

99(1)

①

土壤质量研究进展与方向

张桃林 潘剑君[✓] 赵其国

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

S152.45

1-7

摘要 本文在简要介绍和分析土壤质量的概念及其与持续农业的关系、土壤质量的评价方法、土壤质量变化和土壤退化的动因、危害及动态监测方法等方面的最新国际研究进展的基础上,对我国今后土壤质量研究工作的方向和重点领域提出了建议。

关键词 土壤质量;评价指标与方法;动因~~与~~危害;可持续农业;研究方向

作为世界上人口最多的发展中国家,中国如何在其有限的土壤资源上生产足够的食物,一直是世界关注的热点问题之一。需要引起人们深切关注的是我国土地资源、尤其是其核心组份土壤资源的形势及其与粮食保障和环境质量间的关系与前景。事实上,有关土壤退化与质量演变的研究已成为当前我国学者和国际土壤学、农学及环境科学界共同关注的热点课题之一,有关土壤质量的国际学术研讨会和论文专著近年来急骤增加。但是,迄今为止,有关土壤退化质量的许多理论问题及过程机理尚不清楚,还没有公认的或统一的土壤质量指标和量化的评价方法,尽管北美及欧洲的一些土壤学家在这些方面已取得了许多重要进展^[1-4]。因此,及时了解分析和跟踪国际土壤质量研究的最新进展和前沿,并根据我国实际情况开展土壤质量研究与应用工作,具有重要的理论和现实生产意义。

1 土壤质量与可持续农业和环境

土壤质量(Soil quality)或土壤健康(Health of soils)是指维持生态系统生产力和动植物健康而不发生土壤退化及其它生态环境问题的能力。土壤健康这一术语一般为农学家和生产者及大众媒体所采用^[5]。它强调土壤的生产性,即一个健康的土壤能持续生产出既丰富又优质的作物产品。但是,过去的十多年里,人们对农业的理解发生了很大变化,农业已不再仅是一个封闭的操作系统,而已成为复杂生态系统中的一个组成部分。土壤健康不仅对作物生长活动的效率有影响,而且对水质量和大气质量有影响。生态系统的各个部分相互作用、相互影响。所以,不应该把土壤健康的定义仅仅局限于其生产性,而应该将其与生态系统及环境联系起来,与土壤保护及持续农业联系起来,它应能给许多特性和过程的条件勾绘出总体的面貌。为此,土壤学家、环境科学家更偏向于用土壤质量这一术语来代替土壤健康,以唤起人们象关注水质量和大气质量那样关注土壤质量。

可持续发展已日益成为当今国际社会共同关注的重大课题,而可持续发展的基础是农业的可持续发展,即可持续农业。这种可持续的发展(包括农、林、渔业)能维护土地、水和动植物

• 本文系国家自然科学基金委员会资助重点项目(49631010)的部分研究内容。

的遗传资源,是一种环境上不退化、技术上应用适当、经济上能维护得下去以及社会上能接受的发展方式。维护土地资源是可持续农业的基础,而土壤资源是土地资源的核心组成部分,因此,土壤质量与可持续农业的关系十分密切。事实上,土壤质量对农业的可持续性的影响最为直接、深刻和长远。因为,可持续农业首先需要有可持续的农产品的数量和质量作保证,而农业产品的数量和质量又依赖于土壤生产力和清洁度,即土壤质量的保持和提高。土壤一旦发生退化,农业持续发展的基础就会发生动摇。可见,研究可持续农业,必须而且首先要研究土壤质量。这点也可以从下面的农事活动与土壤质量及可持续农业目标间的关系框图中得到进一步的阐明(图1)。框图表明,土壤质量是连接保护性农事活动和可持续农业目标的纽带,是通向可持续农业的桥梁。

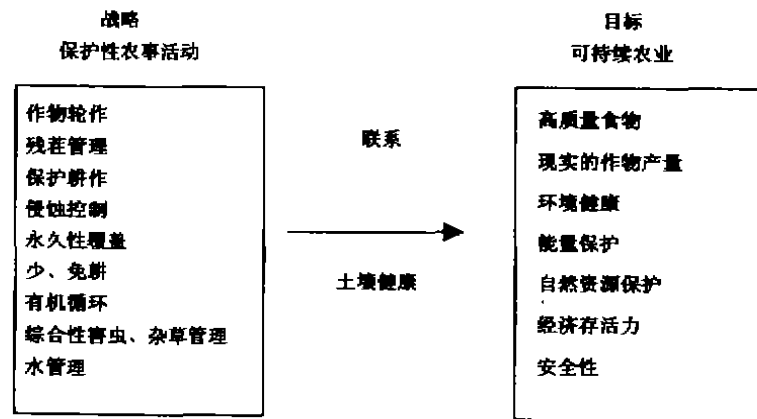


图1 农事活动与土壤质量及可持续农业目标间的关系

随着土壤质量研究工作的深入,土壤在陆地生态系统中的地位和作用以及土壤质量与大气和水环境质量之间的关系也逐渐被人们认识^[1-3,6],土壤不仅为动植物的生长提供养分和物理支持,也是大气、地表水和地下水的过滤器,同时还是废物循环再利用的场所。土壤的许多属性如抗侵蚀能力、阳离子交换能力、吸附性能以及决定土壤缓冲能力的有机质含量等都决定了土壤质量与水环境质量有密切的关系。土壤是陆地生态系统中最大的碳库。可以促进大气分室中的碳向土壤分室转移,并减少氮氧化物从土壤中的释放,因而土壤质量变化研究对于深入认识全球环境变化十分重要。

2 土壤质量的评估

2.1 评估指标^[1-4,5,7]

土壤质量是土壤的许多物理、化学和生物学性质,以及形成这些性质的一些重要过程的综合体。迄今为止,尚没有评估土壤质量的统一标准。一般而言,生产者描述土壤质量的方法较为直观,用诸如土壤看起来如何、摸起来如何、闻起来如何等词来加以描述。尽管土壤质量本身不能直接被测量,但可以用测量特定的土壤性状(如pH或有机质含量)或用观察土壤条件(如肥力、结构或可蚀性)的办法加以估计。在这方面,美国土壤学家做的工作较为系统和全面^[2,7]。他们先让生产者描述健康土壤的特性。生产者眼里的健康土壤是:①土层较厚、颜色

较深;②较易耕作;③春季较易发棵;④有海绵状结构,保水更多;⑤落干较快;⑥秋季作物残茬能更快地分解;⑦有机质含量较高,侵蚀较轻;⑧蚯蚓的数量较大、种类较多;⑨有一种香甜、新鲜的空气气味。然后,他们对健康土壤进行仔细地观测。结果发现,健康土壤有下列八个方面的性状:①所消耗的燃料比非健康土壤少得多;②对机械的磨损和损坏较小;③拖拉机工作较省劲;④需要较少的肥料;⑤作物产量较高;⑥有较多种类的杂草;⑦病虫害较轻;⑧种植的饲料作物有较高的品质,吃这种饲料的动物更加健康。

最近,土壤研究者们建立了一个可靠且系统的土壤质量评估方法。这种方法是利用土壤质量指数(Soil quality index)和土壤质量对变化的易感性(Susceptibility)评估土壤健康状况。这一指数的确定包含了对某些土壤性质、功能,及与土壤质量指标(Indicators)密切相关的一些条件的测量。在此,土壤质量指标是联系土壤质量指数和土壤性状的桥梁^[8]。

土壤质量指标是表示从土壤生产潜力和环境管理的角度监测和评价土壤的一般性健康状况的那些性状、功能或条件。这些指标或因素可以与土壤直接有关,也可以与受土壤影响的某些因子(如作物和水)有关,既包括描述性(Descriptive)指标,也包括运行(Performance)指标。理想的指标应该是公正的、灵敏的、具预测能力的、有阈值可参考、数据资料可以转化、综合、易于收集和交换。一般来说,下面一些因素在表征土壤质量方面具有重要作用:1)土壤方面:(1)化学性质:①土壤酸度(pH);②吸附化合物的能力(CEC和AEC);植物养分含量及有效量、养分循环及转化效率以及养分相互作用;③盐分含量及组成。(2)物理性质:①土壤颗粒分布、结构、容重、孔隙度及其排布,抗风蚀和水蚀性能;②团聚体的体积与稳定性;③土壤水分、持水性能、入渗速率、入渗容量。(3)土壤生物学性质:①有机质的数量与类型;②土壤微小生物与无脊椎动物的数目、类型和功能;③专性呼吸作用强度;④酶。2)作物方面:作物产量、植物健壮状况、根系生长模式。3)水环境方面:地表水质量、地下水质量。4)生物学方面:呼吸、矿化、硝化等过程的微生物活动和自然过程;农业生产系统的养分动力学。5)植物营养方面:植物营养质量;与土壤质量有关的食物质量。

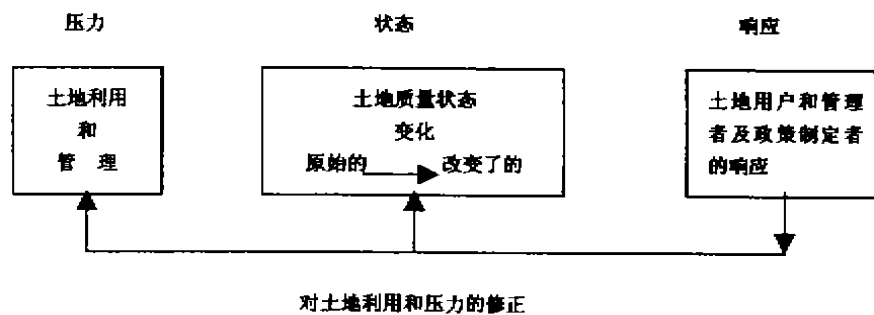


图2 PRS 土地质量指标框架⁽⁴⁾

当然,土壤质量的评价应针对特定的土地功能和土地利用类型进行。同样,不同的地区,不同景观类型的土地,也应该使用不同的指标体系。在这方面,世界银行在全球选择了陡坡地、酸性的热带稀树干草原、半湿润地区、半干旱地区(仅有旱作农业)、干旱地区(仅有牧业)等五种有代表性的土地类型进行研究,提出了它们各自的指标体系⁽⁴⁾。

值得一提的是,最近世界银行、联合国粮农组织、联合国发展署、联合国环境署联合启动了

一项以土壤质量为核心的研究“土地质量指标”(Land quality indicators)的国际合作课题^[4]。该课题提出了一个“压力—状态—响应”(Pressure - state - response, 即 PRS)的土地质量指标的概念性框架(图 2),旨在通过利用土地质量指标测量人类活动对土地资源的压力、这些压力对土地质量状态的影响,以及社会对这些变化的响应,而将土地质量指标与相关的政策和管理决策联系起来。

2.2 评估步骤

土壤质量评估方法很多,至今尚无国际统一的标准方法。目前,相对比较有一定代表性的方法是大尺度地理评价法(Broad-scale geographical assessment of soil quality)。该方法一般有 5 个基本步骤:(1)利用土地资源信息(包括大尺度的土壤、景观和气候信息),针对 1、2 个特定的土壤功能估计土壤的自然(或内在的)质量(Inherent soil quality, 即 ISQ)。例如,一个深厚的、排水良好的、在保持和供给养分方面能力较强的土壤能很好地适应于作物生长、截持和降解有毒物质;(2)利用地形和其它土地资源信息确定土地遭受退化的危险性的物理条件,并通过土壤质量易感性(Soil Quality Susceptibility, 即 SQS)指标识别出处于土壤质量下降的农业区。例如,陡坡和地表土壤质地粉砂会使土壤易于遭受水蚀;(3)利用土地利用和管理信息与趋势估计那些具有使土壤下降危险性加大的人为条件。例如,集约化的顺坡条行种植可加剧土壤水蚀和有机质损失过程;(4)把从 1~3 步的信息综合起来估测土地资源质量发生变化的可能性及趋向。综合的方法包括:①主观法:根据经验知识主观地进行综合评估;②动态监测法:依据监测和新记录的土地资源数据进行综合评估;③模型法:利用模拟土壤退化过程的计算机模型,参照历史的和有代表性的气候数据进行综合评估;(5)利用土地—资源评估结果,对特定利用下的未来土壤的质量进行再评价。利用土壤自然质量(Inherent soil quality, 即 ISQ)指数(Index)排序土壤。土壤的自然质量主要由地质学性质和成土过程决定,其大小的确定主要基于与土壤生产作物能力密切相关的 4 个土壤要素:①土壤孔隙(为生物学过程提供空气和水分);②养分保持能力(维持植物养分);③根系生长的物理条件(作为某些物理性质的结果促进根系生长);④根系生长的化学条件(作为某些化学性质的结果促进根系生长)。

上述评估土壤质量的方法及步骤可应用于不同空间尺度上,小到地块,大到整个国家。既可为农民凭着主观直觉去使用,又能为研究人员借助复杂的模型或信息系统进行系统地操作。

3 土壤质量变化的动因及后果研究

土壤的内在质量(Inherent quality)是天然的和相对稳定的,它是大自然成土因素(成土母质、气候(水和温度)、生物(动植物和微生物)、地形、时间)长期相互作用的产物,带有明显的响应主导成土因素的物理、化学和生物学特性。人类活动则是土壤质量形成的第六个因素。因此,土壤质量一方面会因一些自然过程,如风化淋溶作用的进行而缓慢改变,另一方面更会因人类活动,如土地利用和农作实践活动而加速变好或变坏。

土壤退化是导致土壤质量下降的一个最直接、最主要的途径。土壤退化的形式多种多样,但主要的形式为:风蚀和水蚀、有机质含量和质量下降、土壤结构破坏、盐渍化和化学污染、土壤生物多样性衰减及生物活性下降等等。这些物理的、化学的和生物学的土壤退化过程会减少土壤现有的和潜在的生产物质的能力,导致和/或加剧土壤质量的下降。按 Sombroek

(1991)的资料,地球表面非退化、退化、荒地和自稳定土地所占百分比分别是47、15、11和27,表明已有15%的土地(约20亿公顷,其中约有10%的可耕地)在过去的一万年中被人为了诱发的土壤退化所掠夺,加上其他无生产力的土地,共计45亿公顷。在农业土地中有约25%(12.3亿公顷)的土地因不恰当的管理及牧地的过度放牧等而遭受人为退化。

影响土壤退化和土壤质量变化的因素包括生物物理的、社会经济的、技术的和文化的因素。土壤退化可由其中的一种或多种因子及其相关过程引起。一般来说,不合理的人为活动,如毁林、过度放牧、地下水过度开采、过量施用商品化肥和有机氮肥等所引起的土壤退化问题无论在范围还是程度上均比自然因子引起的退化要严重得多。以土壤侵蚀为例,人为活动诱导的土壤加速侵蚀是导致土壤质量下降的最根本的动因之一。由于土壤侵蚀过程的发生发展,表土中有机质减少,土壤性状特别是土壤结构会出现很多变化,最明显形式是土壤团聚体状况变差和土壤板结,从而加剧土壤的风蚀、水蚀作用,形成恶性循环。土壤结构退化会降低出苗率,阻碍空气和水进入土壤和在土壤内流动,进而又加剧土壤侵蚀,最终导致作物的减产。除土壤侵蚀外,当土壤质地细、湿、有机质含量低时,也易发生结构退化。同时,强度耕作、条行种植、轮作不够,也可促使土壤结构退化。

4 土壤质量的动态监测

土壤退化的某些过程,当其发展到一定程度时,可在土壤剖面的不同部位或全剖面中表现出来。一般来说,风蚀及水蚀、有机质丧失、化学品含量过高等退化过程或现象主要集中在剖面表层,而土壤板结、盐渍化过程则可影响至心土层。同时,侵蚀和不合理耕作也可使心土层暴露。

为了适时监测农业土壤质量或健康状态的变化,为资源合理开发利用、农业持续发展和环境保护及生态建设提供依据,不少国家和地区已经或正在致力于本地区土壤质量动态监测方法(如利用最小数据集(MDS)结合若干个土壤变换函数(PTF)监测土壤的方法^[2])和监测系统的建设。以在这方面比较领先的加拿大为例,自1989年起,加拿大农业部国家基准项目中加进了监测农业土壤健康状况变化,特别是由土地利用和管理措施造成的变化的项目,建立一批基准点(Benchmark sites)。该监测系统的基础数据组包括农场历史、土壤和地貌描述、土壤的各种化学、物理、生物学特性等重要土壤指标的测量。在8个地点每天测量数项气象因素。在观测频次上,一些土壤特性每年测量1次,而另一些特性每5至10年测量1次,这取决于它们的敏感性(它们变化的快慢程度)。土壤特性被划分成敏感、中等敏感、不敏感3类。所有基准点的基础数据组在1995年就已完成。第一套变更采样数据由23个点位中的6个组成。根据这些基础数据,该项目的早期结果已得出了一些有关农作措施对土壤健康影响的重要结论^[5],例如:提高肥料、农药、除草剂、灌溉水的利用率,能显著减少硝态氮、农药、除草剂淋失的潜在危险。

土壤质量评价需要将各种土壤属性数据进行综合和集成,为使评价结果能够进行不同地区或同一地区不同时间段的对比,需要将获得这些土壤属性数据和监测技术标准化和规范化^[3],包括从采样布局、采样、样品预处理和实验室分析等各环节,还需要完备的监测质量监控和保证措施。

5 土壤质量保持与提高的途径研究

鉴于土壤质量在土地资源开发利用和农业发展及环境保护中的特殊作用,土壤质量的保持和提高已日益成为当今国际土壤学界、农学界及环境科学界共同关注的研究课题。有关质量管理的试点已在世界主要类型的农业生态带开展。在北美的一些研究结果表明,土壤质量在那些针对当地土壤退化问题而采取了相应的保护性措施的地区,将维持稳定或提高;而在那些没有采取保护性耕作方法而又强烈种植的地区和边缘土地上将会不断下降;当生荒地开垦成农地时,常常在开始的头10年,其土壤质量会迅速下降,而之后,当投入大于产出时,土壤质量则会慢慢得到改善;合理地增加有机物质、采取保护性耕作和作物轮作及种植豆科植物、作物残茬管理、连续种植(减少夏季休闲)、侵蚀控制(例如覆盖种植、深播、等高种植、修筑梯田、水道种草)和修筑地下排水系统等措施,可使土壤质量得以维持甚至提高。

要使土壤质量得以保持和提高,必须实施可持续的土地管理战略,即用一种能保持土地的生产性能而又不会耗竭资源和损害环境的方法去管理土地,其需要同时兼顾以下各个方面的要求:1)生产性:维持或者改善农业生产和服务;2)稳定性:降低生产风险水平;3)持续性:保护自然资源,防止土壤和水退化;4)生存性(生活力):具有良好的经济意识和经济效益;5)可接受性;可为社会长期接受。

6 土壤质量的研究方向与重点

土壤质量是个非常综合和概念,不仅涉及到土壤学、土地利用、农业种植措施和管理等众多方面,而且也与某些方针政策有关。所以,需要研究的领域很多。

鉴于当前国际土壤质量研究的最新进展,结合我国的实际情形,作者认为,我国今后一段时间内的土壤质量研究工作应该主要集中在土壤质量指标与评价方法、土壤质量演变过程与机理、土壤质量动态监测与预测预警及对策的研究方面。同时,考虑到土壤资源作为整个生态系统的组成份,它与其它自然资源间具有密切相互作用关系,而土地不仅涉及土壤,而且指作为土地利用的基础的土壤、水、植被和地形的组合资源,是地球陆地表面所有影响潜在土地利用和环境管理和要素的组合,因此今后土壤质量的研究工作应逐步向土地质量方向拓展。具体来说,有以下几方面的研究重点:

(1)土壤与土地质量指标与评价方法。主要包括用于评估监测、评价土壤和土地质量的指标、分级标准、阈值(Threshold)和弹性(Resilience),定量化和动态的评价方法与评价模型等;

(2)土壤质量变化的发生条件、过程、影响因素及其作用机理与时空规律性。重点是对那些土壤质量产生明显压力的因素及主要退化形式,如土壤侵蚀、土壤肥力衰减、土壤酸化、土壤污染等的研究;

(3)土壤质量与水、大气环境质量以及动植物和人类健康间关系的研究。包括污染物在水土界面上的反应、释放和迁移,农业非点源污染对地表水和地下水水质的影响,减少温室气体排放的管理措施,土壤质量影响生长于其中的植物品质进而影响其消费者——动物和人类健康的机理及对策等;

(4)土壤和土地质量动态数字数据库及其管理信息系统的研究。包括土地质量动态监测

的3S(GIS, GPS, RS)技术和信息网络及尺度转换技术,土壤质量清单(属性数据库和GIS图件)及其动态更新,土壤质量变化趋向的模拟预测与预警研究等方面的工作;

(5)土壤质量保持与提高的途径及其关键技术研究。包括土壤质量分类划区与不同质量类型区土壤质量保持与提高的可持续土地管理决策支持系统与优化模式,主要退化农业生态系统土壤质量恢复重建的关键技术(如水土保持型生态农业技术、水肥耦合调控技术、酸性土壤改良技术等)及其集成与试验示范研究等方面的工作。

参 考 文 献

- 1 Karlen D L, Mausbach M J, Doran J W et al. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61:4~10
- 2 Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, Stewart B A. (eds.); Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication. No. 35, 1994
- 3 Doran J W and Jones A J. (eds.); Methods for Assessing Soil Quality. SSSA special publication. No. 47, 1996
- 4 Pieri C, Dumanski J, Hamblin A, Young A. World Bank Discussion Papers No. 315: Land Quality Indicators. The World Bank, Washington D. C., 1995.
- 5 Acton D F, Gregorich L J. The Health of Our Soils: toward sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, 1995.
- 6 Sims J T, Cunningham S D and Cumner M E. J. Environ. Qual., 1997, 26:20~25
- 7 Karlen D L, Eash N S, Unger P W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. American Journal of Alternative Agriculture, 1992, Vol. 7, No. 1&2, 1992. Institute for Alternative Agriculture.
- 8 Hammond A, Adriaanse A, Rodenburg E, Bryant D, Woodward R. Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development, 1995, World Resources Institute, Washington D. C.



(上接第12页)

参 考 文 献

- 1 载1997年5月20日《中国土地报》。
- 2 中国土地报评论员. 平衡必须坚持,赤字可以消除,载1998年7月16日《中国土地报》。
- 3 李应中等. 中国耕地的持续利用. 经济地理, 1995, Vol. 16, No. 4: 78~84页。
- 4 李元主编. 生存与发展—中国保护耕地问题的研究与思考. 北京: 中国大地出版社, 1997年, 2~5、14~17、22~24、32~50页。
- 5 马同生主编. 江苏土肥科技与农业持续发展. 南京: 河海大学出版社, 1997年, 4~8、21~29页。
- 6 刘慧. 我国土地退化类型与特点及防治对策. 自然资源, 1995, 第四期: 1~7页。
- 7 刘正为. 耕地为何日益贫瘠, 载1998年7月30日, 《中国土地报》。
- 8 徐彬彬等. 耕地总量动态平衡的可行性研究—以桂林市为例. 经济地理, 1998年, Vol. 18, No. 5: 154~160页。
- 9 载1998年9月1日《中国土地报》。