

土壤质量指标和评价方法

张 华 张甘霖

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 土壤质量是反映土壤保持生物生产力、环境质量以及动植物健康能力的土壤的内在属性。土壤质量评价是根据土壤内部属性对土壤综合状况进行表达。评价必须确定合适的时间和空间尺度,综合量化分析指标和不可量化的描述性指标。评价方法包括定性评价和定量评价,系统化的定性评价仍有其现实意义。定量评价要选择指标的最小数据集(MDS),采用最小数据集(MDS)+土壤变换函数(PTF)的方法将土壤质量指标和土壤功能相联系,对土壤的各个功能因子进行评价,在此基础上利用各种数学评价方法得到综合的量化土壤质量评价结果。

关键词 土壤质量; 土壤质量指标; 土壤质量评价

1 土壤质量评价的概念

土壤是地球生物圈的重要组成部分,是农业和自然生态系统的基础。由于土壤对可持续发展的重要作用,土壤质量在世界范围内正受到各方面人士的广泛关注。土壤质量被定义为“特定类型土壤在自然或农业生态系统边界内保持动植物生产力,保持或改善大气和水的质量以及支持人类健康和居住的能力”。简单的说,土壤质量就是“土壤运行能力”^[1,2]。

土壤质量评价倾向于在更为广泛的范围内综合土壤各个方面的功能,包括保持生物生产力、环境质量以及动植物健康。土壤质量是在土壤不同功能间寻求平衡和综合而确定的土壤本身的内在属性,土壤质量评价工作是根据已知的土壤外部性质对土壤的这一内在属性进行量化表达。

土壤质量研究只是刚刚开始,这是由于研究的复杂性。包括土壤依赖于许多外部因子,如土地利用、土壤管理措施、生态环境系统的相互作用以及社会经济和政治状况等;

土壤本身包含了众多在时间空间上存在显著变异的化学、物理和生物因子,这些因子间的在土壤质量中的重要程度和相互作用机理仍然没有得到充分认识;不同人士关注的土壤功能不同,对“好的土壤”的认识很不一样。由于这些原因,许多研究者曾经认为土壤质量是一个没有办法直接评价的抽象概念^[1]。但是为了有效管理和保护土壤,必须进行土壤质量评价。继对大气和水环境质量的深入研究之后,对土壤质量的深入认识已成为可持续环境的研究重点。

2 评价尺度

土壤性质具有复杂的时间和空间变异性,性质变异影响着对土壤质量的评价。不同的时间和空间尺度下,我们对土壤质量的关注方面也不一样。土壤质量评价必须确定合适的时间和空间尺度。

2.1 时间尺度

土壤的各种性质都不是固定不变的,各种外部因子的变化都可能导致土壤性质发生变

化,土壤内部各种因子的相互作用也增强了土壤性质的变化。根据土壤性质随时间变化的速率和频度可以区分为“短期的”“动态的”和“长期的”“静态的”。Carter等^[3]认为可以用土壤健康描述土壤短时期内的“动态”状况,用土壤质量描述长时间尺度上“内在的”和“静态的”用于某种特定目的的能力 Papendick等^[4]认为土壤质量评价应该是土壤“动态”和“静态”属性的混合。

2.2 空间尺度

土壤质量评价必须确定评价的空间范围。评价范围可以是土体、土壤上图单元、田块、景观以至整个流域。政策制定者还需要国家、国际范围内的土壤质量评价。Karlan等^[2]建议了一个不同目的的土壤质量评价尺度的框架。Pennock等^[5]根据分散的采样数据在景观和地区尺度上评价了3个草甸农业系统的土壤质量,Smith等^[6]利用Kriging方法得到了景观尺度上的土壤质量图。

3 评价指标体系

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现。因此对土壤质量的综合评价必须建立在对于不同土壤属性的阈值与最适值,各种土壤属性的不同水平间的相互组合对土壤质量的体现,各种土壤属性与土壤功能之间的关系,形成各种土壤属性的明确的土壤过程等等问题的深入的机理性的了解基础之上,由于现在对这些问题的答案仍然是比较模糊和不全面的,目前评价土壤质量的研究仍然只是一些从不同关心角度进行的尝试。

3.1 描述性指标

土壤的诊断性质被分为两个部分,描述属性和分析属性。描述性数据因为不能量化而被视为“软”数据,常常不能得到科学家和技术专家们足够的重视,而农民及其他直接使用土壤的人却是通过这些不能量化的指标认识土壤质量的,在研究者和用户之间进行必要的沟通是非常重要的。农民们可以通过看、闻和感觉确定土壤质量,他们的这些知识在一定程度上弥补了科学家们所使用方法的不足。农民和科学家的合作,可以在土壤质量研究中将农民的观察知识和分析数据结合起来发展土壤质量评价方法,为土壤资源的经济和环境可持续发展提供指导。Harris等^[1]提供了以解释框图和访谈指南为基础,包括通用调查表、特定地点调查表、相关报告卡组成的一套较为完整的土壤质量评价信息收集工具。Romig等^[7]基于农民的土地评价方法中给出的Wisconsin土壤健康评分卡中,包括了24项土壤指标14项植物指标和3项动物指标及2项水环境指标,根据农民对这些指标的评分可以得到土壤的健康状况。USDA-NRCS设计的Maryland土壤质量评价手册将土壤动物、有机质颜色、根系和残留物、表土紧实性、土壤耕性、侵蚀状况、持水性、渗透性、作物长势、pH状况和保肥性分为差、中、好3个等级,对每个项目各个等级的特征有详细描述,在对这些项目等级评定的基础上得到土壤质量的定性状况^[8]。

3.2 分析性指标

对土壤质量的综合定量评价要选择土壤的各种属性的分析性指标,确定这些指标的阈值和最适值。土壤指标通常包括物理指标、化学指标和生物指标(表1),各项指标的不同取值组合决定了土壤质量的状况。在土壤质量评价中需要根据不同的土壤、不同的评价目的对这些指标进行取舍组合。

表 1 常用土壤质量分析性指标 (Singer & Ewing)^[9]

土壤质量物理指标	土壤质量化学指标	土壤质量生物指标
通气性	盐基饱和度 (BS%)	有机碳
团聚稳定性	阳离子交换量 (CEC)	生物量
容重	污染物有效性	C 和 N
粘土矿物学性质	污染物浓度	总生物量
颜色	污染物活动性	细菌
湿度 (干、润、湿)	污染物存在状态	真菌
障碍层深度	交换性钠百分率	潜在可矿化 N
导水率	(ESP)	土壤呼吸
氧扩散率	养分循环速率	酶
粒径分布	pH	脱氢酶
渗透阻力	植物养分有效性	磷酸酶
孔隙连通性	植物养分含量	硫酸酯酶
孔径分布	钠交换比 (SAR)	生物碳/总有机碳
土壤强度		呼吸/生物量
土壤耕性		微生物群落指纹
结构体类型		培养基利用率
温度		脂肪酸分析
总孔隙度		氨基酸分析
持水性		

3.2.1 物理指标 土壤物理状况对作物生长和环境质量有直接或间接的影响。例如土壤团聚性会影响到土壤侵蚀,水分运动和植物根系生长。土壤孔隙提供了空气交换、水分运动和养分传输的通道,也直接影响着植物根系的生长。围绕着土壤中固、液、气 3 相的分配,各种土壤物理属性是相互联系和制约的,土壤团聚性好的土壤一般具有较好的土壤孔隙分布,土壤团聚体间的大孔隙和团聚体内的小孔隙相互补充,使土壤具有较好的持水性、导水性和通气性。而土壤结构差、团聚性差、容重大,则容易带来固结、结皮、滞水等问题,进而导致根系发育不良,养分传输受

限,污染物质难以降解,具有较差的土壤生产和环境质量。

3.2.2 化学指标 各种土壤养分和土壤污染物在土壤中的存在形式和浓度,直接影响作物生长以及动物与人类的健康,例如土壤 N 素不仅仅是植物养分的来源,还会造成水体和大气的污染,影响着土壤肥力和土壤环境质量。土壤的一些基本化学性质如 CEC、pH 和电导率则影响着这些养分和污染物在土壤中的转化、存在状态和有效性,CEC 是限制土壤化学物质存在状态的阈值,pH 是限制土壤生物和化学活性的阈值,电导率是限制植物和微生物活性的阈值。对土壤质量的深入认识需要土壤化学方面更进一步的知识。

3.2.3 生物指标 土壤支持不同种群的生物,从病毒到大型哺乳动物,这些生物和作物与其他系统成分相互作用。许多土壤生物可以改善土壤质量状况,但是也有一些生物如线虫,病原细菌或真菌会降低作物生产力。在表一列出的土壤生物指标中,主要考虑了土壤微生物指标,而中型和大型土壤动物也可以指示土壤质量状况,对土壤动物作为土壤质量表征的研究目前仍处在开展阶段。

3.3 标准采样和测定方法

对土壤质量指标以及指标的空间和时间变异性进行真实可靠的估计,必须有详细周密的土壤质量采样方案,需要采用标准的采样规程、样品预处理和分析方法,还要进行质量确认(QA, quality assurance)和质量控制(QC, quality control)。Dick 等^[7]描述了土壤质量研究采样和样品预处理的一般方法。Sarrantonio 等^[7]等详细介绍了土壤质量评价中田间测定土壤 pH、容重、渗透率、持水性、土壤呼吸和土壤 N 的有效采样和分析方法。

3.4 最小数据集(MDS)

Larson 和 Pierce (1991) 建议采用土壤参数的最小数据集(MDS, minimum data set)来评价土壤质量,MDS 中的各个参数必须可以在短时间测定并且是对土地利用和管理决

策有用的,参数的选择基于它们的易测定性、重现性,以及它们代表控制土壤质量的关键变量的能力。MDS以外的土壤参数可以作为扩展数据集的内容。在MDS之外,还有一些重要的土壤质量参数,它们的测定过于昂贵或者困难,这些数据可以通过土壤变换函数(PTF, pedotransfer functions)得到。PTF在土壤质量评价中将土壤的各种参数和性质互相联系,可以用来扩展MDS显示土壤质量状况的能力。Doran和Parson提出了一个基本土壤性质集(表2),满足大多数农业条件下显示土壤质量状况的需要。而现在存在的一些模拟模型可以作为土壤质量评价需要的PTF函数建立的起点^[1]。

3.5 土壤指标与土壤功能

Doran等^[1]提出了一个土壤质量方程,包含6个特定土壤质量元素: $SQ=f(SQ_{E1}, SQ_{E2}, SQ_{E3}, SQ_{E4}, SQ_{E5}, SQ_{E6})$,其中, SQ_{E1} =作物和纤维生产, SQ_{E2} =抗侵蚀能力, SQ_{E3} =地下水质量, SQ_{E4} =地表水质量, SQ_{E5} =大气质量, SQ_{E6} =食物质量。每个质量元素优势特定土壤功能因子的方程: $SQ_{En}=f(SF_1, SF_2, SF_3, SF_4, SF_5)$, SF_1 =向植物、大气和底土保持、接受和释放水的能力, SF_2 =保持、接受和释放养分和其他化学物的能力, SF_3 =促进和保持根系生长的能力, SF_4 =作为土壤生物持续栖息地的能力, SF_5 =响应管理和抵抗退化的能力。各个土壤功能因子是特定土壤指标的方程,例如: $SF_1=f(\text{渗透率, 含水量})$ 。

表2 土壤质量和健康状况参数及其与土壤质量的联系 (Doran & Parson)^[1]

土壤状况参数	与土壤功能的联系; 优先测定的基本原理
土壤物理指标	
质地	水分和化学品的保持和传输; 模型使用,土壤侵蚀和变量估计
土壤,表土和 根层深度	生产潜力和侵蚀估计; 景观和地理变异性的标准化
土壤容重和渗透性	淋溶、生产和侵蚀潜力; 基于体积的分析需要容重数值
土壤持水性 (水分特征曲线)	水分保持,传输和侵蚀; 有效水:从容重、质地和有机质计算
土壤化学指标	
土壤有机质 (总C总N)	定义土壤肥力、稳定性和侵蚀范围; 使用在过程模型和点位规范化
PH	定义生物和化学活性阈值; 对过程模型非常重要
电导率	定义植物和微生物活性阈值; 在多数过程模型中缺乏
可释放N、P、K	植物有效养分和潜在N损失; 生产力和环境质量指标
土壤生物指标	
生物量	微生物催化潜力和C、N储存; 模拟:管理对有机质影响的预警
潜在矿化N	土壤生产力和N供应潜力; 过程模型
土壤呼吸、水分 含量和温度	估计生物活性; 微生物活性测定模型

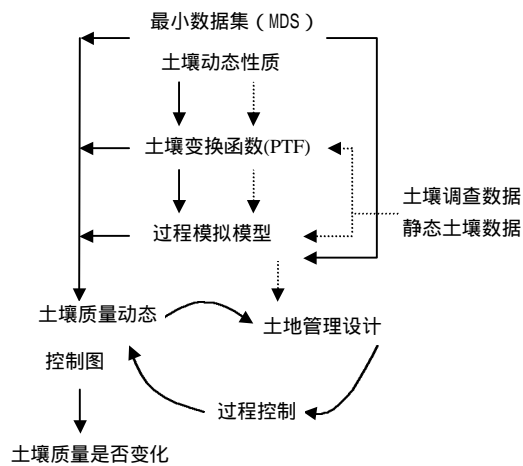


图1 土壤管理措施可持续性评价流程图(Pierce & Larson)^[1]

4 综合评价方法

4.1 定性评价方法

农民们很早就懂得区分“好的土壤”和“坏的土壤”,他们用各种词汇评价土壤在作

物生产中的表现。在中国古代,人们对土壤质量已经有相当深入的认识。《尚书·禹贡》中已经将天下九州的土壤分为 3 等 9 级,根据土壤质量等级制定赋税,这无疑是世界上最早的关于土壤质量评价的记载。此后的历代典籍中,土壤评价方面的记载不胜枚举,需要我们进一步进行总结归纳。^[10]联合国粮农组织 (FAO) 根据 Liebig 的最小因子律,提出了一整套土地评价大纲 (FAO, 1976, Framework of land evaluation), 其基本原理同样可应用于定性的土壤质量评价^[11]。

4.2 量化评价方法

随着信息技术在土壤研究中的应用,我们越来越依赖于定量的数字方法,定量方法利用各种数学方法根据量化的土壤属性计算出土壤质量的“分数”,通常最好的土壤得到最高的分数。目前还不存在标准的量化评价方法,但是在研究中已经存在一些评价体系。在评价中经常使用的数学方法包括评分法、分等定级法、模糊评判法、聚类分析法以及地统计学方法^[1, 5, 6, 9, 11]。这些方法在以往的土地评价中使用比较广泛,有些方法已经比较成熟,而有些方法仍在研究之中。Larson 和 Pierce 提出了一个描述土壤质量动态变化的方法,土壤质量 $Q=f(q_1 \cdots q_n)$, q_i 是单个土壤质量数值,土壤的动态变化 $dQ=f(q_i, r-q_i, t_0 \cdots q_n, t-q_n, t_0)$ 反应了土壤质量是进化还是退化。^[1]Doran 和 Parkin 将各个土壤质量元素相乘得到土壤质量评价^[1]。Smith 等^[6]总结了土壤质量评价的多变量克里格法 (MVIK multiple variable indicator kriging), 可以将没有数量限制的单个土壤质量指标综合成一个总体的土壤质量指标。在 GIS 技术的支持下,在建立完整的土壤质量数据库的基础上,结合土壤过程模型,采用合适的数学评价模型,可以做到对土壤质量的自动评价和动态监测。

5 讨论

土壤质量评价研究仍然只是刚刚起步,这项研究涉及土壤学的各个领域,并且关系到土地利用、农业种植措施和管理等众多方面。在土壤质量评价的各个环节,都存在大量需要解决的问题,在我们的研究中主要需要解决的有,对评价指标的时空变异性进行评估和控制,土壤指标和土壤功能之间的关系的深入认识,土壤质量综合评价的数学方法。土壤质量评价需要发展关于土壤质量的一系列的指标、分级标准、阈值,定量化和动态的评价方法与评价模型,对土壤质量的动态变化进行监测和预警。

参 考 文 献

- 1 J.W.Doran et al. (ed.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication, 1994, no.35
- 2 Karlen, D.L, Mausbach. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 1997, 61:4 ~ 10
- 3 Carter.M.R, E.G.Gregorich, etc. Concept of soil quality and their significance. In: Soil quality for crop production and ecosystem health. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherland, 1997, 124 ~ 137
- 4 Papendick.R.I, J. F. Parr, etc. Soil quality: new perspective for a sustainable agriculture. In: Proc. International Soil Conservation Organization. New Delhi, India,1994,18 ~ 24
- 5 Pennock.D.J, D.W.Anderson, etc. Landscape-scale changes in indicators of soil quality due to cultivation in Saskatchewan, Canada. Geoderma 1994,64:1 ~ 19
- 6 Smith.J.L., J.J.Halvorson, etc. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. Soil Sci.Soc.Am..J.1993, 57:743 ~ 749

(下转第 333 页)

2.4 不同施氮方法的肥料效应方程

经对棉花籽棉产量与施 N 量进行回归分析的结果,拟合出如下回归方程。

$$\text{底 肥: } Y=12.36+9.785x-2.565x^2 \quad \text{追 肥: } Y=12.36+8.980x-2.410x^2$$

$$\text{底追各半: } Y=12.36+8.880x-2.230x^2 \quad \text{式中 } Y \text{ 为籽棉产量, } X \text{ 为施 N 量}$$

对回归系数 b 进行比较,底施比追施为: $9.785/8.98=1.09$; 底施比底追各半为: $9.785/8.88=1.11$ 。这表明氮肥底施比底追施和底追各半增产效应分别高 9% 和 11%。

3 讨论

1. 旱地棉花氮肥一次底施可行性原因分析

旱地棉花氮肥一次底施比追施和底追结合增产效果显著,氮肥利用率较高,成铃指数较高。其原因主要是因为黑龙港地区棉花初花期以前少雨干旱,土壤供氮能力较低,影响棉株发育,而雨季来临后追肥,又会引起棉株徒长,造成蕾铃大量脱落。氮肥配合磷钾肥一次底施,可以先肥土,后壮苗,使棉花在花蕾期有充足的养分供应,不会造成脱肥现象,且雨季来临后养分又供应平缓,棉株生长稳健,营养生长与生殖生长协调,搭好了丰产的架子。一次底施,还省工、省时、经济、高效,至于氮素一次底施会不会造成氮的大量挥发而有氮素损失,此问题中国农业大学曹一平及河北省土肥所刘宗衡^[2]的试验表明,氮素化肥施入土中 6cm 以下基本可以免除氮的挥发损失。所以在干旱少雨的旱地棉田。氮素化肥与磷钾肥及有机肥一次底施,是一项有效的增产措施。

2. 旱地棉花氮肥一次底施的有效条件

旱地棉花氮肥一次底施的有效条件是土壤质地为轻壤、中壤、重壤,在沙漠土和砂土田块应用,由于保水保肥力差,到雨季来临会引起氮素的淋失,效果较差。

3. 旱地棉花氮肥一次底施的技术措施

旱地棉花氮肥一次底施,应有机无机肥料结合,氮肥、磷肥配施。氮肥纯氮用量掌握每次 $67\text{m}^2 10 \sim 12.5\text{kg}$,氮磷配比为 $1:0.3 \sim 0.5$ 。施用方法为:机耕地将肥料撒于地表,随即耕翻;畜耕地,把肥料撒于犁底,随即复土、耕翻后耙盖,镇压,将土压实。

参 考 文 献

- 1 Howard E. Joham. (王纓等译). 营养元素对结铃效能的影响. 见: [美] J. MCD. 斯图尔特 J. R. 莫尼. 棉花生理专题论文集. 北京:农业出版社, 1987, 124 ~ 137
- 2 刘宗衡等. 土肥与科学种田. 石家庄: 河北科技出版社, 1973, 52

(上接第 330 页)

- 7 J. W. Doran et al. (ed.) Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication, 1997, no.49
- 8 USDA-NSRC. Soil Quality Institute. Soil quality card design guide, 1999
- 9 Michael J. Singer, Stephanie Ewing. Soil quality. In: Interdisciplinary aspects of soil science, 1999
- 10 林蒲田. 中国古代土壤分类和土地利用. 北京: 学出版社, 1996
- 11 FAO. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32. FAO, Rome, Italy, 1976

曹一平, 不同氮肥施在石灰性土壤氮挥发的研究, 见: 奚振邦等, 碳酸氢铵的农化性质及田间肥效评价论文集, 上海: 化工部上海化工研究院, 1983, 45 ~ 46