参考文献

- [1] 浙江农业大学. 蔬菜栽培学各论(南方本)[M]. 北京:中国农业出版社,2001.
- [2] 马帅,黄魁建. 我国豇豆用药和病虫害防治现状及对保障蔬菜质量安全的建议[J]. 世界农药,2023,45(4):13-21.
- [3] 李卫东,俞美莲. 豇豆农药残留超标高频原因分析与对策[J]. 上海农业学报,2024,40(3):101-107.
- [4] 于志波,张萍,李兴友,等. 我国禁限用农药管理制度综述及建议[J]. 中国植保导刊,2024,44(10):103-108.
- [5] 李自芹,苗姗姗,石林花,等. 豇豆农药残留检测及风险评估分析[J]. 农产品加工,2024(10):54-59.
- [6] 秦国富,何丰瑞,张伟,等. 2018年陕西省130份市售蔬菜中11种农药残留调查[J]. 现代预防医学,2020,47(4):604-607.
- [7] 黎承,赖宣丞,叶海湄,等. 2022年海南省市售蔬菜中烟碱类农药残留状况分析及膳食暴露评估[J]. 职业与健康,2023,39(22):3076-3080.
- [8] 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.
- [9] 梁启富,邹华娇,韦航,等. 福建省产豇豆中农药残留水平及膳食暴露风险评估[J]. 农产品质量与安全,2024(4):29-35.
- [10] 张丽,汪霞丽,梁锋,等. 湖南省市售豇豆农药残留的采样分析及安全风险评估[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2024,47(5):95-102.
- [11] 汪雨龙,张科,高凤,等. 市售“三棵菜”农药残留特征及风险评估[J]. 食品与发酵工业,2024,50(13):279-289.
- [12] 龚久平,杨晓霞,褚能明,等. 重庆产地蔬菜农药残留调查及健康风险评价[J]. 南方农业,2018,12(31):5-10.
- [13] 孟繁磊,谭莉,范宏,等. 长春市市售蔬菜农药残留污染特征及膳食风险评估[J]. 食品工业,2024,45(2):312-317.
- [14] 聂宏骞,赖宣丞,黄圣南,等. 2019—2020年海南省蔬菜农药残留及膳食暴露评估[J]. 环境与健康杂志,2022,39(6):256-260.
- [15] 梁靖凯,单美娜,侯坤,等. 内蒙古地区居民蔬菜中农药残留膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志,2022,34(3):444-450.
- [16] 蒲云霞,贺敏,要媛,等. 内蒙古地区市售蔬菜中农药残留状况调查[J]. 中国食品卫生杂志,2022,34(2):281-286.
- [17] 王兰兰,黄茜,王会霞,等. 2022年湖北省市售蔬菜农药残留分析及风险评估[J]. 现代预防医学,2023,50(18):3420-3424.
- [18] 段云,钱程,李建国,等. 有机磷农药在海南菜心、苦瓜和豇豆中的残留分析及膳食风险评估[J]. 南方农业学报,2014,45(9):1594-1598.
- [19] 陈玲欢,薛爽,刘广. 长沙市立体农产品安全监管网络治理豇豆农药残留突出问题的做法、成效及建议[J]. 中国瓜菜,2025,38(5):229-233.
- [20] 张群,段云,马晨,等. 豇豆中5种农药及其代谢物残留检测与膳食风险评估[J]. 中国蔬菜,2022(10):86-96.
- [21] 杨贝贝. S省市售蔬菜农药残留调查分析及膳食暴露风险评估[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2023.
- [22] 赖宣丞,蔡月,黎承,等. 2020—2022年海南省市售蔬菜农药残留调查及风险评估[J]. 湖北农业科学,2024,63(9):185-190.
- [23] 阳辛凤,李萍萍,刘春华,等. 海南豇豆多菌灵、啉虫脒和阿维菌素残留及其膳食风险评估[J]. 南方农业学报,2017,48(11):2010-2015.
- [24] 段云,钱程,李建国. 海南豇豆中有机磷农药残留的累积性暴露评估[J]. 热带农业科学,2013,33(12):70-74.
- [25] 王寅,王会来,林晓燕,等. 稻米质量安全风险评估和预警技术研究进展[J]. 粮油食品科技,2023,31(6):35-42.
- [26] 王旭. 广东省蔬菜重金属风险评估研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012.
- [27] 余江. 菜园土壤重金属污染特征及蔬菜食用安全性评价[D].

- 福建厦门:集美大学,2010.
- [28] 翁颖,陆宏,沈群超.慈溪主要农产品基地蔬菜重金属污染现状调查评价[J].浙江农业科学,2015,56(7):1112-1113.
- [29] 蒋宗宏,陆凤,马先杰,等.贵州铜仁典型锰矿区土壤及蔬菜重金属污染特征及健康风险评价[J].农业资源与环境学报,2020,37(2):293-300.
- [30] 龚梦丹,王小雨,顾燕青,等.杭州市菜地蔬菜重金属含量特征研究[J].杭州师范大学学报(自然科学版),2015,14(3):292-299.
- [31] 张伯尧.兰州市菜地土壤和蔬菜重金属含量及其健康风险评估[D].兰州:甘肃农业大学,2009.
- [32] 张汉阳.平泉县蔬菜重金属含量及健康风险评估[D].石家庄:河北医科大学,2016.
- [33] 聂晓玲,程国霞,王敏娟,等.陕西省主产蔬菜中重金属污染调查及评价[J].卫生研究,2015,44(5):775-779.
- [34] 郭绍义,王红新,盛雪,等.升金湖湿地蔬菜重金属污染及健康风险评估[J].长春师范大学学报,2023,42(8):113-119.
- [35] 张珍珍,程滨,李茹,等.太原市市售蔬菜重金属污染状况及健康风险评估[J].中国农学通报,2016,32(10):169-175.
- [36] 杨和连,游宏建,岳细云,等.新乡市卫河沿岸果菜类蔬菜重金属As、Cr污染分析[J].东北农业科学,2019,44(2):49-51.
- [37] 郭思宇,黄运湘.重金属在典型蔬菜可食部位的污染特征及其健康风险评估[J].湖南农业科学,2023(9):39-45.
- [38] 弭宝彬,汪端华,张竹青,等.不同土壤镉浓度下蔬菜安全性评价[J].湖北农业科学,2019(2):49-53.
- [39] 白玉杰,陈小华,沈根祥,等.不同作物对土壤中Ni的富集特征及低累积品种筛选[J].生态环境学报,2019,28(10):2098-2104.
- [40] 洪曾纯.福建省典型菜地土壤-蔬菜汞富集规律[J].热带农业科学,2016,36(9):41-45.
- [41] 向娟,潘绍坤,吴传秀,等.不同豇豆材料的镉积累特性比较研究[J].河南农业科学,2020,49(4):114-119.
- [42] 陈小华,沈根祥,白玉杰,等.不同作物对土壤中Cd的富集特征及低累积品种筛选[J].环境科学,2019,40(10):4647-4653.
- [43] 张丙春,王磊,范丽霞,等.铅、镉在蔬菜中的累积特性及对蔬菜生长的影响[J].生态学杂志,2015,34(10):2873-2878.
- [44] 柴冠群,杨娇娇,范成五,等.镉地质背景区设施栽培对土壤与蔬菜镉积累的影响[J].土壤通报,2020,51(6):1489-1495.
- [45] 白玉杰,沈根祥,陈小华,等.三种蔬菜对镍累积转运规律及食用安全研究[J].农业环境科学学报,2018,37(8):1619-1625.
- [46] 荆秀艳,董强飞,齐佳华.汞矿周边农田蔬菜生物碳阻控汞富集和转运的效果[J].甘肃农业大学学报,2024,59(2):233-239.
- [47] 郇志博,于世幸,王明月,等.3种杀虫剂在豇豆中的残留行为及膳食风险评估[J].农药,2023,62(10):741-745.
- [48] 梁启富,邹华娇,黄承远,等.8种农药在豇豆上单独与混合使用的消解动态及膳食暴露风险评估[J].农产品质量与安全,2024(5):44-51.
- [49] 符筠韩.混用农药对豇豆混合污染效应及品质影响研究[D].海口:海南大学,2020.
- [50] 王娣,狄珊珊,王新全,等.豇豆不同生长期施用毒死蜱的膳食风险[J].浙江农业学报,2021,33(6):1104-1109.
- [51] 潘少东.噻虫啉在温室蔬菜中的沉积、降解、代谢和安全性评估[D].合肥:安徽农业大学,2023.
- [52] 沈群超,吴华新,胡寅侠,等.乙酰甲胺磷在豇豆上安全使用的研究[J].江西农业学报,2014,26(6):46-48.
- [53] 袁飞龙,段丽芳.欧盟发布通报不再批准甲基硫菌灵的续展登记[J].农药科学与管理,2019,40(4):25.
- [54] 方宗壮.豇豆和土壤中农药的残留动态和相关性及其去除方法研究[D].海口:海南大学,2016.
- [55] 王娣.基于安全间隔期-生长阶段匹配策略的豇豆安全用药研究[D].海口:海南大学,2021.
- [56] 王娣,狄珊珊,王新全,等.丁硫克百威在豇豆不同时期施用的降解代谢研究[J].浙江农业学报,2020,32(11):2050-2058.
- [57] 王新全,王祥云,马莹,等.乐果及其代谢物氧乐果在不同生育期豇豆中的残留消解动态[J].农药学报,2017,19(4):523-527.
- [58] 李辉,李娜,刘磊,等.5种农药在豇豆上使用的安全性评价[J].福建农业学报,2018,33(11):1176-1180.
- [59] 殷越,侯燕华,陈立萍,等.我国豇豆用农药登记情况及对策建议[J].农药科学与管理,2024,45(1):17-26.
- [60] 姜鹏,聂继云,刘明雨,等.我国豇豆农药登记产品和残留限量分析及相关建议[J].中国瓜菜,2024,37(1):11-17.