

Soil Health

Daoren Tuya Wang Qi Mei Ruhong

Chen Yanxi Microecology Team, China Agricultural University

Abstract

Soil deterioration is caused by biological, physical and chemical factors and can not be attributed to chemical fertilizers. Based on the concept of soil health, we use biological, physical and chemical measures to regulate ecological balance and achieve the remediation goal. Soil is a small universe. The biological, physical and chemical systems engineering in the five levels of ecology should be used to control soil, restrain deterioration, repair balance and realize soil rehabilitation. This paper focuses on the correlation between soil health and inorganic fertilizer factors, and from microecology, regulates the dynamic balance of soil microecology with probiotics to achieve the goal of healthy soil fertility.

Keywords

soil; remediation; microecology

土壤健康

道仁图雅 王琦 梅汝鸿

中国农业大学 陈延熙微生物团队

摘要

土壤恶化系由生物、物理、化学因子造成的，不能全归罪化学肥料。我们从土壤健康概念出发，用生物、物理、化学措施调控土壤生态平衡，达到修复目标。土壤就是个小程序，用生态学五层次中生物、物理、化学系统工程来调控土壤，抑制恶化，修复平衡，实现土壤健康。本文专论土壤健康与无机化肥因子相关性，从微生物学出发，用益生菌调控土壤微生态动态平衡，实现健康土壤目标。

关键词

土壤；修复；微生物

1 土壤健康

习近平提出“大健康”理念。“健康中国2030”规划纲要以人民为中心，建设健康环境，建设健康土壤，发展健康产业。习近平提出“人类卫生健康共同体”有力推动土壤健康产业发展。

土壤是地球生物圈的重要组成部分，是自然生态系和人工生态系的基础。土壤是有生命的，按“钱学森大健康”理念，土壤是人类生命活动的基础。

在一万年之前“自然生态系中”，土壤保持了自身的生态平衡。一万年之后，进入农业生态系。农业生态系可分为原始农业生态系（1万年至3千年），人们用的石木工具，动力是人力，刀耕火种，是粗放经营状况。土壤基本保持自然生态系状况，变化不大。3000年农业由原始农业生态系进入传统农业生态系（3000年至300年）人们用的铁器，动力是畜力，开始连作，经营状况是劳力集约经营，土壤恶化有时发生，但不会非常严重。只有近300年来现代农业生态系，

人们用的是机械，动力是蒸气机（1760年）、电力（1840年），开始轮作，作物品种单一化，商品生产、资本集约经营。尤其1828年德国化学家维勒（F. Wöhler, 1800–1882）在世界上首次用人工方法合成尿素。虽然化肥在对农作物增产总份额约占40–60%，由于过量施用，施用方法不当，造成了土壤恶化。加上工业污染、垃圾农用、污水灌溉、大气中污染物沉降、大量使用含重金属的矿质化学肥料、化学农药等造成土壤逐渐恶化，部分土壤严重恶化，尤其是重金属的污染。

土壤恶化引起：①、作物减产、品质下降；②、破坏土壤中生物、微生物的动态平衡，土壤活力下降；③、影响人畜健康，增加死亡率；④、土壤的物理性况发生改变，土壤板结；⑤、土壤恶化造成众多动物、植物、微生物的衰退，严重失衡。

土壤健康受到如此严重污染、恶化、维护土壤健康是当务之急。

2 土壤是个小宇宙

2.1 “二十一世纪爷爷更伟大”

上世纪六十年代钱学森(1911–2009)提出“人体生命科学”,以人体生命科学为代表的第七次科学技术革命,绝不是一个简单的“人体生命科学”,而是代表着未来科学技术的进步。一切生物、物理、化学科学的进步,均会在人体生命科学中集中反映出来。因此,钱学森人体生命科学是西方科学最前沿的科学和传统的中华传统科学完美融合,成为国际上唯一的、独立创新的、具有中华特色的高新科学之峰。

上世纪钱学森荣获“两弹一星”功勋奖章时,他孙子说:“爷爷真伟大”。钱老说:“二十一世纪爷爷更伟大”,他告知人们:“人体科学可能是导致一场二十一世纪的科学技术革命,也许是比二十世纪初的量子力学、相对论更大的科学革命!”

2.2 土壤是个小宇宙

钱学森认为人体就是个小宇宙,因为宇宙各层次作用都在人体上有所反应,人体也反应了宇宙各层次的存在及作用。

我们知道我们人身体是由 10^{28} 数量级原子组成的。而我们人体细胞是 10^{13} 数量级,人体内细菌是 10^{14} 数量级。这 10^{28} 数量级原子形成大约60种不同元素,但组成人体真正比较多的元素,不过区区11种。原子通过共价键形成分子,分子聚在一起形成聚集体(注意:聚集体),然后形成小的细胞器、细胞、组织、器官,最后形成一个人的整体。

我们知道一切物质都是原子组成的,也就是生物、物理、化学物质都是原子组成。原子形成分子,分子形成聚集体,聚集体前面提到最终形成我们人的整体。聚集体同样形五谷杂粮、形成六禽五畜。更要请注意:聚集体也形成物理物质,如钢铁;聚集体也形成化学物质,如石油。因此,一切物质都是原子组成的。原子都是基本粒子组成的。因此一切物质追溯到基本粒子层次,他们都有其共性。无机肥、有机肥、微生物肥追根到底也都是原子组成的,存在共性是必然的。

2.3 生态学五层次、三调控、一目标

整个宇宙,我们以生态学为依据分为:宇宙太空生态学、宏观生态学、微生态学、分子生态学、基本粒子生态学。

维护土壤健康机制从上述生态学五层次认知。我们构成物质基本的原子的能量流、物质流、信息流,通过“生物、物理、

化学”三调控来实现“土壤健康”目标。

我们研究土壤健康的“五层次、三调控、一目标”的模式同样实现“人类命运共同体”、“人类卫生健康共同体。”

3 维护土壤生态平衡

我们植物病理学老前辈朱凤美(1895–1970)在1962年来校作报告,指出:“你们可以将月球土壤研究的清清楚楚,但我抓一把校园土,你们永这研究不清楚。因为他是有生命的,不停地在演化,它是动态演化,你们只能认知这个动态平衡。你们只能学习它、研究它、适应它、维持这个动态平衡!”

无机化学肥料,本文只局限于无机氮(N)、磷(P)、钾(K)、统称化学肥料。它同土壤恶化有着相关性,以及修复土壤中要维护三元素的动态平衡,将化学肥料使用调控到经济、生态、社会三效益最佳动态平衡阈值之内,并用生物、物理、化学调控措施,持续维护土壤健康。

3.1 土壤恶化原因多样

我们认知土壤是个小宇宙。

化学肥料对我国粮食增产贡献率占增产贡献率中的40–60%,我国耕作土地占全球7%,但养活了占全球20%人口,化学肥料功不可没。

造成土壤恶化因子很多,生物、物理、化学因素都有。化学肥料由于不科学的使用,造成了残留、污染。在不同地区,由于不同土壤、不同土壤管理,造成土壤恶化的主要因子,不只是使用化学肥料因素,尚有其他众多因素。

3.2 辩证的理解“不施化肥”

当前存在气候变暖、环境恶化,尤其土壤恶化,土壤亟待修复……等等不健康问题。国家实施“健康中国2030”规划纲要中,推行“大健康概念”,土壤健康首当其冲。“有机”提出不施化肥。许多商家以“不施化肥”作为宣传,推广“有机食品”、“绿色食品”。

主观上我们应从辩证观点来看待土壤恶化状况,客观上要遵循顺自然原则,保持土壤动态生态平衡,积极修复,解决土壤污染、土壤毒化、土壤板结、土壤病害加重……等等众多负面问题。我们应“崇尚辩证法,遵循顺自然”,维持土壤动态平衡。我们施用化肥,只要做到无残留、没污染,“增益减害”、“促优抑劣”。完全能建设健康的、可持续的健康土壤。

我们要以土壤恶化是历史发展过程中产生的,是我们科

学发展过程中出现的,我们要承认化学肥料在历史发展过程中都是有贡献的,不可一味否定。同时它的负面问题我们要重视。事物都有二重性,我们要“增益减害。”

六十多年前开始推广“肥田粉”(硫酸氨)时,农民都不接受,但它确能增产保丰收,人们接受它,并依赖性越来越大。化肥施用量凶猛上升,过度施用化肥,没有节制的使用化肥,注意了“增益”,而忽视了“减害”,造成土壤健康种种弊病,不得不将“土壤修复”提上日程,并且越来越迫切。这是人类自己造成的。

今天,我们不能完全否定化肥,而是应该把化肥危害减至经济、生态、社会三效益的阈值之内。我们应该根据土壤、作物环境,适时、适量、以适当方法使用化学肥料。如能达到使用化肥而没有残留,没有污染,岂不是皆大欢喜。我们曾用益微增产菌来降解农作物体内硝酸盐含量,主动消除化学肥料的残留。这是在积极防控基础上的主动进攻,很有指标意义。将化肥研发的部分人力、物力、财力用来研究“化肥人祸”,使其“增益减害”,一定会获得比“被动防御”更高更好的效果。

3.3 土壤健康的调控

土壤健康调控是个系统工程,土壤修复是土壤健康调控的一个环节。土壤健康有五个环节:①、土壤健康监控;②、预防土壤恶化;③、土壤恶化诊断;④、土壤修复;⑤、土壤康复。

我们要用保健医学理念来看土壤“医学”。土壤恶化诊断,就是我们到医院去门诊看病,在土壤“医学”上是土壤医生去进行室内外观察调查,诊断土壤“疾病”。“土壤修复”,相当诊断后进行土壤疾病治疗。

因此,在“诊断”之前,还有两个环节,即:“土壤健康监控”、“预防土壤恶化”两环节。

“土壤健康监控”,就像对待我们人类的健康监控一样。对土壤也一样,我们要对我们土壤时时刻刻进行监控,尤其我们进入“云”时代,我们可清楚监控土壤时时刻刻的变化,“益”与“害”的动态平衡。因此,就有第二环节,即“预防土壤恶化”。当我们在“监控”土壤动态平衡时出现异样,就采取生物、物理、化学技术手段,将土壤健康的“益”与“害”保持在经济、生态、社会三效阈值之内。只有土壤动态平衡严重失调,我们才进入“诊断”、“修复”两环节。土壤健

康管控是在“修复”之后,还有第五环节“土壤康复”。我们不应在“修复”之后,就大功告成,应积极主动,进入第五环节“土壤康复”。“康复”阶段,即要巩固“修复”效果,又要对其他土壤恶化因子进行管控。实现土壤健康在“健康↔亚健康↔恶化↔修复↔亚健康↔健康”动态平衡向有利于动态平衡向“有益”三效益阈值发展。

我们要从“崇尚辩证法,遵循顺自然”,维持土壤健康动态平衡。

监控↔预防↔恶化↔诊断↔修复↔康复

4 微生态土壤修复理论和实践

陈延熙(1924—2010)教授1932年参加革命,是我国植物病理学第三代专家。在长期革命经历中,他熟悉辩证法,遵循顺自然:重视理论联系实践,实践第一;顺之于自然,取之于自然,用之于自然,回归于自然。1976年他率领团队开创了“微生态学”,其定义为:生物个体是细胞组织和微生物组成的复合体,研究这些微生物组成、功能、演替,微生物与微生物之间的关系,微生物与生物个体微环境关系的生命科学分支。

我们认为土壤就是一个小宇宙,五个生态层次在土壤范畴都有反应,但微生态层次对我们最直观,看得见摸得着的。我们强调用生物、物理、化学土壤修复技术手段调控生物、物理、化学所产生土壤恶化种种恶果。

土壤恶化因素复杂,土壤修复措施更复杂。本文就土壤中微生物因子,来阐述土壤修复。

前面提到土壤是有生命的,是个小宇宙,主要因为土壤中有微生物。

微生物早在30多亿年前。我们就是生活在一个微生物世界里。微生物分类为细菌、真菌、藻类,俗称为寄生虫的原虫和蠕虫,另一大类,即是病毒。病毒是一种只能在活的细胞中复制的简单有机体,严格说来并不能视为一种生物,不过,也被归属于微生物。

微生物是由水生演化为陆生,陆生由简单演化为复杂。这些陆生微生物早早就生活在地壳表面。演化到今天土壤里,20厘米耕作层里生活着极其众多微生物。这耕作层中微生物族群、种类和数量时时刻刻在变化。各种耕作条件下土壤中微生物种群及其数量,以及其生物产量都在变化,种植不同作物种类,以及在其不同生育期微生物种群数量,及其生

物产量都在变化。我们团队在上世纪,用了十年时间在廊坊棉花黄枯萎病病圃中,对棉花枯萎菌菌群系统监测。同样用了十年时间,在丰宁坝上就一亩地小麦全蚀病病圃作了十年的小麦全蚀病病情动态作了系统观察调查研究。王琦教授自2006年在我校上庄试验站二亩地上,划分了六个小区,一个用复合化肥,另五个按不同梯度使用有机肥,已连续试验研究十四年了,逐年进行土壤微生物区系的分析,以及小麦-玉米两茬生物产量及性状观察研究。

生物、物理、化学多种因素引起土壤恶化,我们用微生物,依据微生态学及其事业理论和实践,调控土壤生物、物理、化学引起恶化的因子。微生态调控技术修复土壤,达到经济、生态、社会三效益阈值,建设健康土壤。

5 建设健康土壤案例一土传病害防治

5.1 健康土壤的自愈力

小麦全蚀病(Wheat Take-all)

① 小麦全蚀病广泛分布于世界各地,1884年英国最早有记载,我国最早于1931年在浙江省发现。上世纪70年代初小麦全蚀病在山东烟台黄县严重发生,曾扩大到19个省(区)。它是毁灭性病害,能绝产。

② 小麦全蚀病是连作病害,逐年加重,当发病率和严重程度达到高峰,此后继续种小麦,病情指数则逐年自然下降,作物产量则因病害的减轻而提高。这种现象称为“全蚀病的自然衰退(take-all decline TAD)”。病害高峰期一般持续1-3年。高峰期过后,病害因土壤健康程度不同,衰退速度不同。TAD的机制,主要土壤与土壤中的有益微生物有关。

③ 上世纪曾在丰宁坝上,用十年时间系统观察一亩地小麦,分成666小区,系统观察小麦全蚀病:发病-病重-衰退-病轻-基本不发病的全过程。桔抗土的产生,同土中有益微生物种群和数量消长有关。为此,我们在山东莱芜用增加施有机肥、增施氮肥,以及用益菌荧光假单胞杆菌、芽孢杆菌等微生物菌肥,取得很好效果。

增施N肥、施用益生菌加速小麦全蚀病桔抗土增加,最终全蚀病衰退,逐渐消灭。后来在黄县找一个全蚀病样本都找不见了。

土壤是生命活体,也有自愈能力。

5.2 微生态调控综合治理

棉花枯萎病(Fusarium Wilt of Cotton)

① 棉花枯萎病苗期至成株期均可发生,以现蕾前后达到发病高峰。枯萎病菌在土壤中可以长期存活6-7年,厚垣孢子在土壤中能存活达15年之久。病菌主要从棉株表皮细胞或伤口侵入,病菌侵入经过皮层进入导管,并在导管内繁殖扩展,分布至全身。

② 上世纪七、八十年代,团队在河北廊坊建立棉花枯萎病病圃,对枯萎病作了十年系统观察研究。

枯萎病菌在土壤里,经过根表,进入棉花体内,再进入维管中,扩展全身。在这过程中枯萎病菌要冲破棉花体内自然生态系中微生物重重防护层,才能在棉花现蕾期严重发病。

枯萎病的防治应采取保护无病区(田)、消灭零星病区(田)、控制轻病区(田)、和改造重病区(田)的综合治理策略。

枯萎病的微生态调控可用芽孢杆菌(Bacillus)、木霉菌(Trichoderma)等微生态制剂,如播种时,用生防制剂配合种肥,种子消毒剂,用种子大粒化技术;即贴近种子用微生态菌剂。a、加上隔离剂,b、中间层是种肥,再加隔离层。c、最外一层是种子化学消毒剂。d、隔离层可峻甲基纤维素等成膜剂。

用微生物菌作基肥,控制枯萎菌在土壤中繁殖量,降低侵染势。

微生态菌剂在棉花根际形成抑菌土,降低枯萎病菌侵染势,以及侵染率。

在棉花生长期,尤其棉蕾下部叶柄部,喷洒微生态制剂,系减缓枯萎菌在维管束中扩展蔓延。在花蕾下部叶柄处增强微生态制剂使用,保住花蕾下第一、第二叶片,棉花即能保住基本生物产量。

微生态制剂配合其他枯萎病防治措施,才能更有效地防治枯萎病。

6 土壤微生态动态平衡是土壤修复的基础

6.1 土壤微生物区系动态平衡

前面谈到小麦全蚀病,棉花枯萎病遵循“辩证·自然”原则,用微生态调控概念看待土壤修复中微生物动态平衡“增益减害”作用。

微生态菌肥是调控土壤恶化的根本措施。“菌肥”概念,“菌”就是微生物,“肥”可以有有机肥,也可以是无机肥。

本文谈“菌”，传统有根瘤菌、固氮菌、解磷解钾菌、促生菌、菌根、光合菌、有机物腐熟菌，本文主要围绕土壤修复有机菌肥的阐述，并以芽孢杆菌（*Bacillus*）为核心。

中国农业大学微生态团队自1976年以来，开创了芽孢杆菌构成菌肥、菌药的先河。

1979年以芽孢杆菌为主体的益微增产菌问世。

陈延照教授指示，以芽孢杆菌六个常用的属，申请了专利。当芽孢杆菌，在“菌药”“菌肥”很快蓬勃发展。团队几十年来一直坚持，各个功能菌单一发酵，然后，“按方抓药”，形成多种针对不同恶化的土壤，形成多种复配菌剂，对症下药。

前面提到王琦教授在2006年开始一亩地，分六个小区，一个用复合化肥，另五个按不同梯度使用有机肥。已经经历了十四年头了，逐年观察研究土壤微生物区系的变化，对作物产量及土传病害病情况进行考察研究。

土壤恶化，进行土壤修复，一定按系统工程理念作全面科学的判断，方能真正对症修复。

6.2 案例：连作障碍

重茬病

重茬病是土传病害中癌症

同一作物在同一地块连续多季或多年种植在栽培上学称为“重茬”。

重茬病是土壤恶化标志性病害。土壤板结，盲目施肥、土壤盐分浓度高等等因子是土壤恶作根源。但土壤有益微生物减少，微生物代谢物更加减少，这种动态平衡失调，是重茬病严重发生根本原因。

2018年，团队携抗重茬制剂征战第三届中国创新挑战赛（兰州），荣获优胜团队（一等奖），助力解决高原夏季的种植技术难题。9月5日，在中国创新挑战赛技术需求解决成效现场观摩推广会（兰州百合）上，试验区内百合每亩增产500元以上，增产率高达20%，中国农大抗重茬微生态制剂交上一份完美答卷。多年来在向日葵等作物上都获得防治重茬病成功。

抗重茬剂是中国农业大学国际领先的防重茬病创新成果。选用抗连作障碍，防控重茬病的芽孢杆菌、木霉菌、放线菌、粘帚霉等防病促生高产菌株。用专用发酵技术，单菌株发酵，根据土壤恶化主要因素，组合专用菌剂，结合其他农业措施，防控重茬病。

在抗疫的这段时间，团队在北京大兴庞各庄用防线虫微生态制剂，防治西瓜根节线虫也获得成功。防线虫微生态制剂是根据植物微生态原理，采用单菌株发酵、多菌株复配等专用发酵技术和制剂加工工艺，研制成的复合型微生态制剂。菌剂施入土壤中，益生菌迅速繁殖，并产生众多代谢产物。在土壤里形成优势菌群，在植物根系周围形成严密的保护层，进而减少和降低根结线虫的发病率。

在此案例中清楚说明利用微生物来调控土壤微生态动态平衡，增益减害，抑制土壤恶化，向健康土壤发展。当然，微生物调控应用结合生物、物理、化学三调控措施，积极修复恶化因子，维护土壤健康。

参考文献

- [1] 陈延熙译，《植物根病真菌》，农业出版社，1956.
- [2] 梅汝鸿，小麦全蚀病生物防治试验[J]，北京农业大学学报，1982，8（2）.
- [3] 《土传植物病原生态研究法》，北京农业大学植物病害生物防治研究室，1983.
- [4] 梅汝鸿，《增产菌》，农业出版社，1989.
- [5] 计平生，增产菌作用机理问题[J]，中国微生态学杂志，1991，3（1）：92-95.
- [6] 鲁素芸等，《植物病害生物防治学》，北京农业大学出版社，1993.
- [7] 梅汝鸿，《植物微生态学》，农业出版社，1998.
- [8] Baker K. F., Cook R.J., *Biological Control of Plant Pathogens*, San Francisco Freeman, 1974.
- [9] Georgeo N. Agrios, *Disease Control by Immunizing or Improving the Resistance of the Host Plant Pathology* (Fourth Edition) 192-195, Academic Press, 1997.