

# 根茎病害研究通讯

*Communications in Plant Root and Stem Diseases Research*

(2019 年第 2 期, 总第 72 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 2 月 28 日

## 工作动态

### 提前幕划、扎实推进, 百尺竿头更进一步, 彭水绿色防控工作精准落地

2017 和 2018 年, 在各方单位的积极参与和配合下, 彭水绿色防控工作得到了有效推进和落实, 取得了显著的成效, 绿色防控技术推广面积超过彭水植烟面积 70%, 相比于对照区, 绿色防控技术示范区烟草青枯病防效达 89% 以上, 示范区比对照区化学农药减少施用 51.83%, 烟农增收超过 20%。同时, 在重庆市烟草公司的支持下, 西南大学、重庆烟草科学研究所、彭水烟草公司在彭水润溪基地单元建成了“重庆烟草绿色防控技术研究基地暨烟草根际微生态过程与调控研究基地”, 专用于开展绿色防控技术研究工作。2019 年, 彭水绿色防控工作进入第 3 个年头, 西南大学与重庆烟草科学研究所和彭水烟草公司紧密团结在一起, 共同推进绿色防控工作的顺利开展。

3 月 6 日、7 日, 受全国烟草绿色防控首席专家、西南大学植物保护学院丁伟教授委托, 天然产物农药研究室项目组先行一步, 赴重庆彭水示范基地单元提前幕划 2019 年绿色防控工作, 落实示范区布局、育苗情况和物资配套情况。在与润溪烟草站工作交流的过程中, 张世渠站长首先对项目组去年的工作表示肯定与感谢, 然后对 2019 年的润溪烟草站的绿色防控工作分工情况进行详细说明, 并表示将全力支持示范区和试验区的工作开展。同时, 西南大学项目组本次还进一步优化绿色防控关键技术与当地常规生产技术的结合, 细化基地工作时间进度安排, 扎实推进示范区各项基础措施, 为后续工作有序进行打下了良好基础。



图1 润溪烟草站张世渠站长讲话



图2 西南大学与烟草站讨论绿色防控工作安排

4月27日，全国烟草绿色防控首席专家、西南大学植物保护学院丁伟教授亲自带队，来到彭水润溪基地单元，对2019年基地工作进展情况进行调研。丁伟教授一行人分别察看了情况对苗床烟苗长势、试验地和示范区起垄情况以及小区试验安排，并就后续小区试验和示范区工作对驻点人员重庆中烟博士后肖庆礼、驻点研究生江其朋、龚杰和谭茜进行了安排。

丁伟教授一行人首先视察了育苗工场烟苗生长情况，在仔细观察烟苗长势情况后，对后续壮苗举措进行了安排，丁伟教授强调要做到苗床期病毒病的预防以及营养补充，为后续移栽工作的进行打好基础，同时移栽期要壮苗移栽。参观完烟苗生长情况后，丁教授一行人又观察了试验地情况，期间丁伟教授对试验地的实验安排同驻点人员进行了探讨，着重强调该阶段三个方面的工作一定要落实好：第一是落实调酸小区试验，第二是落实试验地有机肥的施用，第三是落实试验及示范区生物菌剂的施用，这三个方面的基础工作是根茎病害防控的关键。最后，丁伟教授特别强调调酸工作要作为彭水基地下一步工作的重中之重。丁伟教授此行对彭水润溪基地单元后续工作做出明确指示，为下一步工作的有序、顺利开展奠定了基础。

百尺竿头更进一步，2019年是绿色防控工作关键之年也是决胜之年，西南大学将和各方紧密联系，认真推进绿色防控技术的研发和推广，实现烟叶的绿色生产，促进烟农增产增收，为烟叶产业健康持续发展提供有力保障和支撑。



图3 丁伟教授一行观察烟苗长势



图4 丁伟教授一行人与驻点人员合影

(江其朋、谭茜 供稿)

## 育苗基质拌菌技术在彭水取得显著成效

在重庆彭水润溪基地单元采用苗强壮菌剂开展育苗基质拌菌技术试验，试验设置基质拌菌不同用量，分别为 50 g/亩、100 g/亩、150 g/亩和空白对照。烟苗出苗后连续观测烟苗长势，结果如图 5 所示，观察结果表明，苗强壮基质拌菌对苗床烟苗生长表现出一定促进作用。基质拌菌育苗后 55 d，对苗强壮不同用量基质拌菌处理烟苗样品进行采集，并对烟苗鲜重、干重、株高、最大根长、最大叶长和最大叶宽进行检测，结合主成分分析方法（PCA）对烟苗鲜重、干重、株高、最大根长、最大叶长和最大叶宽等 6 项农艺指标进行降维分析，同时采用 ANOSIM 组间相似性分析方法对不同处理苗床烟苗整体性状进行评估，结果如图 6 所示。研究表明，苗强壮基质拌菌育苗均可显著影响烟苗生长情况，不同苗强壮用量与空白对照间表现出明显的差异（ANOSIM,  $p=0.026$ ,  $R=0.0405$ ）。

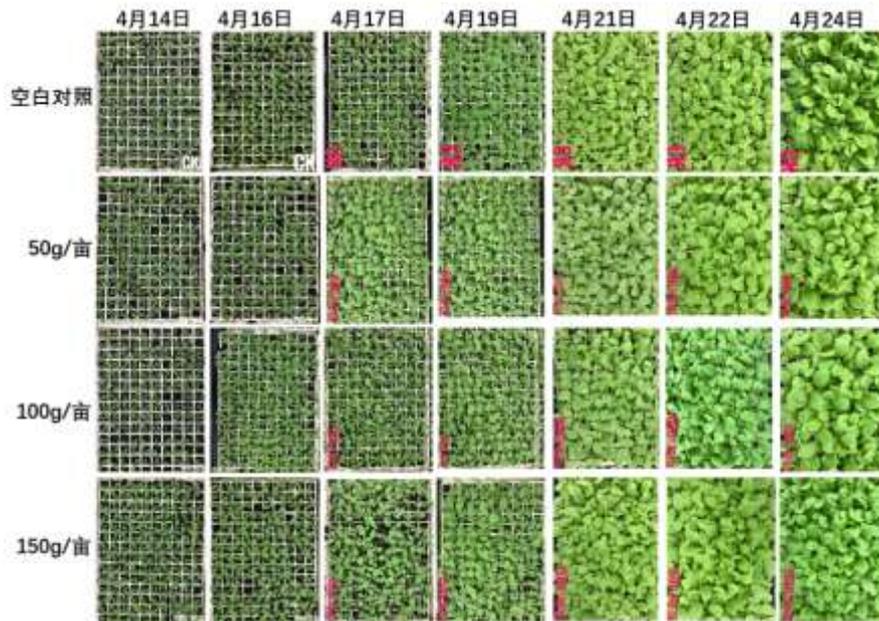


图 5 苗强壮不同用量基质拌菌苗床烟苗对比

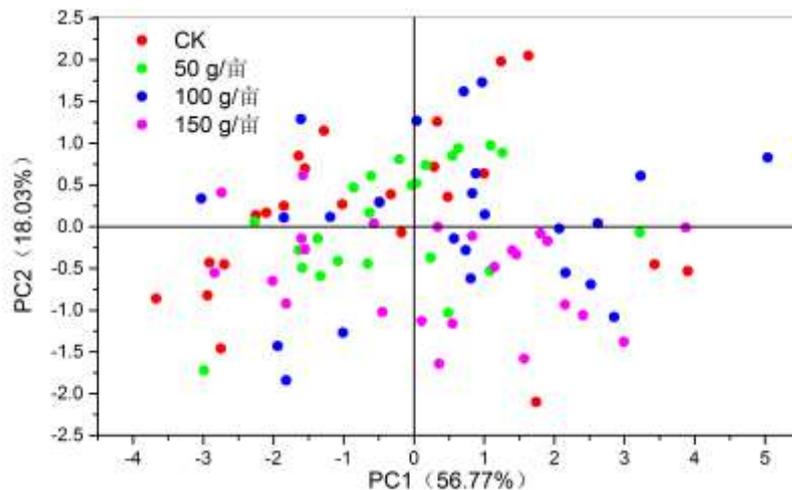


图 6 苗强壮不同用量对烟苗整体苗床性状的影响

注：PC1 和 PC2 为烟苗鲜重、干重、株高、最大根系长、最大叶宽和最大叶长降维后的主成分。

进一步对各处理农艺性状进行组间差异分析，结果如图 7 所示。研究表明，不同苗强壮用量基质拌菌对烟苗各项农艺性状均有一定促进作用，其中以 100 g/亩苗强壮用量对烟苗的促进作用最佳，其干重和最大叶宽显著优于空白对照 ( $p<0.05$ )。移栽期，炼苗后的苗强壮基质拌菌烟苗长势明显优于空白对照（图 8），进一步表明苗强壮基质拌菌在促进烟苗苗床期生长的作用。

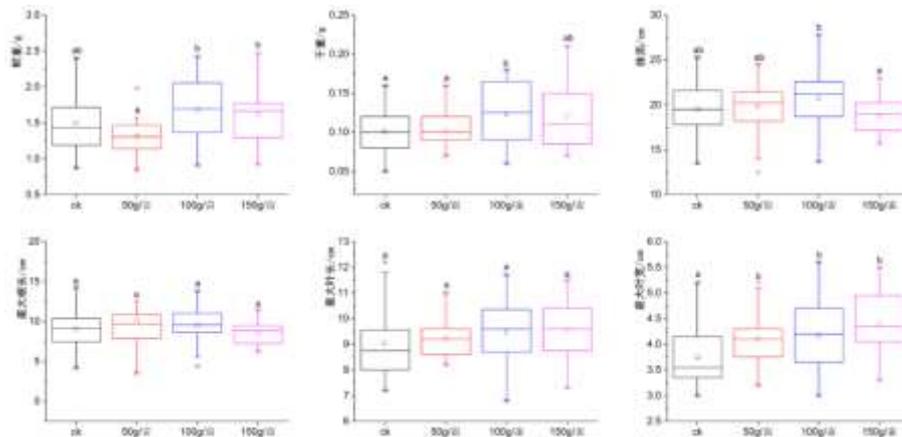


图 7 苗强壮不同用量对烟苗农艺性状的影响



图 8 基质拌菌和对照烟苗长势对比

(江其朋 供稿)

理论支撑

用好土壤免疫新理念，防控植物病害、保证植物健康

1 土壤免疫概念的提出

土壤是植物生长的基础，优质、健康、可持续的农产品生产离不开健康、肥沃、可持续

的土壤条件。连续在同一块耕地上种植同一种或同一科作物，因作物根系分泌物和残留物及某些病原微生物在土壤中大量积累，会导致土壤严重退化，并逐渐转变为易发病土壤<sup>[1-3]</sup>。而同种作物长期对所需营养元素持续利用而导致一些元素缺乏，不需要的营养元素则大量累积，致使土壤营养失衡<sup>[4-5]</sup>。此外土壤微生物群落结构失衡，呈现出有害微生物增多、有益微生物减少等多样性降低的现象和趋势，导致土壤自身对有害微生物的约束能力或抑制作用下降<sup>[6-7]</sup>。“土壤-植物系统病”的根源在土壤，表现在作物，当有病土壤遇到免疫力低的植物，即会以植物病害的形式表现出来，生产上常称作重茬病、连作障碍、再植障碍等<sup>[8-10]</sup>。这些现象与研究结果给我们一个重要的启发，即植物健康维护必须考虑土壤健康。植物的健康来自土壤，这是一个重要的基本规律。因此，要想有效地控制植物病害就必须关注土壤的健康。

土壤健康（Soil Health）的定义是：在生态系统或者土地可利用范围内，土壤作为关键的“活”的系统，持续支撑生物生产、维持大气和水环境质量、促进动植物和人类健康的能力<sup>[11]</sup>。

随着科技的进步和耕作制度的变化，高度集约化、高复种指数、高强度利用、高频率人为干扰，过量施肥、过量用药、过量灌水、过度耕作与践踏，以及地膜污染等强烈干扰和巨大压力下，土壤健康状态急剧恶化<sup>[12-13]</sup>。短的种植 2~3 年，长的仅 10 年左右，就出现土壤营养失衡、酸化、次生盐碱化、有害物质积累以及土壤微生物种群多样性和功能退化等一系列土壤病<sup>[14-15]</sup>。土壤生病导致植物生病，植物健康的根源在于土壤已经成为植物医学工作者的共识，但长期以来，人们对植物病害的认识和防控仍只局限在植物层面，而对土壤层面的理解和关注还远远不够。

为了探索土壤健康和植物健康的关系，植物病理学家和土壤学家们分别从不同的途径出发：一条是从土壤的理化特性与植物的关系出发，研究土壤对植物健康的影响<sup>[16]</sup>；一条是从土壤与各种生物之间的关系出发，分析有益微生物和有害微生物的组成和功能对植物健康的影响<sup>[17]</sup>。研究人员在实践中发现，在病害发生严重的区域内可能存在成片或零星的一些发病较轻或者不发病的地块，这与品种抗性、栽培措施没有直接关系，主要是土壤具有一定的抑菌作用，这样的土被称为“抑病土（Suppressive Soil）”<sup>[18]</sup>。

1934 年 Fellows 和 Glynn 分别在美国和英国发现小麦全蚀病的抑病土；1968 年 Gerlagh 在荷兰验证了小麦全蚀病抑病土的存在，同时发现小麦连作可使部分病田转变为抑病土。Baker 和 Cook 在 1974 年进一步证明了麦田土壤对小麦全蚀病的抑制性随着连作年限的增加而逐渐衰退，由此提出了抑病型土壤的定义，即为病原菌不能定殖，或能定殖但为害很小或者没有为害，或者能定殖并造成一时为害随后即使在病原菌存在的情况下发病也很轻的土壤<sup>[19]</sup>。2011 年 Mendes 等在 *Science* 上发表论文，证实了立枯丝核菌（*Rhizoctonia solani*）抑病型土壤的存在，发现在这种土壤中存在大量的变形菌（*Proteobacteria*）、厚壁菌（*Firmicutes*）和放线菌（*Actinobacteria*），植物在受到病原菌侵染时，可以利用这些微生物群落保护自己并抵抗病原菌<sup>[20]</sup>。实际上，自然界普遍存在抑病土，土壤中经常存在一些挥发性高或者非挥

发性物质和拮抗微生物，使土壤产生抑病性<sup>[21-22]</sup>。

2016年，Raaijmakers等在Science发表观点，在抑病土的基础上提出了土壤免疫的概念，指出植物在感染土传病害时，土壤对病原菌有识别、记忆的能力，在病原菌再次侵染植物时，土壤能表现出对病原菌的抑制作用，从而阻碍植物病害的大暴发，这个过程叫作土壤免疫<sup>[23]</sup>。笔者认为：土壤免疫是指在一定的土壤环境条件下，经常栽培一种植物，土壤的微生物就会形成特殊的微生态体系，由此表现出对一些病害有控制作用的特性，就是土壤免疫。从这个概念上讲，土壤免疫是帮助植物对病害产生抵抗的一种生物现象，建立在土壤中有大量生物体存在的基础上。

土壤免疫的特性：①土壤免疫有一定的范围，其范围受栽培作物长期选择的影响<sup>[18]</sup>。②土壤的结构和pH值状况可显著影响土壤的抗病特性<sup>[18, 24]</sup>。③土壤的抑病性和施肥状况、有机质的添加、栽培作物、耕作措施、气候条件等有密切的关系<sup>[25-27]</sup>。④土壤的抑病性有可传递性，这主要是因为抑病性受微生物的影响，同时也是栽培作物适应的结果<sup>[20, 28]</sup>。⑤土壤的免疫特性具有可塑性，经过有意识的培养和改造，可以提升土壤的抗病和免疫力，这是未来植物健康维护的重要切入点。

## 2 土壤免疫和植物健康的关系

在作物的种植过程中，由土壤环境条件等原因引起的病虫害对作物幼苗的成活和植株的正常生长都存在着十分重要的影响。同时，由于受作物栽培技术的影响和可种植面积的限制，作物重茬连作已经成为一个普遍的现实问题，而重茬连作所带来的病原菌积累问题十分严重<sup>[29]</sup>。如苗床或育苗期的立枯病、猝倒病、根腐病等，随土壤传播的一些生长期病害，如青枯病、根结线虫病等，在一些地方均有严重发生<sup>[30-31]</sup>。同时，连作或重茬作物的残留物上所带的病原菌，如病毒病、赤星病、空茎病等对于来年的栽培也产生很重要的影响。此外，土壤也是一些害虫生存的重要空间，一些地下害虫大部分时间生活在土壤环境中，地老虎、金针虫、蝼蛄作为3大类地下害虫对作物的生长也造成很大威胁<sup>[32]</sup>。土壤也是丰富的杂草种子库，杂草的生长离不开土壤，在杂草萌发过程中，土壤的生态条件对其产生着至关重要的作用。

目前由于土壤传播病虫害的发生所导致的作物损失十分严重，据估计，一般可减产20%以上，严重田块甚至绝收<sup>[33]</sup>。由于对土传病害认识不足，农民一般在田间植株表现出严重的枯萎、死苗症状时才想到防治，此时，病原菌、病原线虫等已经侵染到植株组织并致其病变死亡，这时再采取措施，已经无法产生良好的效果。

“肥土养好苗”，肥沃健康的土壤才能长出好的庄稼。植物健康要能够追根溯源，治标治本，就必须要先从土壤入手<sup>[34]</sup>。再好的种子没有好的土壤来种植，品种优势照样表现不出来。土壤本来就是一个复杂的环境，再加上中国土壤问题的复杂性是全世界都没有的，土壤调理绝非简单的工程，不仅要改良土壤酸碱性，更重要的是去提高土壤有机质的含量。土壤有机质含量得以保证，作物的生长环境才会更健康，根系发达，进一步提升对养分的吸收利用

率，从而减少化肥的使用量<sup>[35]</sup>。其实从根源上来说，造成目前土壤板结，次生盐渍化、酸化等问题的原因很大一部分还是来自于“一炮轰”式施肥、随意撒施、过量施肥、以及对化肥的依赖性和忽视有机肥的施用等不当的施肥习惯<sup>[36]</sup>。因此调理土壤刻不容缓，土壤调理好了，有机质含量提高，化肥利用率提升，才能保障土壤的基本健康。

土壤微生物对维持土壤系统稳定性和受损土壤系统的恢复有重要作用，与土壤系统健康紧密相关<sup>[37]</sup>。现代农业种植体系中由于施肥、管理措施不合理，降低了土壤微生物多样性，破坏了土壤微生物群落结构和功能，导致土传病害的暴发<sup>[38-39]</sup>。改进农业土壤管理能提高土壤微生物群落多样性和功能多样性，是控制土传病害发生的一条有效途径<sup>[40-41]</sup>。最近荷兰的一项研究指出，土壤中的微生物其实扮演着类似益生菌或免疫系统的角色，对于防治病虫害有很重要的功效，土壤中已经有了自然微生物所带来的平衡和活性时，合成杀虫剂和除草剂的使用实际上完全没有必要<sup>[23]</sup>。在对某些病原体具有抵抗性的甜菜田土壤进行取样分析时，研究人员观察到，土壤中其实有着各种天然的功能微生物，而这些微生物可以联合抵御病原真菌对寄主植物的侵染<sup>[42]</sup>。然而，在土壤中除了已经证实有助于抑制或消除作物疾病的抗真菌微生物之外，也有许多未曾证实个体状态下具有抵抗作用却在互相合作时才能发挥出保护功效的微生物<sup>[43]</sup>，于是可以推论土壤驱逐病原体并非归功于单一菌种，而更可能是由于一整群有机体的协同作用。

由此可以清晰地看出，在我们只关注植物与病原微生物关系的时候，却忽略了土壤在悄无声息地呵护着植物，土壤通过与植物不断的磨合，形成了一种保护植物的机制，通过土壤免疫功能的提升，可实现对栽培作物的健康维护。这是现代植物医学体系的一个重要方面，将越来越引起植物医学工作者的重视。

### 3 土壤免疫的机制

土壤的抑病作用是由微生物因子引起，同时受土壤营养物质、pH 值、矿物质等非生物因子影响。而且这种抑病性与栽培植物的连作以及植物和病原菌的互作等有密切关系，由此形成土壤对一些病害的免疫特性。微生物引起的抑病性可分为普通型和专化型两种。普通型抑病土的土壤微生物具有与土传病害病原物竞争营养物质、侵染点或定殖于寄主植物的能力，普通抑病性土壤是不能在不同土壤间转移的；专化型抑病土的土壤微生物则通过产生抗生素或其他抑菌物质发挥作用，可转移性是特异抑病性土壤的主要特征，而特异性抑病性也被称为诱导抑病型（induced suppression）<sup>[23]</sup>，通常可通过一定的农艺措施调控形成。普通型和专化型的土壤抑病性都是土壤免疫的表现形式。最近的文章表明，土壤免疫功能的形成主要有以下几个环节：第一，植物通过根系分泌物给土壤传递相应的信号。Chapelle 等<sup>[42]</sup>对甜菜进行立枯丝核菌的接菌与不接菌后土壤微生物测序分析结果表明，侵染后根际土壤中 Oxalobacteraceae（草酸杆菌科）、Sphingobacteriaceae（鞘氨醇杆菌科）、Burkholderiaceae（伯克霍尔德里氏菌科）、Sphingomonadaceae（鞘脂单胞菌科）显著上升。分析这些差异微生物的功能特性主要表现在 HtrA/Secsecretionsystems（移位酶蛋白分泌）、ppGppmetabolism（细菌

警报素)、Oxidativestressresponse (抗氧化)、Oxalatemetabolism (草酸代谢) 等有显著变化。由此表明, 立枯丝核菌在侵染植株时, 植物产生出相应的苯乙酸和草酸, 形成酸化与氧化压力, 激活特有的根际细菌群落, 而这些微生物通过代谢、抗氧化的途径, 形成植物的保护层。

第二, 一些病原微生物诱导植物根际益生菌菌群构建。叶片接种活体营养型病原菌(霜霉菌) *Hyaloperonospora arabidopsidis* (Hpa)、叶片接种死体营养型病原菌 *Botrytis cinerea* (灰霉菌) (Bc)、1 mM 水杨酸处理 (模拟活体营养型病原菌引发的植物免疫)、100  $\mu$ M 茉莉酸甲酯处理 (模拟死体营养型病原菌引发的植物免疫), 发现病原菌 Hpa 侵染叶片后植物根际微生物 3 种细菌类群丰度显著增加, 分别属于 *Xanthomonas* (黄单胞菌)、*Stenotrophomonas* (寡养单胞菌种混合菌能够显著促进植物生长, 诱导植物抗性, 防御病害<sup>[43]</sup>。

第三, 病原菌 (如霜霉菌 Hpa) 初次感染植物引发的根际土壤介导的“残留物”对下代植物的保护效应<sup>[43]</sup>。初次植物感染引发的根际土壤介导的“残留物” (可能是菌群, 也可能是化学物质) 可提高同一土壤环境中后来植物群落对该类病害的抗性。该项研究表明植物在被病原菌感染后可特异性招募与植物抗病性及生长促进相关的益生菌群。

第四, 植物通过自身的系统抗性, 诱导植物诱集并构建适合于自身的微生物群落。Lebeis 等<sup>[45]</sup>系统探究了防御激素在地上和地下塑造植物健康的机制。揭示了拟南芥防御激素水杨酸是如何在帮助植物保护嫩芽和叶子健康的同时, 引导其根内部及周围的微生物群落生长。研究发现水杨酸合成基因缺失后, 根表与根内部出现了微生物失控现象, 微生物的种类大量减少, 也出现了一些新的微生物种类。这一效应在无法生成或响应水杨酸的突变株中最为显著。该研究证实了水杨酸是招募这些微生物的必要条件, 也是维护植物地下部分健康的关键。

第五, 根系分泌物调控土壤微生物的残留效应, 塑造根际微生物种群的形成, 增强土壤的免疫功能。Yuan 等<sup>[46]</sup>研究发现丁香假单胞菌叶部侵染后可以有效地改变土壤微生物结构, 提高下一代植株对病害的抗性, 对其中的机制进行分析发现病原菌侵染导致了根系分泌物长链有机酸、氨基酸的大量增加, 而这些物质驱动拮抗微生物菌群的形成, 提高土壤的免疫活性。此外, 禾本科植物中根系分泌物苯并恶嗪类物质释放后, 能够显著改变下一代土壤中的真菌和细菌群落, 抑制其他植物生长, 增加茉莉酮酸信号和植物防御, 抑制食草动物的表现。该研究证实了植物通过根系分泌物来改变土壤微生物群决定其后代的表现<sup>[47]</sup>。

因此, 土壤免疫的机制可以简单总结为:

①土壤根际中存在大量有益菌, 在响应病原菌侵染过程中能够被大量的筛选出来, 形成以这些微生物为核心的土壤免疫基础。

②土壤具有“记忆力”, 在受到病原菌侵染、病害发生后, 能够构建自身的强大的微生物群落, 形成土壤免疫。

③在土壤免疫中, 很大程度上并不是靠一种特殊微生物, 而是通过多种微生物相互作用才能够发挥作用。

④抗性植物与植物抗性不仅依赖于抗性免疫途径, 很大程度上诱导了特殊的微生物群体

进行抗性提升。

⑤植物根际菌群选择与构建，以及土壤免疫的形成，很大程度上依赖于根系分泌物的驱动与塑造。

#### 4 强化土壤免疫的途径

由有益微生物主导形成的微生态平衡系统被称为生物屏障（Organism Barrier），是阻止生物因子和非生物因子对植物伤害的重要一环<sup>[48]</sup>。而在植物根部微生物研究中发现，具有抑病特征的土壤微生物组也是通过在植物根部形成平衡的微生态系统，达到阻止病原菌入侵的目的，由此形成了土壤免疫的概念。这些科学研究成果对植物医学实践最重要的指导意义在于，要将植物健康维护工作的重点放在土壤健康的维护上，要关注土壤的生命特征和活性特征，养护和优化土壤环境条件，以激活土壤的免疫特性，保障植物的长期健康。

土壤的健康主要是为植物健康和人类的长远健康服务的，从植物健康的角度入手，强化土壤健康、增强土壤免疫功能主要可从以下几个方面入手：

①种植植物要有一定的规律，在一个地区要能够形成持续的种植模式，才能使植物的根系分泌物与土壤微生物形成一个长期的互作关系。经常更换种植结构，反而不利于土壤免疫机制的形成。对一些容易产生自毒作用的栽培植物要及时进行土壤养护和修复于土壤、以免自毒物质过量而对土壤环境产生伤害<sup>[49-50]</sup>。

②坚持植物材料还田，增施有机肥，保障土壤微生物的活力。有机质主要来源于植物和（或）动物，是施于土壤、以提供植物营养为主要功能的含碳物料<sup>[51-52]</sup>。增加和更新土壤有机质，促进微生物繁殖，改善土壤的理化性质和生物活性，是土壤健康的基本指标<sup>[53]</sup>。目前优化土壤的营养环境主要以施用新鲜的植物材料和以植物材料为核心的有机肥为主，包括以下方面：活体植物还田——绿肥；死体植物还田——秸秆、豆饼、植物油、豆浆等；动物加工后的植物材料还田——粪便（牛粪、羊粪、猪粪等）；微生物加工后的植物材料还田——发酵肥、生物菌肥、堆肥等；火烧加工的植物材料还田——火土、草木灰等。

③注意土壤的酸碱度变化，保持土壤正常的 pH 值。土壤的酸碱度变化，导致土壤中的离子变换，影响植物的元素利用和正常生长，导致植物和土壤不能正常地交流，从而影响土壤免疫。酸碱度不稳定也影响到微生物的活动，使微生物的结构和功能向不利于土壤健康的方向发展<sup>[24, 54]</sup>。调节土壤的 pH 值，要注意减少化肥的使用量，增施农家肥，注意采用生石灰进行改良，更要注意采用一些生物材料如牡蛎粉、草木灰等进行调酸、改土<sup>[55-56]</sup>。

④在作物种植过程中添加一些有益菌。人工培育的有益微生物菌群经加工制成的微生物活菌制剂，能够在土壤或基质中繁殖形成有利于植物生长的微生物优势菌群。可采用育苗基质添加有益菌，在有机肥中添加有益菌，在栽培植物的根际直接增施等方法向土壤中添加有益菌，帮助改善土壤的微生态环境，强化土壤的免疫功能。

⑤施用土壤调理剂。使用土壤调理剂，目的是改善土壤存在的耕性差、盐碱、酸化、有

毒物质污染、养分失衡等现象<sup>[57]</sup>。这需要从土壤的实际情况出发,选择适合的产品,针对性使用,才能收到良好效果。土壤调理剂并非所有土地都能随意使用,在购买和使用之前要先分析土壤状况,与有关技术人员进行沟通和交流,并在技术人员指导下使用。

## 5 展望

土壤免疫是一个崭新的概念,是破解植物健康难题,实现绿色发展的重大科学命题,相关研究才刚刚开始。今后要重点关注几个方面:

- ①微生物大数据的基础检测与分析,主要针对大区域环境或某一栽培作物,或某一因子(气候、土壤、生物)条件下的土壤微生物组特征的整体描述。
- ②植物抗性差异,系统抗性免疫介导下的微生物种群差异,以及关键菌群的明确与验证。
- ③响应植物病原菌侵染、植物抗性免疫诱导以及元素丰缺环境下的根系分泌物代谢差异,以及这些差异带来的根际微生物群落与植物系统抗性的变化。
- ④植物自身的防御系统(包括物理的、化学的、生物的)如何和土壤的免疫特性紧密结合。
- ⑤土壤免疫、土壤病害的残留效应的机理。
- ⑥免疫性土壤构建和持久免疫的维护技术与产品的研发等。

## 参考文献

- [1] MARIOTTE P, MEHRABI Z, BEZEMER T M, et al. Plant-Soil Feedback: Bridging Natural and Agricultural Sciences[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2018, 33(2): 129-142.
- [2] VAN DEVOORDE T F J, RUIJTEN M, VAN DER PUTTEN W H, et al. Can the Negative Plant-Soil Feedback of *Jacobaea vulgaris* be Explained by Autotoxicity? [J]. Basic and Applied Ecology, 2012, 13(6): 533-541.
- [3] 李石力. 有机酸类根系分泌物影响烟草青枯病发生的机制研究[D]. 重庆:西南大学, 2017.
- [4] SOLYMOSI K, BERTRAND M. Soil Metals, Chloroplasts, and Secure Crop Production: A Review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2012, 32(1): 245-272.
- [5] TRIBERTI L, NASTRI A, BALDONI G. Long-Term Effects of Crop Rotation, Manure and Mineral Fertilisation on Carbon Sequestration and Soil Fertility[J]. European Journal of Agronomy, 2016, 74: 47-55.
- [6] LIANG W J. The Effect of Long-Term Continuous Cropping of Black Pepper on Soil Bacterial Communities as Determined by 454 Pyrosequencing[J]. PLoS One, 2015, 10(8): e0136946.
- [7] NIU J J, RANG Z W, ZHANG C, et al. The Succession Pattern of Soil Microbial Communities and Its Relationship with Tobacco Bacterial Wilt[J]. BMC Microbiology, 2016, 16: 233.
- [8] ATUCHA A, LITUS G. Effect of Biochar Amendments on Peach Replant Disease[J]. Hort Science, 2015, 50(6): 863-868.
- [9] LI X Y, LEWIS E E, LIU Q Z, et al. Effects of Long-Term Continuous Cropping on Soil Nematode Community and Soil Condition Associated with Replant Problem in Strawberry Habitat[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 30466.
- [10] 李天来, 杨丽娟. 作物连作障碍的克服——难解的问题[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 916-918.
- [11] DORAN J W, ZEISS M R. Soil Health and Sustainability: Managing the Biotic Component of

- Soil Quality[J]. *Applied Soil Ecology*, 2000,15(1):3-11.
- [12] 赵其国, 周生路, 吴绍华, 等. 中国耕地资源变化及其可持续利用与保护对策[J]. *土壤学报*, 2006, 43(4):662-672.
- [13] 张桃林, 李忠佩, 王兴祥. 高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5):843-850.
- [14] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant Acidification in Major Chinese Croplands[J]. *Science*,2010,327(5968):1008-1010.
- [15] SHE S Y, NIU J J, ZHANG C, et al. Significant Relationship between Soil Bacterial Community Structure and Incidence of Bacterial Wilt Disease under Continuous Cropping System[J].*Archives of Microbiology*,2017,199(2):267-275.
- [16] 蔡祖聪, 黄新琦. 土壤学不应忽视对作物土传病原微生物的研究[J]. *土壤学报*, 2016, 53(2):305-310.
- [17] 黄新琦, 蔡祖聪. 土壤微生物与作物土传病害控制[J]. *中国科学院院刊*, 2017, 32(6):593-600.
- [18] WELLER D M, RAAIJMAKERS J M, GARDENER B B M S, et al. Microbial Populations Responsible for Specific Soil Suppressiveness to Plant Pathogens[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2002, 40(1):309-348.
- [19] BAKER K F, COOK R J. *Biological Control of Plant Pathogens*[M]. New York:WH Freeman and Company.1974.
- [20] MENDES R, KRUIJT M, DEBRUIJN I, et al. Deciphering the Rhizosphere Microbiome for Disease-Suppressive Bacteria[J]. *Science*, 2011, 332(6033):1097-1100.
- [21] GARBEVA P, VAN ELSAS J D, VAN VEEN J A. Rhizosphere Microbial Community and Its Response to Plant Species and Soil History[J]. *Plant and Soil*, 2008, 302(1-2):19-32.
- [22] MENDES R, GARBEVA P, RAAIJMAKERS J M. The Rhizosphere Microbiome:Significance of Plant Beneficial,Plant Pathogenic, and Human Pathogenic Microorganisms[J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2013, 37(5):634-663.
- [23] RAAIJMAKERS J M, MAZZOLA M. Soil Immune Responses[J]. *Science*, 2016, 352(6292):1392-1393.
- [24] LI S L, LIU Y Q, WANG J, et al. Soil Acidification Aggravates the Occurrence of Bacterial Wilt in South China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8:703.
- [25] ZAK D R, HOLMES W E, WHITE D C, et al. Plant Diversity, Soil Microbial Communities, and Ecosystem Function: Are there any Links?[J]. *Ecology*, 2003, 84(8):2042-2050.
- [26] PANKHURST C E, MCDONALD H J, HAWKE B G, et al. Effect of Tillage and Stubble Management on Chemical and Microbiological Properties and the Development of Suppression towards Cereal Root Disease in Soils from Two Sites in NSW, Australia[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(6):833-840.
- [27] HOITINK H, BOEHM M. Biocontrol within the Context of Soil Microbial Communities: A Substrate-Dependent Phenomenon[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1999, 37(1):427-446.
- [28] LIU X J, ZHANG S T, JIANG Q P, et al. Using Community Analysis to Explore Bacterial Indicators for Disease Suppression of Tobacco Bacterial Wilt[J].*Scientific Reports*, 2016, 6:36773.
- [29] 李瑞琴, 刘星, 邱慧珍, 等. 连作马铃薯根际干腐病优势病原菌荧光定量 PCR 快速检测及在根际的动态变化[J]. *草业学报*, 2013, 22(6):239-248.

- [30] 李世东, 缪作清, 高卫东. 我国农林园艺作物土传病害发生和防治现状及对策分析[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(4):433-440.
- [31] 任彬元, 杨普云, 赵中华. 我国马铃薯病虫害防治现状与前景展望[J]. 中国植保导刊, 2015, 35(10):27-31.
- [32] 陈建明, 俞晓平, 陈列忠, 等. 我国地下害虫的发生为害和治理策略[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(6):389-394.
- [33] JIANG G F, WEI Z, XU J, et al. Bacterial Wilt in China: History, Current Status, and Future Perspectives[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8:1549.
- [34] 赵其国. 提升对土壤认识, 创新现代土壤学[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):771-777.
- [35] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J]. 生态学报, 2003, 23(4):787-796.
- [36] 李东坡, 武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5):1158-1165.
- [37] CHAPARRO J M, SHEFLIN A M, MANTER D K, et al. Manipulating the Soil Microbiome to Increase Soil Health and Plant Fertility[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48(5):489-499.
- [38] 郝晓晖, 胡荣桂, 吴金水, 等. 长期施肥对稻田土壤有机氮、微生物生物量及功能多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(6):1477-1484.
- [39] 段云辉, 李勇, 孙国俊, 等. 长期不同施肥方式对稻麦轮作田小麦赤霉病发生危害的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2017(3):28-31.
- [40] 郭瑞英, 陈清, 李晓林. 土壤微生物——抑病性与土壤健康[J]. 中国蔬菜, 2005(S1):78-82.
- [41] FU L, PENTON C R, RUAN Y Z, et al. Inducing the Rhizosphere Microbiome by Biofertilizer Application to Suppress Banana Fusarium Wilt Disease[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2017, 104:39-48.
- [42] CHAPPELLE E, MENDES R, BAKKER P A H, et al. Fungal Invasion of the Rhizosphere Microbiome[J]. *The ISME Journal*, 2016, 10(1):265-268.
- [43] BERENDSEN R L, VISMANS G, YU K, et al. Disease-Induced Assemblage of a Plant-Beneficial Bacterial Consortium[J]. *The ISME Journal*, 2018, 12(6):1496-1507.
- [44] HOPPER H, ALABOUVETTE C. Importance of Physical and Chemical Soil Properties in the Suppressiveness of Soils to Plant Diseases[J]. *European Journal of Soil Biology (France)*, 1996, 32(1):41-58.
- [45] LEBEIS S L, PAREDES S H, LUNDBERG D S, et al. Salicylic Acid Modulates Colonization of the Root Microbiome by Specific Bacterial Taxa[J]. *Science*, 2015, 349(6250):860-864.
- [46] YUAN J, ZHAO J, WEN T, et al. Root Exudates Drive the Soil-Borne Legacy of Above ground Pathogen Infection[J]. *Microbiome*, 2018, 6:156.
- [47] HU L F, ROBERT C A M, CADOT S, et al. Root Exudate Metabolites Drive Plant-Soil Feedbacks on Growth and Defense by Shaping the Rhizosphere Microbiota[J]. *Nature Communications*, 2018, 9:2738.
- [48] 丁伟, 刘晓姣. 植物医学的新概念——生物屏障[J]. 植物医生, 2019, 32(1):1-6.
- [49] 李培栋, 王兴祥, 李奕林, 等. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用[J]. 生态学报, 2010, 30(8):2128-2134.
- [50] 汪瑞清, 肖运萍, 魏林根, 等. 油料作物连作障碍形成机理与生态修复措施研究进展[J].

- 农学学报, 2015, 5(6):29-33.
- [51] 邵满娇, 窦森, 谢祖彬, 等. 碳量玉米秸秆及其腐解、炭化材料还田对黑土腐殖质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(10):2202-2209.
- [52] 徐蒋来, 胡乃娟, 张政文, 等. 连续秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1):71-75.
- [53] BÜNEMANN E K, BONGIORNO G, BAI Z G, et al. Soil Quality-A Critical Review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2018, 120:105-125.
- [54] ROUSK J, BROOKES P C, BÅÅTH E. Investigating the Mechanisms for the Opposing pH Relationships of Fungal and Bacterial Growth in Soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(6):926-934.
- [55] SHEN G H, ZHANG S T, LIU X J, et al. Soil Acidification Amendments Change the Rhizosphere Bacterial Community of Tobacco in a Bacterial Wilt Affected Field[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 102(22):9781-9791.
- [56] 沈桂花, 刘晓姣, 张淑婷, 等. 牡蛎壳粉对烟草根际土壤微生物代谢多样性及青枯病发生的影响[J]. 烟草科技, 2017, 50(12):22-28.
- [57] 靳辉勇, 黎娟, 朱益, 等. 土壤调理剂对烤烟根系活力及根际土壤微生物碳代谢特征的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(1):158-165.

(引自植物医生《植物医学新概念——土壤免疫》)