

根茎病害研究通讯

Communications in Plant Root and Stem Diseases Research

(2019年第10期, 总第80期)

主办: 西南大学植物保护学院, 重庆烟草科学研究所

主编: 丁伟

2019年10月30日

工作动态

构建烟草病虫草害精准用药防控体系, 保障烟叶稳定、安全生产

2019年10月18日, 西南大学烟草植保团队承担的中国烟草总公司四川省公司重点科技项目《烟草病虫草害精准用药防控体系》顺利通过项目结题验收, 为这一项目工作画上圆满句号。受中国烟草总公司四川省公司委托, 本次项目验收组由四川省农科院经作所研究员曾华兰、泸州市烟草专卖局顾勇、安徽农业科学院烟草研究所祖朝龙、中国科学院南京土壤研究所李德成、中国农业科学院烟草研究所董建新、凉山州烟草专卖局王勇和四川省烟草专卖局审计处陶毅等组成, 由曾华兰担任组长, 顾勇担任副组长。中国烟草总公司四川省公司科技处主持本次项目验收会, 项目负责人西南大学丁伟教授、西南大学项目组成员、四川省烟草科学研究所项目组成员参加了本次验收会。

验收会上, 西南大学李石力博士代表项目组进行汇报。会议开始, 李石力博士分别从项目开展背景、项目主要研究内容和项目开展至今取得主要研究成果等方面对该项目进行汇报。汇报结束, 随后进行专家组和财务质询、项目组答疑和专家组讨论环节。最后, 项目验收组专家给予了该项目高度评价, 并一致同意《烟草病虫草害精准用药防控体系》通过项目结题验收。

通过开展《烟草病虫草害精准用药防控体系》项目, 西南大学联合四川省烟草公司、四川省烟草科学研究所, 在四川省烟草病虫草害的药剂精准防控体系构建方面作出了重要贡献, 在明确主要病虫草害防治药剂、最佳用药量、最佳施用时期、最佳施用方法的同时, 还明确了施药器械与防效的关联, 为四川省乃至全国烟草病虫草害精准用药技术体系提供了重要理论支撑和参考案例。



(江其朋 供稿)

研究进展

棉隆土壤熏蒸防控烟草青枯病取得显著成效

烟草青枯病是由青枯雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)引起的毁灭性烟草土传病害^[1],在我国南方烟区普遍发生^[2]。土壤熏蒸是一种快速、高效杀灭土壤中病原菌、线虫、杂草及地下害虫等的土壤消毒技术,是实现土传病虫害有效防控的一项重要措施。自20世纪40年代开始使用土壤熏蒸剂以来,被广泛应用于防治农作物土传病害,如苹果再植病、生姜茎腐病、辣椒疫霉病、番茄根结线虫病以及黄瓜枯萎病等^[3-7]。

棉隆(dazomet)作为一种广谱土壤熏蒸消毒剂,在土壤中能分解出异硫氰酸甲酯、甲醛和硫化氢等气体,迅速扩散至土壤团粒间,能杀灭土壤中的细菌、真菌、线虫及杂草种子等^[8-10]。目前,棉隆多用于我国北方大棚或设施经济作物土传性病害的防治^[11-12],在烟草生产上尚未见报道。为探究棉隆土壤熏蒸对烟草青枯病的控制效果,重庆烟草科学研究所选择在烟草青枯病常年发生且具有代表性的重庆市彭水县润溪乡白果坪烟草基地开展98%棉隆微粒剂土壤熏蒸消毒试验,以评估烟田土壤消毒对烟田烟株生长、烟草青枯病发生以及烟叶产质量的影响,为今后烟田土壤消毒防病提供参考。

试验结果显示表明,熏蒸处理组烟株旺长期的叶片数,株高、最大叶宽和最大叶长均显著优于空白对照(表1)。其中,熏蒸处理组烟株平均叶片数增加了1.9片,平均株高增加24.9 cm,平均最大叶长增加9.09 cm,平均最大叶宽增加5.85 cm,表明熏蒸处理有助于促进烟株生长。

表1 熏蒸处理对烟株旺长期农艺性状的影响

项目	棉隆熏蒸处理	对照处理	显著性
有效叶片/片	14.8±0.61	12.9±0.43	*
最大叶片长度/cm	33.60±0.63	27.75±1.00	***
最大叶片宽度/cm	72.35±1.02	63.15±1.13	***
株高/cm	80.65±2.35	55.00±1.66	***

田间烟草青枯病调查结果表明,熏蒸处理可推迟烟田青枯病发病时间约27 d。整个发病

调查期间（6月16日至8月12日），熏蒸处理发病率和病情指数均显著低于空白对照（图1）。发病后期（8月12日），空白对照发病率为60.37%，病情指数为25.64，而熏蒸处理后的发病率仅为14.46%，病情指数为7.20。发病前期，熏蒸处理对于烟草青枯病防效可达100%，随烟株生育期和病害发展，防效略有降低，但相对防效仍然维持在70%以上，表明棉隆土壤熏蒸处理对烟草青枯病具有较好的防治效果。

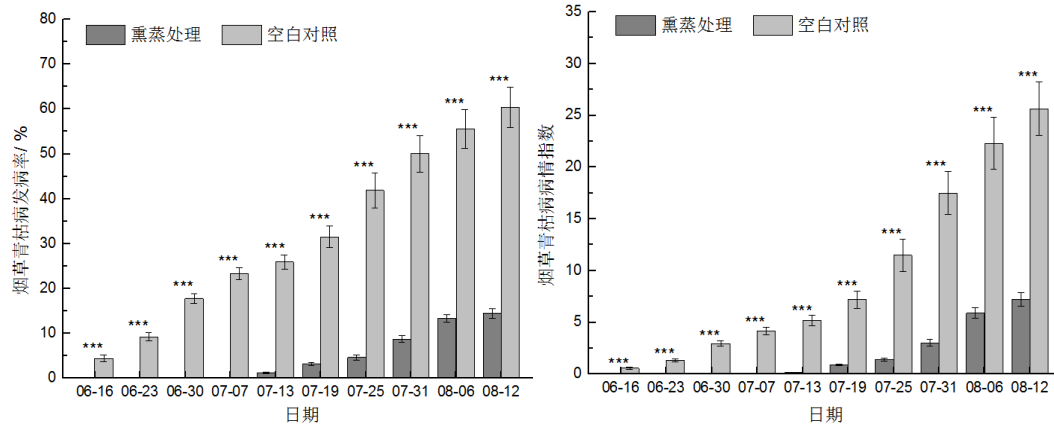


图1 熏蒸处理对烟田青枯病发病率及病情指数的影响

采收期棉隆土壤熏蒸处理组烟株农艺性状以及烘烤后烟叶产质量测定结果表明（表2），熏蒸处理组烟株长势明显优于对照组，表现为有效叶片数达18~19片，高出对照3~7片；平均叶片长度达78 cm，高出对照15~23 cm；熏蒸处理组平均株高达180 cm，高出对照67 cm；平均茎直径为4 cm，超出对照2 cm。烘烤后，棉隆熏蒸处理组烟叶产质量均明显优于对照处理组。熏蒸处理组烟叶亩产量为151.2 kg，超出对照37.8 kg；熏蒸处理组上等烟比例达70%，中上等烟比例为100%；对照处理组上等烟比例仅为45%，中上等烟叶比例为90%。相较于对照处理组，熏蒸处理组烟叶亩产值增加1134元，表明熏蒸处理具有显著增产效应。

表2 烟叶采收及烘烤后产质量对比表

项目	棉隆熏蒸处理	对照处理	显著性
有效叶片/片	18.6±1.45	13±2.76	*
平均叶片长度 /cm	77±2.12	58±4.81	***
平均株高 /cm	180±3.25	113±2.33	***
平均茎直径 /cm	4.20±0.22	2.12±0.14	**
烘烤后产量 /kg/亩	151.2	113.4	—
烟叶等级	上等烟 70%； 中上等烟 100%	上等烟 45%； 中上等烟 90%	—

棉隆是一种广谱的土壤熏蒸剂，土壤熏蒸处理能显著降低土壤病原菌数量，减轻土传病害的为害程度^[13-15]，保证作物产质量，对土壤微生物以及土壤酶活性均有显著的影响^[16-18]。有研究发现，在同一地块连续频繁使用同一类型化学熏蒸剂后，对土传病害的控制作用会显著下降^[19]；联合使用土壤消毒和生物防治技术治理土传病害，国内外已有一些尝试。Slusarski和Pietr^[20]在甜椒土传病害发病严重地块，采用棉隆熏蒸（50 g/m²）和棘孢木霉 *T. asperellum*

菌剂 (10^9 CFU/穴) 联合处理, 连续处理 3 年后, 甜椒黄萎病 *Verticillium dahliae* 发病率仅为 1.8%, 增产 46.2%。目前关于熏蒸处理对烟草青枯病的防控机理、化学熏蒸与生防菌联合防治的效应分析和对土壤微生物区系的动态影响还缺乏系统研究。因此, 后续试验应综合考虑化学熏蒸与生防菌的协同防病效应及对土壤微生物群落的动态影响, 评估土壤熏蒸消毒的持效期, 对土传病害的有效防治和生防菌剂的高效利用提供理论依据。

(龚杰 供稿)

淡紫拟青霉对烟草根结线虫病根际微生物功能多样性的影响

为找到对烟草根结线虫病有良好控制效果的药剂, 探究药剂施用对烟草根际土壤微生物碳源代谢情况的影响, 西南大学烟草植保团队以烟草品种红花大金元为试验材料, 通过田间试验研究施用淡紫拟青霉、枯草芽孢杆菌、荧光假单胞杆菌、哈茨木霉和阿维菌素、阿维·丁硫对烟草根结线虫病根际微生物群落多样性的影响。结果表明, 淡紫拟青霉等菌剂/药剂处理能显著改善土壤微生物结构, 提高土壤微生物碳源代谢能力, 防控烟草线虫病。

田间病害调查结果表明, 发病后期, 不同菌剂处理病程进展下曲线面积与对照存在显著性差异, 不同菌剂/药剂处理对烟草线虫病均有较好的防控效果, 其中以淡紫拟青霉和阿维菌素的防效最佳, 防效分别为 88.90%和 82.97%, 荧光假单胞杆菌处理防控效果为 75.68%。对土壤微生物碳源利用情况的降维主成分分析分析结果表明, 菌剂/药剂处理能显著改变土壤微生物碳源代谢情况, 而不同处理间存在一定差异 (图 1)。

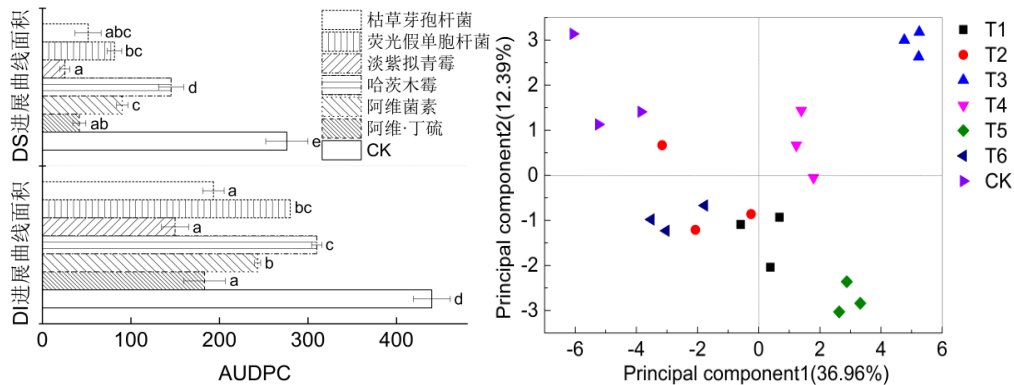


图 1 不同菌剂/药剂处理对烟草线虫病的防控效果 图 2 不同处理碳源利用情况 PCA 分析

进一步对各处理碳源利用情况进行分析, 结果表明, 菌剂/药剂处理后 31 种碳源代谢平均颜色变化率 (AWCD 值) 均有显著提升, 表明菌剂处理能够提高根际土壤微生物群落整体碳源代谢能力 (图 3), 而 Pearson 相关分析结果表明, AWCD 值与线虫病病情指数呈显著负相关关系。同时, 碳源代谢 McIntosh 指数和 Simpson 指数均有一定提升, 表明菌剂处理能提高碳源代谢多样性, 增强碳源代谢活性 (表 1)。通过对不同处理土壤 31 种碳源的代谢利用情况进行比较, 结果显示, 和对照相比, 淡紫拟青霉处理对 D-半乳糖酸- γ -内酯、 α -D-乳糖、4-羟基苯甲酸、肝糖、2-羟基苯甲酸 5 类碳源利用较为明显, 较其他处理碳源利用类型更为丰富 (图 4)。

表 1 土壤微生物群落多样性指数

处理	Simpson 指数	Shannon 指数	McIntosh 指数
Treatment	Simpson index	Shannon index	McIntosh index
枯草芽孢杆菌 <i>B. subtilis</i>	0.961±0.003b	3.327±0.024a	7.849±0.226de
荧光假单胞杆菌 <i>P. fluorescens</i>	0.957±0.009b	3.196±0.025a	7.235±0.176cde
淡紫拟青霉 <i>P. lilacinus</i>	0.958±0.003b	3.251±0.011a	8.315±0.029e
哈茨木霉 <i>T. harzianum</i>	0.949±0.003a	3.207±0.063a	6.622±0.413bcd
阿维菌素 <i>Avermectin</i>	0.952±0.012a	3.236±0.041a	5.804±0.253ab
阿维·丁硫 <i>Avermectin-butyl sulfate</i>	0.950±0.008a	3.219±0.174a	6.035±0.860abc
CK	0.952±0.013a	3.095±0.065a	5.118±0.222a

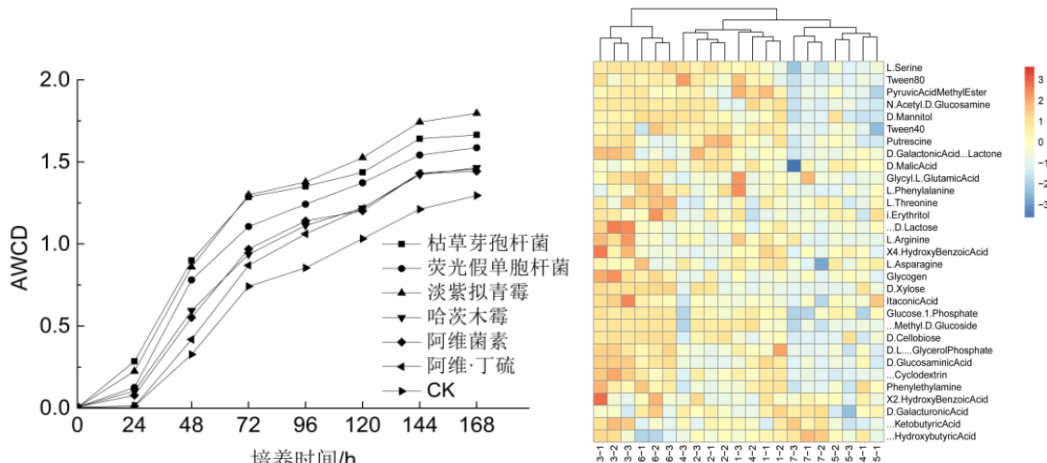


图 3 土壤微生物群落 AWCD 随着培养时间的变化 图 4 不同处理土壤微生物对 31 种碳源代谢利用情况

综上所述,微生物菌剂处理能显著提高土壤微生物碳源利用能力,改良土壤微生物结构,从而防控烟草线虫病害,其中,以淡紫拟青霉处理对烟草线虫病防控效果最佳,而淡紫拟青霉处理可显著提高根际土壤微生物对碳水化合物类碳源,尤其是 D-半乳糖酸-γ-内酯的代谢利用。

理论支撑

植物医学新概念——精准用药

农药仍然是我国农业生产过程中防治病虫害草害的主要手段。然而,农药施用不精准易造成农药利用率低、农产品农药残留超标、环境污染、防治效果不好等问题,已成为制约农药使用的“瓶颈”。科学用药的核心是精准用药,农药精准施用技术成为解决以上问题的有效手段。西南大学烟草植保团队丁伟教授在本文中系统阐述了精准用药的概念及其意义,分析了科学合理精准使用农药需要注重的要素,解析了农药精准使用的技术体系,展望了精准用药未来的研究和发展方向,强化了农药精准使用的理解,提出了农药精准使用的要求,对丰富植物医学理论,推进植物医学事业的发展具有重要的参考价值。

1、农药精准施用的概念

目前,在我国的农业生产过程中,农药仍然是防治病虫害草害的主要手段。据报道,农药的使用可使全世界每年挽回 20%~25%的农产品产量^[21-23]。长期以来,农药使用过程中存在着滥用农药、靶向不明、随意增加用药量或加大用药浓度、盲目混用、施药时间和方法不当、

施药器械的选择和操作针对性不够、对农残的认识不足等严重的不精准问题, 这些农药使用的问题整体表现为不能对靶和精准, 不能最大限度地发挥其作用; 这些易造成药剂量不足或农药过量, 从而导致农药防治效果不好或农药浪费, 容易造成农药残留超标^[24-26]。且我国施药方式不科学、常规的施药方法造成农药利用率很低、农产品农药残留超标、环境污染等问题, 成为制约农药使用的“瓶颈”^[23]。随着精准农业的发展, 农药精准施用技术成为解决以上问题的有效手段^[26,27]。农药精准施用以显著提高农药利用率、极大减轻环境污染和农药对人类副作用、减缓和减轻农药有害生物抗药性、减轻对非靶标生物的危害以及保障作物绿色防控和产质量安全等为优势, 已经得到了大力发展与广泛应用^[22,26]。

农药精准施用 (precision pesticide application, PPA) 的概念: 在农药施用过程中, 根据作物生长和病虫害发生情况, 应用先进的施药器械, 采用定时、定量和定点施药方法, 最大限度地发挥药剂的作为, 实现节约农药、提升防效、减轻污染和残留的农药使用技术。

控制作物的病虫草害可采用农业的、生物的、生态的、物理的等各种手段, 但综合分析可知, 在今后一个相当长的时间内, 使用农药仍将是人类与作物病、虫、草害做斗争的最重要的手段^[28]。目前, 我国正在大力推进绿色防控和减肥减药行动, 总体目标是采用更多的绿色防控手段来有效控制病虫草害, 最大限度地减少化学农药的使用量, 在控制病虫草害的同时, 确保作物生产者安全、农产品质量安全和乡村生态环境的安全^[29]。推进绿色防控并不是完全否定农药的使用, 相反, 绿色防控对农药的科学使用提出了更高的要求。因此, 我们要有绿色防控的观念, 要积极推进绿色防控措施, 但也绝对不能忽视对化学农药的科学使用。

为此, 必须重新审视农药, 挖掘农药潜力, 充分发挥农药的正面作用, 把负面作用降低到最大程度。因此, 农药的精准施用、科学使用和减量增效就显得十分迫切和非常重要。但是, 面对种类繁多的农药品种和商品名称, 面对多种多样的病虫草害及其复杂的发生规律, 农药精准使用的要素是怎样的, 使用时要注意什么问题, 农药精准使用的原则如何, 却一直是困扰广大作物生产者的难题。另外, 由于农药有毒性、残留和污染^[30]等潜在副作用, 使用不当会带来严重的后果, 因此, 对于广大的农药使用人员来说, 需要详细了解农药的特性, 科学、合理、规范地使用农药, 最大限度地发挥农药有益的一面, 降低农药的毒副作用, 才能很好地发挥农药为作物生产服务的作用。

2、农药精准使用的要素

农药的应用是一门涉及到多个方面的科学^[31]。要想发挥好农药的作用, 达到有效控制有害生物、确保作物的安全、优质、高效生产, 就必须以科学的态度来对待农药, 并在实际生产的过程中, 加以科学合理的使用^[32]。科学合理精准使用农药需要注重以下几个要素:

①考虑大靶标、对准小靶标、作用于分子靶标。根据作用对象范围的大小, 可把作用靶标分为以下三种。一是大靶标: 药剂需要保护的對象。二是小靶标: 是药剂需要作用的對象, 也就是我们喷药根本目的, 一般指防治對象。三是分子靶标: 一般指药剂的作用位点。药剂必须接触到小靶标, 然后经过吸收传导, 进入昆虫体内或者病原菌组织内, 最后达到作用

的核心位点，才能发挥作用。因此，农药喷洒过程中，我们对准作物喷药，大约有 25-50% 能沉落到大靶标上，然后有大约 5% 左右能达到昆虫身体或者病斑上面，经过吸收传递，将会只有 1% 左右能够到达最后发挥作用的分子靶标上^[33]。因此，真正能够发挥作用的药剂只是我们喷洒药剂的不到 1%。由此可见，精准用药是多么关键，而且将有很大的开拓空间。

②注意针对不同对象和不同生长期选择不同的喷雾器械^[34]。农药要想达到作用靶标上就必须借助一定的施药器械与方法，农药发挥作用取决于三个关键要素^[36]：一是农药的毒力水平，二是农药适合喷施的剂型，三是喷雾器械和对靶喷雾技术。在这三个关键要素中，最为重要的是必须保证足够的农药剂量准确地达到靶标部位^[37]。在这些要素中，施药器械就显得十分关键^[38]。随着施药技术的不断发展与更新，如今出现许多先进的施药技术，如：低量喷雾技术^[39]、静电喷雾技术^[40]、泡沫喷雾技术^[41]、循环喷雾技术^[42]、药辊涂抹技术^[43]、自动对靶喷雾技术^[44]、防飘喷雾技术^[45]、智能化对靶喷雾技术^[46]的应用等。以上技术都能大幅度减少农药用量，可节省农药用量 50%-95%，不仅节约了种植成本，还大幅度减少或基本消除农药喷到非靶标植物上的可能性，从而显著减少对环境的污染。

③注意考虑防治对象的特点^[47]。作物不同时期的有害生物的发生的特征不同，栖息部位不同，在施药技术上应通过施药的毒力空间和有效靶区的界定，达到对靶施药，提供施药的针对性，避免农药的浪费。

④注意药剂发挥作用的最佳条件^[48]。由于农药或者其助剂都是在一定条件下（环境温度、气候条件、土壤 pH 等）才能发挥出最大的效果。因此，在施药技术上应注意药剂发挥作用的最佳条件，提高药液的利用率，降低药液的浪费。

⑤注意病虫草害发生的关键时期和病虫发生的关键部位^[49]。农药在适宜的时期且对病虫发生的关键部位施用，才能达到预期效果，而施用适宜期则应根据病虫草害发生的关键时期^[46]。由于在不同时期，病虫草害发生的情况不同，应用农药就可能产生不同的、甚至相反的效果。因此，必须结合当地病虫草害发生的实际状况和病虫发生的关键部位应用农药。

⑥注意选择恰当的用药剂量^[50]。能够准确的配置农药是农药科学精准使用的基础和保障。一般农药在使用前都要经过稀释，配置成一定浓度或者稀释成一定的倍数后才能进行施药作业。因此，施药人员必须掌握准确的农药配置方法，这样才能充分发挥农药的功效，减少农药对环境的污染，达到预期的防治效果。

3、农药精准使用的技术体系

3.1、作物上使用药物防治的前提

在有害生物控制的过程中，最好的办法是通过品种选择和良好的农事操作，以达到不发生或少发生有害生物的目的。即使发生了有害生物也要考虑是否就对作物造成了经济损失，这个经济损失与防治成本比较之后，确实需要采取防治措施时，才考虑进行防治。但是，在病虫害发生比较严重，而且又处于发生危害的高峰期时，就需要采取化学药剂进行控制^[51,52]。因此，可以将使用药剂进行有害生物控制的前提归纳为以下几点：

① 只有在栽培管理措施无法有效控制病虫草害的时候才使用农药。② 正确诊断，对症下药。③ 使用经过登记、批准和试验验证可行的农药来控制作物病虫害。④ 要严格遵守使用规则和指南，按照每一种农药的应用技术和使用说明进行操作。⑤ 对使用的农药要精确记录其有效成分、产品特性、施用量及施用日期。⑥ 恰当运用农药的轮换和混配技术，以避免病虫害对农药产生抗药性。⑦ 明确每种药物的毒性特点，严格按照安全间隔期和推荐剂量、次数施药，必须将农药残留控制在规定的范围内。⑧ 农作物上使用的农药必须以保障农作物安全和农产品质量安全。

3.2、掌握正确施药时期

选择恰当的施药时期，可以减少用药量，也能够起到较好的防治效果。①害虫，应选择最易杀伤害虫，并能有效控制为害的阶段进行施药。对食叶害虫^[38]和刺吸式口器害虫^[53]一般应在低龄幼虫、若虫盛发期防治为好。②病害，对于病害来说，易感病的生育期都是防治适宜时期^[54]。但流行性病害的防治要注意在病害还没有大规模流行之前施药进行预防。作物上的病害控制一定要树立预防为主的思想，预防要结合实际情况，并不是普防。对于一些经常发病的地区，特别是系统性病害，如病毒病的常发区域，一定要全面进行预防处理，一旦出现了病症，再采用药剂进行防治就已经晚了。③：杂草，以种子繁殖的杂草，在幼芽或幼苗期对除草剂比较敏感^[52]。因此，这一时期就作为防除杂草的适期。对于一些根系发达的杂草，施药的适期没有明确的限制。④：作物，药剂对作物的安全性是确定施药适期的先决条件，一旦发生病虫害，使用药剂要在确保农作物本身安全的前提下进行控制，不能对农作物造成药害^[55]。

3.5、充分利用防治阈值选择合适防治时期

防治阈值有时又叫经济阈值，是指防治成本与危害造成的损失相等的程度。如果危害比防治成本高，就要进行防治，如果危害损失不及防治成本，就可以考虑不进行防治^[56]。从经济学的角度看，个别的农作物发生病虫害现象是正常的，只要没有达到经济阈值，提倡采用农业措施如及时拔除个别病害植株或人工捉虫等来控制病虫害。化学防治的宗旨是既能最大限度地防治病虫害，又能保证防治成本控制在最低水平，应使两者充分协调，接近或达到成本投入和收益的“黄金结合点”。

3.7、讲究防治方法和用药质量

在田间施药时，要细致周到，讲究质量。根据病虫害在作物上危害的部位，把农药用在要害处。不同的农药剂型，应采用不同的施药方法^[57]。一般说来乳剂、可湿性粉剂、水剂等以喷雾为主；颗粒剂以撒施或深层施药为主；粉剂以撒毒土为主；内吸性强的药剂，可采用喷雾、泼浇、撒毒土法等；触杀性药剂以喷雾为主。为害上部叶片的病虫害，以喷雾为主；钻蛀性或为害作物基部的害虫，以撒毒土法或泼浇为主。凡夜出为害的害虫，以傍晚施药效果较好，如对小地老虎（土蚕）的防治，就不能在上午或者中午阳光很强的时候去施药。对于农田地下害虫的防治一定要在移栽当天采用带水、带肥、带药的“三带”技术，可以很好地控制

地下害虫的危害，避免对农作物的伤害。

明确以上精准用药技术要点的同时，还需强调①对症下药、②明确施药浓度和用量要适当、③均匀施药、④合理轮换和混用农药、⑤注意残留和药剂安全间隔期。

4、展望

用药的根本目的是治病，诊断准了，用药准了，才能实现对症治疗和防病治病，才能实现精准医疗。因此，精准用药意义重大！实际上，农药施用的靶向与精准还有很大的距离。个性化用药是精准医学的第一落脚点。精准医学的发展给精准用药提供了基本保障！农药的精准施用也要借鉴精准医学的理念，在精准诊断的同时，能够恰当地对准靶标，实现对靶施药和高效用药。农药的施药技术是涉及施药器械、药剂理化性质、植株冠层结构以及不同施药方式等方面的综合技术，而不是一个单一的方面。农药的有效利用率受植保器械的质量、施药者的技术水平、气象条件、靶标特性、有害生物特点等多方面影响，这一过程是复杂的；多种影响因素协同作用的好坏，决定着药剂的有效利用率。通过以上研究并结合农作物的特点，从建立农田农药减量增效施药技术的角度，从如下方面加以考虑农药精准施用的要求：①严格按照用药剂量，控制施药次数；②依照安全间隔期，执行药剂防治，避免过量用药，严控农残超标；③需将病虫害控制和健康栽培、绿色防控措施紧密结合，尽量减少化学药剂的使用。

（引自植物医生《植物医学新概念——精准用药》）

参考文献

- [1] Qian Y L, Wang X S, Wang D Z, et al. The detection of QTLs controlling bacterial wilt resistance in tobacco (*N. tabacum* L.) [J]. *Euphytica*, 2013, 192 (2) : 259-266.
- [2] 孔凡玉. 烟草青枯病的综合防治 [J]. *烟草科技*, 2003 (4) : 42-43, 48.
- KONG Fanyu. Integrated control of tobacco bacterial wilt disease [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2003 (4) : 42-43, 48.
- [3] 刘恩太, 李园园, 胡艳丽, 等. 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响 [J]. *生态学报*, 2014, 34 (4): 847—852.
- [4] 杨晓楠, 高德良, 韩君. 棉隆及氯化苦对几种生姜土传病原物的毒力 [J]. *农药学学报*, 2011, 13(3): 331—334.
- [5] 张超, 卜东欣, 张鑫, 等. 棉隆对辣椒疫霉病的防效及对土壤微生物群落的影响 [J]. *植物保护学报*, 2015, 42 (5): 834—840.
- [6] 聂海珍, 孙漫红, 李世东, 等. 棉隆与淡紫拟青霉联合防治番茄根结线虫病的效果评价 [J]. *植物保护学报*, 2016, 43(4): 689—696.
- [7] 田甜, 孙漫红, 李世东. 棉隆与粉红螺旋聚孢 67~1 协同防治黄瓜枯萎病的研究 [J]. *中国生物防治学报*, 2014, 30(4): 503—510.
- [8] 王秋霞, 颜冬冬, 王献礼, 等. 土壤熏蒸剂研究进展 [J]. *植物保护学报*, 2017(04):3-17.

- [9] Fraedrich S W , Dwinell L D . An Evaluation of Dazomet Incorporation Methods on Soilborne Organisms and Pine Seedling Production in Southern Nurseries[J]. Southern Journal of Applied Forestry, 2003, 27(1):41-51.
- [10] Prider J , Williams A . Using dazomet to reduce broomrape seed banks in soils with low moisture content[J]. Crop Protection, 2014, 59:43-50.
- [11] 曹坳程, 刘晓漫, 郭美霞, 等. 作物土传病害的危害及防治技术[J]. 植物保护, 2017(2).
- [12] 莫娟, 刘小娟, 王文慧, 等. 3 种土壤消毒剂对芹菜根腐病的田间防效[J]. 中国蔬菜, 2018(9):51-53.
- [13] 王会芳, 王三勇, 符美英, 等. 棉隆对番茄根结线虫病的防治效果[J]. 热带生物学报, 2014(3).
- [14] 刘春艳, 王万立, 霍建飞, 等. 98%棉隆微粒剂防治黄瓜根结线虫田间药效试验[J]. 北方园艺, 2011(23):128-130.
- [15] Mao L, Jiang H, Wang Q, et al. Efficacy of soil fumigation with dazomet for controlling ginger bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) in China[J]. Crop Protection, 2017, 100:111-116.
- [16] 刘恩太, 李园园, 胡艳丽, 等. 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响[J]. 生态学报, 2014(04):74-79.
- [17] Wang Q , Ma Y , Yang H , et al. Effect of biofumigation and chemical fumigation on soil microbial community structure and control of pepper Phytophthora blight[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2014, 30(2):507-518.
- [18] Nicola L , Turco E , Albanese D , et al. Fumigation with dazomet modifies soil microbiota in apple orchards affected by replant disease[J]. Applied Soil Ecology, 2017, 113:71-79.
- [19] Di Primo P, Gamliel A, Austerweil M, et al. Evidence for accelerated degradation of methamsodium and dazomet in Israel: a critical pest management issue[C]. Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, San Diego, 2001, 88: 1-5.
- [20] Slusarski C, Pietr S J. Combined application of dazomet and *Trichoderma asperellum* as an efficient alternative to methyl bromide in controlling the soil-borne disease complex of bell pepper[J]. Crop Protection, 2009, 28: 668-674.
- [21] 王万章, 洪添胜, 李捷, 等. 果树农药精确喷雾技术 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 98-101.
- [22] 翟长远, 朱瑞祥, 张佐经, 等. 精准施药技术现状分析 [J]. 农机化研究, 2010, 32(5): 9-12.
- [23] 袁会珠, 杨代斌, 闫晓静, 等. 农药有效利用率与喷雾技术优化 [J]. 植物保护, 2011, 37(5): 14-20.
- [24] 邱白晶, 李会芳, 吴春笃, 等. 变量喷雾装备及关键技术的探讨 [J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2004, 25(2): 97-101.
- [25] 王利霞, 张书慧, 马成林, 等. 基于 ARM 的变量喷药控制系统设计 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 113-118.
- [26] 单正军, 陈祖义. 农产品农药污染途径分析 [J]. 农药科学与管理, 2008, 29(3): 40-49.
- [27] 欧高财, 郑和斌, 任凡, 等. 农作物病虫害绿色防控发展制约因素及解决对策 [J]. 中国植保导刊, 2012, 32(8): 59-62.
- [28] 赵雁冰. 气相色谱—串联质谱法快速测定禽蛋中 203 种农药及化学污染物残留 [D]. 河北: 河北大学, 2011.
- [29] 虞轶俊, 施德. 农药应用大全 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.

- [30] 董向阳, 王思芳, 孙家隆. 农药科学使用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2013.
- [31] Kadish D, Cohen Y. Competition between metalaxyl-sensitive and metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora infestans* in the absence of metalaxyl [J]. *Plant Pathology*, 2010, 37(4): 558-564.
- [32] 傅泽田, 祁力钧. 国内外农药使用状况及解决农药超量使用问题的途径 [J]. *农业工程学报*, 1998, 14(2): 7-12.
- [33] 李鸿筠, 刘浩强, 冉春, 等. 不同喷雾器械对柑橘害虫的防治研究 [J]. *农机化研究*, 2015, (4): 150-154.
- [34] 孔霞. 农业农药生产率及农药施用行为的影响因素分析 [D]. 江苏: 苏州大学, 2013.
- [35] 吴士雄. 我国的农药市场与靶标防治 [J]. *农药*, 2000, 39(1): 7-10.
- [36] 杜卫民, 罗定棋, 张成省, 等. 不同施药器械对烟蚜的田间防治效果研究 [J]. *农学学报*, 2010, (10): 54-56.
- [37] 吴笛, 李君兴, 袁洪印. 植保无人机低空低量喷雾技术研究现状 [J]. *农业与技术*, 2018, (1): 45-47.
- [38] 余泳昌, 王保华. 静电喷雾技术综述 [J]. *农业与技术*, 2004, 24(4): 190-193.
- [39] 天得. 施用农药新技术 [J]. *四川农业科技*, 2001, 4(12): 13-26.
- [40] 农开发. 农药使用新技术 [J]. *农业新技术*, 2005, 9(2): 120-121.
- [41] 钟刚. 农药喷施节约技术 [J]. *农家之友*, 2011, 4(6): 16-18.
- [42] 袁湘月, 吴春笃, 储金宇, 等. 果园自动对靶喷雾机的研制-对靶喷雾技术的研究 [J]. *安徽科技学院学报*, 2004, 18(1): 49-52.
- [43] 曾爱军. 减少农药雾滴飘移的技术研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [44] 贾志成. 智能对靶喷雾室内机器人系统研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2006.
- [45] 朱日清, 方萍, 刘金弟, 等. 植物源生物农药种类及防治对象 [J]. *现代农业科技*, 2009, 12(16): 141-141.
- [46] 易亮, 易峰, 朱定志. 气象条件对农药施用效果的影响 [J]. *农业科技与信息*, 2005, 6(12): 39-39.
- [47] 杜桂芝. 夏玉米生产中关键时期病虫害防治措施 [J]. *现代农村科技*, 2010, 67(8): 23-23.
- [48] 姜舒. 小麦病虫害春季防治是关键 [J]. *农村新技术*, 2016, 5(2): 23-23.
- [49] 宋贤利, 姚志龙, 孙艾萍, 等. 相同农药剂量下不同用水量的防效比较 [J]. *中国植保导刊*, 2001, 21(7): 29-30.
- [50] 陈茹玉, 刘纶祖. 有机磷农药化学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995.
- [51] 赵善欢. 植物化学保护.第三版 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [52] 张飞萍, 陈清林. 毛竹主要食叶害虫研究进展 [J]. *竹子研究汇刊*, 2002, 21(3): 55-60.
- [53] 周福才, 杜予州, 任顺祥. 转 Bt 基因棉花对刺吸式口器害虫种群的影响 [J]. *生物安全学报*, 2005, 14(2): 132-135.
- [54] 孙友武, 蔡广成, 潘武. 水稻稻曲病菌的侵染期及防治适期的研究 [J]. *安徽农学通报*, 2008, 14(3): 92-93.
- [55] 毛俊岐. 免耕小麦的杂草防治时期 [J]. *麦类作物学报*, 1987, 21(6): 381-386.
- [56] 赵敏, 邵凤赞, 周淑新, 等. 植物生长调节剂对农作物和环境的安全性 [J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24(5): 370-372.
- [57] 郭明, 万传星. 棉蚜危害损失和经济阈值的研究现状 [J]. *塔里木大学学报*, 2000, 8(1): 51-56.