

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.01.001

论植物健康

丁伟, 江其朋

西南大学 植物保护学院, 重庆 400715

摘要: 植物健康是植物表型完美和实现产质量目标的关键, 对人类健康、生态环境安全和社会稳定发展具有十分重要的意义。但时至今日, 人类对植物健康的关注度和重视度并不高, 对植物健康的相关概念还不甚明晰, 更没有建立起植物健康及其管理的技术与服务体系框架。本文在论述了植物生存状态的基础上, 提出了植物健康的概念、植物个体健康和群体健康的判断标准, 分析了植物健康的机制, 讨论了保障植物健康途径等问题, 意在抛砖引玉, 启发人们对植物健康的深度思考, 更好地推进植物医学事业的发展。

关键词: 植物健康; 生存状态;
健康标准; 植物医学

中图分类号: S435.72

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)01-0001-11

Discuss on Plant Health

DING Wei, JIANG Qipeng

College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Plant health is the key to the perfection of plant phenotype and the realization of yield and quality objectives, and is of great significance to human health, ecological environment security and social stability and development. However, up to now, human beings have not paid much attention to plant health, the related concepts of plant health are not clear, and the technical and service system framework of plant health and its management has not been established. On the basis of discussing the living state of plants, this paper puts forward the concept of plant health, the criteria for judging the individual and group health of plants, and analyzes the mechanism of plant health, discusses the ways to ensure plant health, and other issues, with the intention to throw out a brick in order to get a jade, inspiring people to think deeply about plant health, and better promoting the development of phytomedicine.

Key words: plant health; survival status; health standards; phytomedicine

收稿日期: 2022-12-12

作者简介: 丁伟, 教授, 主要从事天然产物农药、植物健康调控研究。

“植物是地球生命的核心基础,是人类营养的最重要单一支柱,但植物健康并非是理所当然的事情,植物的正常生长和健康状态的保持是十分重要的,其意义不仅在于植物是人类不可或缺的食物、氧气、药品乃至生存必需品的提供者,而在于人类需要强化对植物生命的认知和敬畏”,联合国粮农组织总干事屈冬玉在2020国际植物健康年启动仪式上致辞时这样表示^[1].联合国粮农组织在2019年12月将2020年定为“国际植物健康年”,旨在提高全球对植物健康的保护意识,通过保护植物健康来帮助消除饥饿、减少贫困、保护环境和促进经济发展^[2].国际植物健康年的主要目标是:让各方更好地认识到健康植物对于实现《2030年可持续发展议程》的重要性,强调植物健康对于粮食安全和生态系统功能的影响,并分享有关如何在保护环境的同时确保植物健康的最佳实践.植物健康年还有一个重要的宗旨是不仅要生产出各种满足人们需要的植物产品,还要生产出能保障人们健康的植物产品.提高植物产品的营养品质,通过调整膳食结构预防慢性疾病的发生,或者运用营养干预的方法为患病人群提供特定来源的食物,已经成为人类健康管理的发展趋势^[3].在人们正在为应对植物病虫害问题而不遗余力时,讨论植物的健康问题似乎有些牵强附会,但随着国际植物健康活动的开展,特别是植物医学事业的发展,植物的健康问题已经成为不可避免的重要问题.人类活动加剧,气候变化加快,化学投入品增多,生物多样性降低,植物的正常生命规律在变化,植物的抗性能力在下降,植物遭受各种灾害的频率在加快,在这种形势下,加之科技、社会、经济的快速发展,人们更加需要深刻理解维护植物健康的意义,植物健康管理已经成为人们无法回避的社会责任.但是,在植物健康概念还不清晰、植物健康管理还没有引起足够重视、植物健康问题越来越突出的背景下,植物的健康问题就必须认真对待,并仔细讨论.本文就植物健康的概念、标准、影响健康的因素、如何保障植物健康等进行论述,意在抛砖引玉,更好地启发人们对植物健康的思考,更好地推进植物医学事业的发展.

1 植物的生存状态

1.1 植物生存的几种状态

对于植物个体来说,从种子萌发或者一个新的生命个体出现开始,植物就展示出了复杂的生命特征.在生长过程中,植物一般会处于3种状况,一是健康态,二是亚健康态,三是病态,极端的状况是死亡态^[4].植物的这些状态决定植物的表型、价值和生命力.对于植物的个体来说,健康是相对的,绝对的健康态很难出现,一般是处于与环境条件、胁迫因子或者致病因子适应与搏斗的过程中,在体现出生命的价值和自身的抗御特性的状态中生存.人们需要分析植物的生存状态,创造有利于植物健康的条件,来呵护植物健康.对于植物的健康状态目前还没有很好的研究,这里根据人类健康的一些描述,尝试对植物生存状态进行细分.

1)健康态.健康态是指机体没有任何病理信息,没有任何疾病的状态,植物的基因潜力能得到充分表达,各项生理生化指标正常,繁殖力处于最佳状态,也是农作物产质量最为理想的状态.

2)胁迫态.由于植物不能移动,其健康威胁大多来自环境胁迫,不利于植物健康生长的环境,使植物处于受伤害的边沿.长期的或者严重的胁迫,无论是生物因子或者是非生物因子都将导致植物生病.对于病原菌来说,一般处于侵入前期,植物抗性受到挑战,病原菌处于有利于侵入的状态,这时植物不一定会出现病态或者表现出病症,但植物体内的一系列生理生化指标开始变化,植物一方面会调动各种机制来适应这种胁迫,从而变的更为强大,另一方面,一

些组织和器官会在胁迫下变得脆弱,出现一系列生理生化指标的异常.传统的植保几乎没有关注这一点.但随着现代科学技术的发展,检测水平的提高,人们能有效捕捉到植物体内微弱的信息变化,如活性氧的变化,一些酶类指标的异常,这些特殊的指标会指示可能发生的病变,这对于植物健康的判断十分关键.

3)前病态.这个时期植物的防御体系处于脆弱的状态,病原菌已经突破了寄主植物的防线,处于侵入期,植株受到病原菌侵染或者受到各种胁迫后,机体中病理信息已有所表露,但一般检测技术和方法尚不能明确诊断出病害的典型类型.前病态即为疾病前期,田间刚刚呈现少数先兆或先露的症状、体征,呈先兆的小疾、小恙状态,正同于人类的许多常见的亚健康疾病^[3],它们基本上还不妨碍植物的正常生长和产出,如糖、脂肪、蛋白、钙代谢障碍处于代偿调节期,或疾病发作的休止和静息期等,但它们很可能发展成具有明显症状的疾病(已病),若此时对“未病”施治能收效显著.

4)转变态.这个时期,植物已经被病原菌侵染,但并没有表现出明显的症状,病菌和寄主进行协同进化和适应,一般表现为病原菌的潜育期,处于中医学“未病”的经典含义之一,传、转变态,这是亚健康状态中比较危险的一种状态^[3].如带菌、带毒状态,基因突变状态,基础病并发新病或发展到更深层次的疾病,及或者已经出现了轻微的病症,如一些叶片的不正常,一些根系发育出了问题,虽然不能认为是已经发病,但发病已是必然趋势.

5)病态.这时可以很清晰地看到植物已经生病,无论是生理生化指标还是组织器官的都有明显的表现出已经发病.其主要症状是组织器官坏死、腐烂、萎蔫、畸形、肿瘤,并伴有菌丝或者菌浓.一些病毒侵染或者元素缺失导致的病态会出现花叶、黄化、矮缩、皱缩和丛枝等,少数则为坏死斑点等症状.一般情况是,植物受到非生物因子影响后,没有得到有效缓解,而植物自身不能克服不利的环境条件的影响,从而导致植物处于各种不利的生病状态中,这种状况又常常会伴随着病原菌的侵染、病害的显症以及病原的扩散.

6)死亡态.是植物生命结束的状态,这种状态是不可逆的,它不会因为条件的改变或者病原物被杀死而出现起死回生的情况(区别于正常的植物生命周期必然出现的死亡情况).一旦植物出现了死亡状态,植物健康维护的使命也就结束了.我们看到田间植物的死亡,虽然从健康维护的角度看没有什么意义,但这会警示我们,必须在植物处于病态之前就要采取措施,避免植物出现死亡情况.

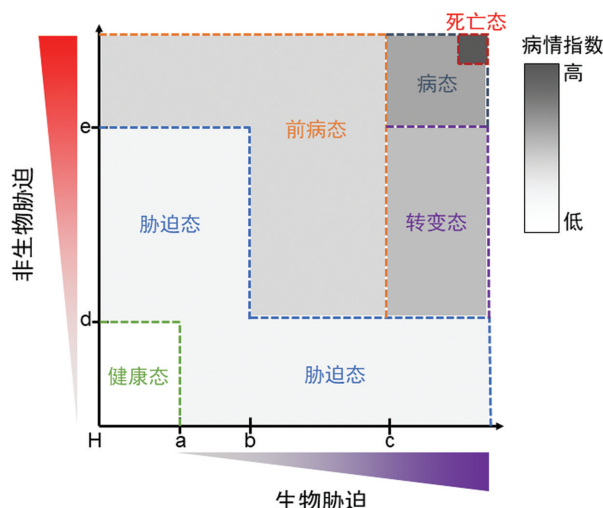
1.2 植物生存状态的关系

植物在生物和非生物因子胁迫存在且逐渐加重的情况下,各项健康指标会逐步恶化,丧失自身对胁迫的抵抗能力,表现出病情指数逐渐增加或者健康程度逐渐降低,最终导致植物死亡.这一过程其实就是植物由健康态向死亡态转变的过程(图 1).理论上,在健康态向死亡态转变的过程中,健康态、胁迫态、前病态、转变态、病态、死亡态这 6 个状态是逐渐出现的,而且有以下几个特点:

第一,生物因子和非生物因子胁迫之间紧密联系,互相作用,共同决定了植物的生存状态;

第二,一旦胁迫因子停止或者减轻,转变过程可能会随之停止或者反向转变,但是根据植物所处生长时期、受伤程度以及自身自愈能力的差异,反向转变的程度也会有所不同;

第三,特殊情况下,植物健康状态的转变过程并非逐步进行,也可能跳过前病态或者转变态,如直接从胁迫态进入转变态(生物胁迫强),或者由前病态直接进入病态(非生物胁迫强).



H: 植物健康的理想状态; a: 病原介入点, 病原进入植物生境; b: 缓冲临界点, 病原突破植物生物屏障, 开始侵染; c: 失衡点, 植物生境微生态失衡, 抗病性丧失, 病原大量增殖造成病害暴发; d: 侵染临界点, 非生物条件到达病原侵染下限, 病原开始侵染; e: 病害暴发临界点, 非生物条件到达病害暴发阈值, 植物开始显症发病. 病情指数由高到底依次为: 病态、转变态、前病态、胁迫态、健康态.

图1 植物生存状态的相互关系

2 植物健康的概念

2.1 健康(Health)的含义

关于健康的概念, 不同的时代、不同的人、不同的场所以及不同的对象有不同的含义. 传统意义上的健康主要是指人的身体各个器官正常运行并且没有损伤, 简言之就是没有疾病的困扰. 据《辞海》的解释, 健康是指人体各器官系统发育良好, 功能正常, 体质健壮, 精力充沛, 并具有良好的劳动效能状态^[5]. 1948年, 世界卫生组织(WHO)给健康下的定义是: 身体上、心理上(含道德)以及社会适应(含环境适应)和改造方面均处于完满的状态, 而限于无病或无虚弱. 所谓完满状态是很不容易达到的, 而且在不同条件下可能有不同的标准, 从基本要求来看, 机体应当发育匀称, 功能健全. 当然任何意义的健康都必须意味着长寿, 而短命的健康不会引人憧憬. 因此, 健康是社会发展的重要标志和潜在动力, 也是物质文明建设的保证, 是人类最重要的素质和最为关注的问题. 但实际上, 健康的概念是相对的, 任何人对健康都会有自己的见解, 因为, 不同的地区、国家、人群、年龄状态、经济状况等, 其对健康的理解和要求都有一定的差异^[6]. 从这个层面上讲, 植物健康的概念将更为复杂.

2.2 植物健康(Plant health)的概念

植物健康是植物医学的核心和基石, 只有充分理解了植物健康的概念、含义及其在植物医学中的地位, 才能更深刻领会植物医学的其他相关术语及其理论框架. 尽管前人已尝试对植物健康的概念进行界定^[7-8], 但是受限于各种原因, 目前仍然没有公认的、恰当合理的定义. 2022年, 笔者也首次尝试对植物健康的概念进行定义: “植物健康乃是一种能充分发挥植物的基因潜力, 全面展示植物特性, 以及良好的适应力的状态”^[4]. 但这个概念仍比较模糊, 这里将植物健康的概念完善为: 植物健康是指植物的一种理想的生存状态, 表现为能正常表达基因功能, 正常展示植物特性, 正常完成生命过程, 正常抵御各种灾害, 感官质量、内在品质和生物产量协调发展. 由于植物体是一个开放系统, 决定植物健康的因素包括遗传潜力和外界环境, 这两类因素控制着植物的内部代谢过程和生存状态, 这些决定着植物的生长发育、适应力和抵抗力, 从而

使植物表现出健康的一面. 植物健康的概念强调了植物的生命力、生态属性、社会属性等, 尤其是植物健康对生态环境安全、食物安全、人类健康的影响, 是全球大健康(one health)的一个重要内容.

一直以来, 人类对健康的研究从未间断, 这些研究涉及医学、人口学、生物学等多个领域, 取得了丰硕的研究成果, 单由于健康问题是一个综合性的难题, 人类对自身健康的认知仍然只有模糊的轮廓, 对于植物健康的研究则更是很少深入, 基本停留在有害生物与植物互作机理的基础研究以及对有害生物造成严重伤害的防控实践层面, 虽然植物抗性的生理和分子机制研究领域十分活跃, 但上升到系统论方面来考虑植物健康还是一个相对空白的领域.

2.3 植物的群体健康

植物健康的概念包含着个体健康和群体健康两个方面, 我们更加关注的是植物的群体健康, 就像人们说的大健康, 即人人健康, 全社会人群健康. 从医学的角度讲, 人类健康维护的对象是一个个鲜活的生命个体, 除非遇到重大的流行性疫病, 一般不会考虑群体的健康状况, 而植物健康维护的对象, 一般都是植物的群体, 除非这种植物十分稀少、珍贵而又分散孤立地存在. 事实上, 按照植物健康的一般定义, 单株植物健康并不意味着群体健康, 反之, 植物群体健康也并不完全代表单株健康, 这可以从植物的产品特性(总生产力、产品的产量和质量等)、生态特性(密度因子影响下的环境适应能力和抗逆能力)和社会特性(对生态环境、食物安全、人类健康等的作用和影响)等方面明显地看出植物单株健康和群体健康的差异.

植物的群体健康涉及多种因子, 只有这些因子适宜时, 植物通过个体的代谢活动和生长发育, 完成其生活周期, 体现出群体健康和植物潜能. 在自然界的任何一个地区, 植物需要的合适的环境因子很少能够完全具备, 且达到最适水平. 固定生活的植物, 一定会处在各种胁迫之中, 包括生物胁迫和非生物胁迫, 群体健康的关键是要克服各种胁迫, 使植物的各种生存能力充分展示出来, 最后表达出理想的产量和质量, 获得预期的经济效益. 就农作物而言, 关注群体健康必须将品种、栽培技术、资源环境条件和化学投入品整合考量, 组合运行, 才能达到理想的效果. 可惜, 人们常常没有深刻理解植物群体健康带来的价值, 只看到了病虫等生物因子胁迫带来的损失. 从表 1 可以看出, 植物群体的不健康或者受到各种胁迫后表现出的产量损失是十分惊人的, 最少也要达到 60%, 小麦的产量损失可达 87%. 要挽回这些损失, 不考虑群体基础的健康维护是不可能实现的. 同时, 从表 1 也可以看出, 植物的非生物损失要远大于生物损失, 如小麦因为病虫等生物灾害造成的损失为 5.01%, 而非生物因子造成的损失为 82.07%, 这说明群体健康管理的要点在于对非生物因子的控制上.

表 1 主要作物的产量潜力和健康价值

作物	最高产量/ (kg · hm ⁻²)	平均产量/ (kg · hm ⁻²)	平均损失/(kg · hm ⁻²)		平均损失占最高 产量的百分比/%
			生物性	非生物性	
玉米	19 300	4 600	1 952	12 700	76.17
小麦	14 500	1 880	726	11 900	87.08
大豆	7 390	1 610	666	5 120	78.21
马铃薯	94 100	28 300	17 775	50 900	69.93
甜菜	121 000	42 600	17 100	61 300	64.79
高粱	20 100	2 830	1 051	16 200	85.92

注: ①资料引自 Buchanan 等, 2004 年; ②生物因子包括病原菌、昆虫和杂草, 非生物因子包括但不限于干旱、高盐、涝害、低温、高温等.

3 植物健康的标准

3.1 植物健康评估

健康评估是从植物健康管理角度,系统收集和分析保护对象的健康资料,以明确其健康状况、诊断其所存在的健康问题并分析其可能的原因,以此明确保护对象的健康管理需求,进而做出健康管理方案的过程^[9].健康评估的关键在于如何运用科学的诊断思维去识别健康问题和对这一普遍的生命过程进行反应,它不仅要描述植物疾病的发生状况、为害程度、发生机制和影响因素等,而且也包括分析病害状况的基本方法和技能,以及如何运用科学的诊断思维去识别健康问题和植物生命过程对环境的反应.

健康评估是适应植物保护模式向“植物—生理—环境”模式转变的一个新课程,它既是植物医学的基础课程,又是植物健康管理和植物保护学之间的桥梁.通过对植物健康评估对象及环境要素的深刻理解,植物健康管理人員要树立“以植物为中心”的管理理念,深刻了解评估对象,掌握识别疾病的基本原理和方法,学会正确收集健康资料并进行分析综合,概括诊断依据,提出诊断建议,为有效保障植物健康奠定扎实的基础.

3.2 植物健康的基本指标

植物健康是植物生长、发育和繁殖所依赖的基本要求.通常情况下,植物健康分为个体健康和群体健康两个层面,其评价的指标体系见表2和表3.表中所列出的健康指标只是定性地提出了相关的评估项目,关于各项指标对植物健康的定量影响以及权重还需要进行深度的解析.

3.2.1 植物个体健康的指标

主要有以下几个方面,一是生育期恰当,包括生长、成熟和衰老等关键时间节点的合理性;二是良好的发育,包括根、茎、叶、花、果的发育和结构合理;三是有良好的抵抗力和自愈力;四是产品的数量、感官质量、内在品质和经济效益的共同发展^[4].

3.2.2 植物的群体健康的指标

主要有以下几个方面,一是群体整齐度,在一定空间内,特别是一个地块,要表现出生长整齐、发育整齐;二是抗性表现良好,发病率低,病情指数低;三是产量和质量协调发展,产量要合适,质量要上乘;四生态适应性良好,能够充分彰显出品种的基因潜力.植物的群体健康是我们最为关注的,因为对于栽培植物来说,大田经济作物和粮食作物都需要关注其群体.人类的生存和发展都高度依赖植物及其相关制品,但人们对于植物的敬畏之心还未彻底觉醒,对植物健康的关注度和理解程度,特别是对植物群体健康的意义的理解还很匮乏,对传统病害三角“病原—环境—植物”的认识还需要提升到“病原群体—环境—植物群体”的层次,只有真正理解植物健康的内核和现实意义,人类才能在适应自然、改造自然和提升自身生活品质的实践中获得更满意的成果.

3.3 植物健康的关联指标

要想全面理解植物健康,特别是从基础健康维护入手,还需要了解和掌握评估植物健康对象相关的其他一些指标,主要包括以下几个方面:政府及社会对植物健康管理的基础投入,每平方千米植物医院的数量和质量,植物产量损失率,植物经济效益损失率,生态损失率,农药投入状况(数量与质量),植保器械投入状况,每平方千米植物医生数量,土壤健康维护的意识和行动,植物营养投入的科学水平和投入质量等.

表 2 植物个体健康的指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
性状表现	根	定根力①、根质量、根长、须根数量、根颜色、病害程度
	茎	茎围、茎颜色、光滑度
	叶	叶长、叶宽、叶面积；抗撕力②、对称性、叶色、病斑等
	花	开花数量、花期长短、鲜艳度、均匀度
	种子、果实	果实(种子)数量、均匀度、单粒质量、色泽
物种特征	生育期	全生育期、苗期、营养生长期、生殖生长期
	形状	根部结构、叶部结构、茎部结构、对称性、匀称度
	适应力	分布、个体竞争力
基础生理	光合作用	叶绿素含量、光合速率、光合产物
	呼吸作用	无氧呼吸、有氧呼吸、CO ₂ 释放量、呼吸速率、ATP 生成量
	蒸腾作用	水势、蒸腾速率、蒸腾量
抗性状况	发病症状	病斑大小、病斑颜色、病症
	受害症状	虫口数量、虫口密度、损伤程度
	竞争力	一定范围杂草发生量、一定范围内杂草种类
	损失状况	重量损失、产量损失、质量损失
产量指标	总体生物量	总体干质量、总体质量
	经济生物量	具有经济价值的总质量，具有经济价值的干质量
质量指标	化学成分	主要生命物质、主要次生代谢物等
	营养成分	蛋白质、脂肪、糖类(根据需要选择)
	风味指标	生物碱、辣味物质、苦味物质、香味物质、甜味物质等
繁殖力	繁殖方式	有性生殖、无性生殖
	繁殖能力	种子量、种子萌发率、休眠状况、土壤种子库
后代遗传性状	遗传力	广义遗传力、狭义遗传力
	遗传变异系数	变异率、变异程度

注：①定根力(Rooting force)是植物根系发育能力、发育程度以及和与土壤结合对植物的支撑能力；②抗撕力(Tear resistance)指叶片的结构紧密、抗击人为及物理撕扯的能力。

表 3 植物群体健康指标体系

一级指标	二级指标	三级指标
性状表现	整齐度	苗期整齐度、生长期整齐度、成熟期整齐度
	纯度	个体间差异度、同类器官差异度
基础生理	光合产量	单位面积的光合产物量
	水分代谢	单位面积需水量；单位面积蒸腾量
抗性状况	发病率	侵染性病害发病率；非侵染性病害发病率
	病情指数	侵染性病害病情指数；虫害指数；非侵染性病害的病情指数
	损失率	单位面积总体损失率；种子损失率；产量损失率等
产量指标	总体生物量	单位面积总生物量；单位面积干物质量；单位面积总产量等
	经济生物量	单位面积总经济效益；单位面积收获物经济效益
质量指标	营养成分	单位面积食物蛋白质，脂类，碳水化合物，维生素，矿物质等总量。
	风味指标	气味特征 7 种①；滋味特征 6 种②；
	感官指标	光泽度、协调度、杂色、杂气、刺激性、余味、风味指标
生态环境	大生态	适生经纬度、光照、积温、无霜期、降雨量、土壤质地、海拔高度
	微生态	根际微生物组特征、叶际微生物组特征、种子微生物组特征
营养状况	施肥种类	化学肥料、有机肥料、生物菌剂等
	营养结构	大量元素、中量元素、微量元素需求特点
连作能力	健康连作年限	可忍受的最大连作年限
	连作损失率	正常条件下每连作增加一年，产量损失率，经济效益损失率等

注：①天然物质的气味有 7 种类型，分别是蔬菜的清香味、水果香、鱼味；乳剂乳制品香味、肉香味，加工香味(焙炒)和发酵产生的香味等。②天然物质的滋味有 6 种，分别是甜味、酸味、咸味、苦味、鲜味和辣味。

以上指标,随着对植物健康理解程度的加深以及植物健康管理实践的深入,对植物健康管理的关联指标的细化将会更加深入。

4 植物健康的机制

4.1 植物组学是决定健康的基础

植物的健康是植物强大的生命体系决定的。近年来,高通量技术极大地推动了植物领域的研究进程,基因组、转录组、蛋白组和代谢组等多个层面的海量研究数据以及这些数据分析展现出来的科学规律,为我们更为全面、系统地解析了植物体复杂的生理变化与调控过程,为理解植物的生命特征和健康基础提供了重要的窗口^[10-11]。植物基因组学解析出植物的各种奇特的生物功能;转录组学为我们解析功能基因提供了基础保障;蛋白组学和代谢组学,从物质层面上为我们进一步理解植物的抗性、适应性乃至与人类和其他生物的相互关系上的表现和功能提供了可能。健康的植物必定在其基因组、转录组、蛋白组和代谢组中都保有其独特的健康特征,这也是我们通过现代技术手段探究和破解植物健康奥秘的重要钥匙。

4.2 植物健康来自于植物高度进化的感官和响应系统

已有的研究表明,植物在地球上生存和进化的时间超过30亿年,而人类则只有短短的400万年,因此,植物并非早先人类所想的那样不能“说话”、无法“倾听”和“行动”^[12]。相反,从某种层面上来讲,植物有着效能远高于我们人类的感官和响应系统,包括刺激响应,信号产生、传导和接收,以及响应回馈。其中,刺激响应包括应对病原菌侵染产生的系统获得抗性(systemic acquired resistance, SAR)、应对非生物胁迫产生的系统获得适应性(systemic acquired acclimation, SAA)以及应对创伤和植食性动物啃咬的系统创伤响应性(systemic wound response, SWR),这些响应属于植物应对各种伤害的防御性基础反应^[13]。植物不同层次间的交流则通过植物系统信号(plant systemic signaling)实现,借助特异性分子、通用信号网络和信号元件传导信号,实现相互沟通^[14]。而植物感官和响应系统的终端则是其强大的免疫系统,其作为植物对外界刺激的有效反馈,对于植物健康的维护有至关重要的作用,目前,已知的免疫系统是由抗病小体(resistosome)所驱动的,它在植物免疫过程中扮演重要角色^[15-18]。

植物的感官和响应系统使得植物及植物群体在面对外界刺激时可以实现细胞—细胞、组织—组织、器官—器官、植株—植株之间的信号传递、信息共享和协同响应和“行动”,达到趋利避害,将不良环境和病原胁迫造成的伤害尽早地降低到尽可能低的水平^[12],同时,这种特性具有一定的记忆性,可以重复应对相同或相似的外界刺激,且这种特性还能在母代和子代之间垂直传递,实现种群优势特征的延续和种群的持续进化,以获得更充分的特征基因彰显和更好的环境适应性^[19-22]。因此,植物健康管理需要植物医生重视与植物的沟通和交流,根据植物状态和胁迫的不同进行适时干预,以保证植物健康或者避免健康状况的恶化(由健康态向病态转变,最终死亡),对健康态植物的预报性信号干扰,对胁迫态、前病态和病态植物的有益信号强化,都能帮助植物降低不良因素造成的伤害和损失。

4.3 植物的健康依靠强大的防御屏障

植物的各种防御系统构成植物高效且强大防御屏障,2018年,笔者在重庆召开的第二届植物青枯病大会上首次阐述了植物健康防御的3个屏障,2019年又在《植物医生》发表题为《植物医学新概念——生物屏障》的文章对植物健康的3个屏障,特别是生物屏障进行了详细阐述^[4]。在此,根据植物防御屏障的构成和功能特点,笔者进一步将植物的防御系统概述成4个方面,

即 4 个屏障,以更好地剖析植物健康的保障机制,为植物健康管理提供理论支撑。

一是物理防御与物理屏障.植物在长期的进化过程中形成了自身一套完善的物理防御体系,能通过物理性的阻隔有效抵御病原的侵染、移动以及对植物细胞、组织或器官的破坏,其中,植物的角质层、细胞壁、胼胝体(callose)以及植物生存环境周围的物理阻隔等都是物理防御重要的组成部分^[23],这些物理防御共同组成了植物健康的物理屏障,是植物最基础的防御屏障.植物健康的物理屏障很大程度上决定于植物的基因组,也会受到植物生境的调控,因此物理屏障一般来说是不易改变且比较牢固的,但是一旦物理屏障有一点被病原突破,就会造成类似“千里之堤溃于蚁穴”一样的不可挽回的后果,所以,对于特定植物品种,在抵御病虫害时,从维护植物物理屏障出发,应当在田间管理过程中尽量减少植物的物理伤害或者适当加强植物生存环境周围的物理阻隔,如提高农田系统的生物多样性、设置防虫网等,以保障植物物理屏障的城门不失。

二是化学防御与化学屏障.植物是自然界中把水、CO₂ 和阳光改造为一系列珍贵物质的专家.植物费尽心思去设计如此之多的复杂分子,其主要原因就是维护自身的健康,实现有效的防御.植物产生的大量次生代谢物质初步估计有 40 万种之多,包括活性化合物(如香豆素类、多酚类、黄酮类、柠檬素类化合物、乙烯、茉莉酮酸甲酯等),活性蛋白(PR 蛋白、抗菌性蛋白),生物酶及其抑制剂(葡聚糖酶、几丁质酶、蛋白酶)和活性氧等^[24],这些次生代谢物质共同构成了植物健康的化学屏障,承担着植物体内以及植株间的信号传递、外源物质清除、不良胁迫缓解等功能.植物化学屏障具有高效、精准的特点,能实现收放自如,是植物进化过程中形成的一种比较高级的防御屏障.植物健康的化学屏障是一个宝贵的化学资源存储库,人类在进行植物健康管理时可以通过对相关活性物质的分离纯化、功能研究、验证和结构改良,以及产品物化,获得具有针对性强、活性高、环境友好的天然产物农药。

三是生物防御与生物屏障.植物利用其附生或内生微生物构建起来的抗御各种植物灾害的防御机制叫生物防御,由此而形成的植物健康保障体系叫生物屏障.生物屏障是植物与微生物以及生境协同进化产生的高级防御屏障,不仅对于抵御灾害有重要作用,并且对于植物自身的正常生长也是不可或缺的^[4].植物健康的生物屏障因其结构复杂、成分间关系紧密、机制复杂以及影响因子众多,其防御强度往往较高,且一般具有较高的缓冲性和稳定性.近年来,关于植物健康的生物屏障的研究逐步成为热点^[25],生物屏障也被认为是生物防治的延伸.需要特别注意的是,生物屏障作为一个系统的、平衡的健康防御体系,其正常功能的发挥往往需要多种组分协同和分工.因此,在利用生物屏障进行植物健康管理时不能只关注一个组分,也不能单纯地依赖“1+1+1”的模式,要充分考量植物健康的需求以及生物屏障各组分及其与植物之间的平衡^[26-27]。

四是生态系统与生态屏障.有别于简单的化学屏障、物理屏障和生物屏障,生态屏障则是植物适应环境的防御各种灾害的重要机制之一.这个机制表现在不断地和环境进行交换和沟通,具有动态适应功能.植物通过根系分泌物构建一个自己的微生态体系,以保障根可以延伸到能更好地获取水分和营养的地方,树冠和根冠相互协调,创造出属于自己的生态位和生态空间.这种机制动物不能形成,而植物却实现了.目前,关于植物与生境互作关系以及植物借助生态屏障抵御各种灾害的机制研究还十分有限。

5 植物健康需要关注的几个问题

植物体是一个开放系统,不断地与外界环境进行着物质、能量和信息的交流,一个健康的

植物体,其功能必然会全面的体现出来.如果从植物健康的角度出发来理解植物的价值,就必须关注植物健康的基本条件.由于植物活动范围的限制,植物自身能力有限,植物健康的管理就需要密切关注植物的生存环境.对于环境因子的优化和改造,对于土壤、营养、水分条件和栽培技术的实施,都需要从健康维护的角度进行协调,而不仅仅是满足其最低需求.植物健康管理内容庞杂,我们必须充分认识和高度重视,在植物医学的框架下,认真回答以下几个问题:

一是保障植物健康的思路在哪里?很显然,植物健康是一个涉及多个学科领域的十分复杂的问题,仅仅从零碎的研究成果、单一的研究领域出发显然是不行的,保障植物健康必须整合知识,从系统的观点出发,深刻理解植物健康的本质,才能形成理想的行动方案.

二是植物健康与植物保护之间的关系问题.毋庸置疑,植物健康不是简单的病虫害防治,而是一个系统全面的大工程.植物健康管理必须要走出以病虫为核心的植物保护模式,必须从重视植物健康生长的基础条件出发,从植物生理、病理和环境生态多角度考虑植物健康,才能全面理解植物健康的本质,实现植物的大健康.

三是植物健康呵护由谁来实施?这又回到植物医学的价值观上了,植物保护仅仅关注 and 解决病虫害的控制问题,只有建立强大的植物医学体系,让全社会都能意识到实现真正的植物基础健康和大健康的重要性,植物医学和植物健康事业才能行稳致远.建立、健全植物医院、植物医生和植物医学三位一体的植物健康管理系统对于提升社会对植物健康的关注度、明确植物健康管理的职责、认准健康管理的现实抓手具有深远的历史意义.

四是如何实现持续的植物健康.目前,植物医学和植物健康理论正处于起步阶段,宏观框架有待构建、基本概念需要进一步明确、具体的运行和调控机制有待深入研究.要保障基本的植物健康,实现粮食安全、食品安全以及经济效益的突破,我们需要不断更新观念,将问题聚焦到植物本身,把植物保护科学研究的重点放在植物调控上,重点突破对植物形态结构的调控、生长发育调控、生理响应调控、代谢调控、激素调控、基因调控等等,同时,要在植物抗性和适应性的增强上下大功夫,突破新理论、开发新技术、物化新产品.我们有理由相信,在社会高度发展、人类高度进步、健康问题日益受到重视的新时代背景下,植物健康维护无论是在对植物生命体本身的理解上、对植物调控技术的发展上以及对植物药剂的研发上,都将不断开拓、创新和突破.

参考文献:

- [1] 野比, RON V D P, AUDREY G. 2020 国际植物健康年 [J]. 中国花卉园艺, 2020(6): 54-55.
- [2] 联合国粮农组织官网. 联合国粮农组织启动联合国“2020 国际植物健康年” [J]. 世界农业, 2020(1): 119-120.
- [3] 祝恒琛, 谢成. 亚健康 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2002.
- [4] 丁伟. 论植物医学 [J]. 植物医学, 2022, 1(1): 5-17.
- [5] 夏征农. 辞海: 1999 年版缩印本 [M]. 上海: 上海辞书出版社, 2000.
- [6] 邓晓倩, 黄建始, 张晓方. 健康定义的历史演进及其在健康管理实践中的意义 [J]. 中华健康管理学杂志, 2010, 4(1): 51-53.
- [7] 林传光. 植物学名词解释-病理分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [8] 刘永强, 张昊, 王忠跃, 等. 植物健康概念的商榷 [J]. 植物保护, 2017, 43(5): 1-10.
- [9] 吕探云. 健康评估 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [10] OYSERMAN B O, FLORES S S, GRIFFIOEN T, et al. Disentangling the Genetic Basis of Rhizosphere Microbiome Assembly in Tomato [J]. Nature Communications, 2022, 13: 3228.
- [11] ESCUDERO-MARTINEZ C, COULTER M, ALEGRIA TERRAZAS R, et al. Identifying Plant Genes Sha-

- ping Microbiota Composition in the Barley Rhizosphere [J]. *Nature Communications*, 2022, 13: 3443.
- [12] KONG H G, SONG G C, SIM H J, et al. Achieving Similar Root Microbiota Composition in Neighbouring Plants through Airborne Signalling [J]. *The ISME Journal*, 2021, 15(2): 397-408.
- [13] LIR, ZHANG J, WEI J, et al. Functions and Mechanisms of the CBL-CIPK Signaling System in Plant Response to Abiotic Stress [J]. *Progress in Natural Science*, 2009, 19(6): 667-676.
- [14] 代宇佳, 罗晓峰, 周文冠, 等. 生物和非生物逆境胁迫下的植物系统信号 [J]. *植物学报*, 2019, 54(2): 255-264.
- [15] 中国科学院遗传与发育生物学研究所. 科学家发现植物“抗病小体” [J]. *高科技与产业化*, 2019(7): 66.
- [16] WANG J Z, WANG J, HU M J, et al. Ligand-Triggered Allosteric ADP Release Primes a Plant NLR Complex [J]. *Science*, 2019, 364(6435): eaav5868.
- [17] WANG J Z, HU M J, WANG J, et al. Reconstitution and Structure of a Plant NLR Resistosome Conferring Immunity [J]. *Science*, 2019, 364(6435): eaav5870.
- [18] 夏石头, 李昕. 开启防御之门: 植物抗病小体 [J]. *植物学报*, 2019, 54(3): 288-292.
- [19] 何璐, 虞泓, 范源洪, 等. 植物繁殖生物学研究进展 [J]. *山地农业生物学报*, 2010, 29(5): 456-460.
- [20] 殷宏章. 植物生理学[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1992.
- [21] 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.
- [22] 赵虎成, 王伯初, 刘堰, 等. 逆境胁迫下植物基因的表达与调控 [J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2000, 23(5): 146-148.
- [23] 夏启中, 张明菊. 植物抗病的物质代谢基础 [J]. *黄冈职业技术学院学报*, 2004, 6(3): 38-41.
- [24] HARBORNE J B. Role of Secondary Metabolites in Chemical Defence Mechanisms in Plants [M]//Ciba Foundation Symposium 154-Bioactive Compounds from Plants. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd., 2007: 126-139.
- [25] LIU Q, CHENG L, NIAN H, et al. Linking Plant Functional Genes to Rhizosphere Microbes: a Review [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2022: PBI-1172.
- [26] SOKOLN W, SLESSAREV E, MARSCHMANN G L, et al. Life and Death in the Soil Microbiome: How Ecological Processes Influence Biogeochemistry [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2022, 20(7): 415-430.
- [27] TOJU H, PEAYK G, YAMAMICHI M, et al. Core Microbiomes for Sustainable Agroecosystems [J]. *Nature Plants*, 2018, 4(5): 247-257.

责任编辑 王新娟