

# 土壤生产力评价研究进展

高 畅, 李 玲\*, 张云霞

(河南农业大学 资源与环境学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 根据国内外的研究,总结了土壤生产力主要评价方法,分为定性和定量评价。定性评价简单易懂,主观性较强。定量评价应用较广,更为客观准确,包括单指标评价,多指标表土综合评价和多指标土体综合评价。国内外研究表明,在土壤生产力评价中应将定性评价和定量评价结合起来,完善现有的评价方法,这对于土地分等定级、土地规划和可持续利用有着重要意义。

**关键词:** 土壤生产力; 评价方法; 定量评价

**中图分类号:** S159.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2013)04-0014-05

## Current Advance on Soil Productivity Evaluation

GAO Chang, LI Ling\*, ZHANG Yun-xia

(Resource and Environment College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** According to the domestic and foreign research, the main soil productivity evaluation method is summarized. Evaluation method is divided into qualitative and quantitative evaluation. Qualitative evaluation is easy to understand, with strong subjectivity. Quantitative assessment is used widely and more objective and accurate, including single index evaluation, comprehensive index evaluation of surface soil and soil index comprehensive evaluation. Researches both at home and abroad showed that, qualitative evaluation and quantitative evaluation should be combined to consummate the current evaluation methods in the soil productivity evaluation. It is significant in land classification and grading, land planning and sustainable land use.

**Key words:** soil productivity; evaluation methods; quantitative evaluation

土壤是岩石圈表面的疏松表层,是陆生植物生活的基质,动物赖以生存的物质基础,人类耕作、劳动的对象,其与社会经济紧密联系,所以土壤生产力一直是土壤学领域的研究热点。随着工业化和城市化进程加快,以及耕地土壤资源的高强度利用,耕地面积逐年减少,土地退化严重,导致资源—环境—人口—粮食供应矛盾日益突出,人们开始认识到土壤生产力在生产发展、环境质量和工农业现代化进程中的重要作用。鉴于此,综述了土壤生产力定义及其评价方法的研究进展,分析了国内外土壤生产力各时期的研究状况,探讨了土壤生产力评价方法,该研究对于完善土

壤学、防止土壤质量退化、保障土壤健康和粮食安全等均具有重要的现实意义。

### 1 土壤生产力概念

土壤生产力是指特定地区土壤在一定管理方式下生产某种作物或一系列作物的水平,是土壤产出农产品的能力<sup>[1]</sup>,是由一系列土壤物理化学性质构成的综合体。土壤生产力取决于作物根系深度、土壤耕作层厚度、土壤有效含水量、植物养分储存、地表径流、土壤耕性和土壤有机碳等多种因素。因此,准确地评价土壤生产力,不仅可以直接指导农业生产,而且也是土地资源评价的重要内容之一。

收稿日期: 2012-12-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201209); 国家科技基础性工作专项(2008FY110600)

作者简介: 高 畅(1986-),女,河南淮阳人,硕士,主要从事土地评价方面的研究。E-mail: gcapple2012@163.com

\* 通讯作者: 李 玲(1973-),女,河南息县人,副教授,博士,主要从事土壤地理、土地资源管理等的教学与科研工作。  
E-mail: ndliling@163.com

## 2 土壤生产力评价

土壤生产力评价一直是农业专家关注的焦点之一,有关土壤生产力评价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。针对农业土壤,Huddleston<sup>[2]</sup>提出了土壤生产力评价的概念,他描绘了土壤生产力评价从早期的使用土壤调查资料定性估计到近期数学定量化探讨的发展变化。概括起来土壤生产力评价主要分为定性和定量2种方法。

### 2.1 定性评价

定性评价是通过对田间土壤的实地调查和诊断,对土壤宏观性状进行定性描述<sup>[3]</sup>。1961年,美国农业部土壤保持局正式颁布了土地潜力分类系统<sup>[4]</sup>,综合评级方法中的定性方法是把限制程度最高的某限制因素对应的潜力等级作为土地总的限制等级,成为国际上第一个较为全面和科学的土地评价工作系统。1976年,联合国粮农组织(FAO)公布的《土地评价纲要》<sup>[5]</sup>中对土地适宜性评价的步骤和方法作了详细规定,基本属定性评价。土壤质量卡片设计指南是指所有的卡片有一个得分系统,每个指标包含从差到好的一个系列或者从1到10的分值,通过对各个指标的判断进行定性的评价<sup>[6]</sup>。瑞典环境保护署(EPA)开始了一项“综合土壤分析”(ISA)研究,为田间条件下人类活动对土壤生物过程及土壤生物的影响评价提供方法。为此,该研究需要探讨综合分析数据的采集方法,以便作为描述某给定土壤状态的手段<sup>[7]</sup>。我国最早的土地分类及评价专著《管子·地员篇》根据不同的土色、性状和适宜的作物等分为5种。1958年开始,我国开展了第1次全国土壤普查,总结了鉴别、利用和改良土坡的经验,并对农作物的适宜性进行定性评价。20世纪70年代中期,我国开展了《中国1:100万土地资源图》的编制,其中的土地适宜性评价,全面系统地描述了土地资源潜力、质量、类型、特征、利用的基本状况及空间组合与分布规律,评价土地对某一利用方式的适宜性程度。1979年开始,国务院决定开展全国第2次土壤普查工作,对各个土种都有一个“生产性能描述”,建立了土壤分类数据库,描述了参比土壤剖面的生境、形态和理化性质。中国土地资源生产能力及人口承载力研究项目中的土地承载力评价、国土资源部行业标准《农用地分等规程》中所用的评价方法都涉及到土壤性状的定性描述等。

土壤生产力定性评价方法要求评价者具备相关知识和经验,评价者根据对事物的经验、知识及发展

变化规律的了解进行评价,评价结果因人而异,误差较大;单纯的定性分析容易造成研究的粗浅,对土壤生产力评价精度降低。由于这些原因,在对土壤生产力研究中,越来越依赖于数学方法中的定量评价。

### 2.2 定量评价

定量方法是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”,通常最好的土壤得分最高<sup>[7]</sup>。长期以来,土壤的生产力用最终的谷物产量来度量,但产量的变化往往受作物的品种、田间管理措施、生产者技能、使用的设备以及作物生长期间的降雨量等因素的影响,而且该法耗时、费力,无法度量土壤生产力的缺陷,因此,人们越来越关心直接用土壤特性来度量土壤生产力。定量评价可归纳为3种。

**2.2.1 单指标评价** 单指标评价是根据土壤特征,选取一个对生产力有重要影响的土壤特性指标来描述生产力水平,常用指标包括土壤厚度、土壤质地、土壤容重、土壤含盐量、各种土壤肥力要素等。美国农业部自然资源局土壤质量协会开发了一种定量方法——土壤质量田间测定工具指导<sup>[8]</sup>。Couto<sup>[9]</sup>认为,土壤pH值对养分的有效性、土壤肥力及植物生长影响很大,故选取土壤pH值描述土壤生产力;Bauer等<sup>[10]</sup>认为,有机质是土壤养分的主要来源,促进土壤结构形成,改善土壤物理性质,有利于作物生长发育,所以可以选取有机质含量描述土壤生产力。

章明奎等<sup>[11]</sup>研究了土地利用方式和土壤类型对土壤肥力质量指标的影响,结果表明,大部分土壤质量指标的量值与土壤类型、利用方式和土层深度有密切关系。项建光等<sup>[12]</sup>对上海典型新建绿地的土壤质量进行了评价,结果表明,上海典型新建绿地的土壤主要为碱性和强碱性;EC值基本达标;有机质含量达标率在60%以上,但含量偏低,土壤容量偏高;阳离子代换量总体偏低。翟琨<sup>[13]</sup>对巴东县长江两岸地区耕地土壤样品各单项指标pH值、有机质、全氮、速效磷和速效钾进行质量评价,结果表明,各单项指标中有机质江北属于轻度缺乏,江南属于肥沃;氮素半数以上为轻度缺乏;速效磷属于中度缺乏;速效钾含量明显缺乏。杨自琼等<sup>[14]</sup>选择pH值、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾,对永胜县涛源村新垦土地的土壤肥力进行综合评价。结果表明,评价区域的土壤综合肥力属于贫瘠水平,土壤呈碱性,有机质含量中等,氮、磷缺乏,钾稍缺。

选取对一区域具有代表意义的单个特性指标评价土壤生产力,该方法计算简单,便于操作,但由于

选择的评价因子少,导致信息损失量大。

2.2.2 多指标表土综合评价 多指标表土综合评价,即选取多个土壤性质指标评价土壤生产力,指标多选自表层土壤,因此主要评价的是表土生产力。Riquier 等<sup>[15]</sup>在英国牛津(柯茨伍德)地区选择土壤厚度、土壤质地和土壤的排水状况等综合评价表层土壤生产力;Doran 等<sup>[16]</sup>将土壤生产力细化为 6 个特定的土壤生产力元素进行评价。

冷疏影<sup>[17]</sup>选择土壤质地、有机质含量、有效氮、速效磷、速效钾含量等 9 个指标评价土壤生产力,根据相关文献及专家经验确定各因子对土壤生产力的贡献得分,得分越高表明对生产力贡献越大。王文琴等<sup>[18]</sup>利用河南省 14 个市县土壤特性和土壤理化性质数据,获得订正过的 PI 模型(JPI)和订正过的 CI 模型(JCI),结果表明,JCI 比 JPI 模型更适合河南省粮食核心区的土壤生产力评价。裴建文等<sup>[19]</sup>选取全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、有机质对天水市蔬菜主产区耕层土壤养分现状进行评价,并提出高效、高产施肥建议。崔云玲等<sup>[20]</sup>对河西绿洲灌区耕层土壤养分状况进行评价。姚荣江等<sup>[21]</sup>针对制约滩涂资源开发利用的障碍因素,应用模糊综合评价方法对耕层土壤养分进行了分级和定量评价,获取了区域土壤肥力状况。马建军等<sup>[22]</sup>研究了河北省农田主要类型耕层土壤中的全镍和有效态镍含量分布及其变化规律。卢铁光等<sup>[23]</sup>通过建立土壤质量变化评价模式,来计算主要耕作土壤和表层耕作层的土壤质量矩阵,利用耕作层土壤质量指数的变化来定量分析该市 50 a 以来土壤质量的变化趋势。刘占锋等<sup>[24]</sup>利用主要耕作土壤表层土的土壤质量指数的变化来定量地分析三江平原地区大面积开荒后土壤质量的变化趋势,结果表明,大面积开荒后导致土壤发生了明显的退化。

与单指标评价相比,多指标评价相对全面,但由于只考虑表层土壤,也会造成评价信息的损失。同时受人为主观影响较大,该方法是先全面选择土壤理化因子作为评价指标,然后根据专家对土壤因子和作物生长关系的经验知识确定各指标的权重,尽管可操作性强,但评价结果因评价专家经验不同,差异较大。

2.2.3 多指标土体综合评价 多指标土体综合评价是将整个土体看作是作物生长的环境,把土体分为多层,将不同深度土层赋予权重,选择土壤性质指标,综合、立体地评价土壤生产力。其中 Neill<sup>[25]</sup>在 1979 年提出的 PI 模型最为典型,该模型假定产量是根系生长的函数,从潜在有效持水量、通风性、土

壤容重、pH 值、电导率 5 个土壤特性来评价一个土壤剖面中的各个土层对根系生长的适应性<sup>[24]</sup>。Williams 等<sup>[26]</sup>用 EPIC 模型模拟土壤侵蚀状况下土壤温度、水分和养分等因子的变化,通过日生物量累积计算,可对包括玉米、大豆、高粱及小麦在内的 11 种作物的生产力的影响程度进行评价。段兴武等<sup>[27]</sup>用 SCUAF 模型是以非洲亚热带地区为背景而开发出来的模型,在温带地区是否适用还有待进一步研究。EPIC、SCUAF、NTRM 模型比较复杂,需要输入大量参数,限制了模型的推广使用,因此缺少相关的验证研究。

胡振琪<sup>[28]</sup>利用多层次模糊综合评判法对 Neill 提出的 PI 模型先后进行改进,建立了土壤生产力定量评价的数学模型——模糊 PI 模型,并成功地将其应用于泥浆泵复垦土壤生产力的评价之中,得出了与种植试验结果相一致的评价结果。杜海波等<sup>[29]</sup>在兼顾 FAO 提出的 PI 和 Neill 的 PI 优点的基础上,对 2 种 PI 进行了修正并融合,得到了评估土壤生产力的土壤生产力指数模型(SPI),从而为德惠市土壤生产力评价提供了科学依据。陆海波等<sup>[30]</sup>选取 pH 值、有机质、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾等肥力因子,再将各属性值分级标准化,采用修正的内梅罗公式对湖北省恩施州魔芋种植基地土壤生产力质量进行评价。解迎革等<sup>[31]</sup>研究了盆栽条件下 4 个非表层土壤剖面层次土壤在 3 种肥料处理下对京绿 2 号小白菜根系发育和养分水分吸收的影响,并评价了其生长障碍因子。索东让等<sup>[32]</sup>探讨不同施肥处理条件下的土壤生产力演变和肥料效应变化。贾锐鱼等<sup>[33]</sup>以淳化县为例证明,最初由 Neill 提出 PI 模型,后经 Kiniry 及 Pierce 等修正和完善,可用来评价侵蚀对土壤生产力的长期影响。该模型简单直观、求解方便、实用性强,尤其适合资料相对短缺的国家和地区。顾和和等<sup>[34]</sup>利用模糊 PI 模型对前述的泥浆泵土地、推土机复垦土地以及对照农田的土壤生产力进行评价,揭示出泥浆泵土壤生产力低下的主要原因,并针对性提出了泥浆泵土壤重构的主要措施。周忠浩等<sup>[35]</sup>用表土移动法、田间对比法和模型法 3 种方法研究了土壤侵蚀对土壤生产力的影响。俞晓艳等<sup>[36]</sup>采用内梅罗综合指数法对林带土壤状况进行综合评价分析,结果表明,首府市带林土壤综合肥力为一般,需要进行及时改良才能保证所栽植树木生长良好。刘青柏等<sup>[37]</sup>应用 MPI 模型(复垦土壤生产力指数的修正模型)对阜新矿区矸石山复垦土地生产力进行了评价,结果表明,MPI 模型在评价矸石山土壤复垦质量时,考虑了影响土壤

生产力的因子间相关性和时空变异性,适用于砭石山复垦土壤生产力质量评价。段兴武等<sup>[27]</sup>在系统介绍 PI 模型的基础上,比较分析了表土评价法(CI)、原 PI 模型以及根据研究区土壤特性订正过的 PI 模型(BPI)对土壤生产力的评价效果。总体而言,PI 模型将一定厚度的土体作为对象综合评价土壤生产力,效果明显优于表土评价法,但在具体地区应用时,应根据当地土壤生产力影响因子的重要性,选择适当指标进行修订。段兴武等<sup>[38]</sup>探讨在东北黑土区简单实用的土壤生产力评价方法。基于 PI 模型,根据研究区土壤特性选择 8 项土壤指标,进行了聚类和相关分析,得到修订参数的研究区的生产力指数模型 MPI,最后对利用实地调查获得的正常年景玉米单产进行了验证。孙振宁等<sup>[39]</sup>认为土地生产力区间差异主要由气候因素造成,而区内差异主要是由土壤因素造成。该模型的不足之处就在于未考虑不同耕地类型区之间不同的气候因素,这一点有待于继续探讨。但是对于耕地类型区内部来说,PI 模型不失为一个比较好的土壤生产力评价模型。叶立新等<sup>[40]</sup>从土壤肥力评价指标体系出发,利用模糊数学和相关分析原理,对浙江凤阳山自然保护区不同群落类型土壤肥力质量进行综合评价。结果表明,在土壤养分蓄积过程中,气候因子特别是温度和水分起着主要作用。

在多指标表土综合评价的基础上,考虑土体不同层次对作物生长的影响,将剖面因子纳入评价体系,更为科学准确,求解方便,实用性强,应用效果好。但操作起来往往有一定困难,尤其是有些关联因子难以量化,影响评价结果的准确度。评价需要大量的安全数据,有关数据的不完善,也使得评价结果难以得到有效应用和检验。

### 3 讨论与展望

土壤生产力评价研究已成为当前国内外学者、土壤学和环境科学界共同关注的热点课题之一<sup>[40]</sup>。定性和定量评价方法日趋完善和发展,其中定量评价由选取单指标到选取表土中的多指标,最后将剖面因子纳入评价体系,不仅考虑了土壤特性的权重,还考虑到土壤层的权重,使评价结果更为科学准确。

我国学者对土壤生产力评价研究起步较晚,还有很多地方需要改进和完善。例如我国的土壤生产力评价多以土壤的自然属性为主,并未与影响土壤生产力的社会经济属性结合起来,只有将其有机结合才能使评价结果更为科学。土壤生产力评价模型的建立,应考虑借助先进的统计软件,并与 GPS、

GIS 结合,使模型应用更为广泛方便。土壤生产力评价由最初的定性评价逐渐向定量评价发展,但现在作为主要发展趋势的定量方法,其结果是否符合实际,还需要进一步验证。

### 参考文献:

- [1] 全国科学技术名词委员会. 土壤学名词[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 郑立臣, 宇万太, 马强, 等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 156-161.
- [3] 李天杰, 赵焱, 张科利, 等. 土壤地理学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] Klingebiel A A, Montgomery P H. Agriculture handbook[Z]. US: Department of Agriculture, Soil Conservation Series, 1962.
- [5] FAO. A Framework for land evaluation [M]. Rome: Soil Bulletin, 1976.
- [6] Craig A D, Arlene J T. Soil quality field tools: Experiences of USDA-NRCS soil quality institute[J]. Agron J, 2002, 94: 33-38.
- [7] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价[J]. 应用生态学报, 2003, 14: 131-134.
- [8] 王博文, 陈立新. 土壤质量评价方法述评[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 120-126.
- [9] Couto W. Soil pH and plant productivity[M]//CRC handbook of agricultural productivity Vol. 1 plant productivity. Boca Raton: CRC press Inc, 1982: 71-84.
- [10] Bauer A, Black A L. Quantification of soil organic matter content on soil productivity [J]. Soil Sci Soc Am J, 1994, 58: 185-193.
- [11] 章明奎, 徐建民. 利用方式和土壤类型对土壤肥力质量指标的影响[J]. 浙江史学学报: 农业与生命科学版, 2002, 28(3): 277-282.
- [12] 项建光, 方海兰, 杨意. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. 土壤, 2004, 36(4): 424-429.
- [13] 翟琨. 巴东长江两岸旱地土壤质量评价[J]. 广东农业科学, 2010, 37(4): 230-231.
- [14] 杨自琼, 毛昆明, 肖昌泰. 永胜县涛源村新垦土地土壤肥力评价[J]. 现代农业科技, 2012(6): 282-283.
- [15] Riquier J, Cornet J P, Bramao D L. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity [M]. Rome: FAO, Land and Water Development division, 1968.
- [16] Doran J W, Parin T B. Defining soil quality for a sustainable environment [J]. Soil Science Society of America, 1994, 5: 3-21.
- [17] 冷疏影. 地理信息系统支持下的中国农业生产潜力研究[J]. 自然资源报, 1992, 1(7): 71-79.
- [18] 王文琴, 王媛. 河南省土壤生产力表土评价研究[J/B]. 2011-11-25. 中国科技论文在线 1-13. <http://www.docin.com/p-378518811.html>.

- 

sites in *Caenorhabditis elegans* [J]. Nat Struct Mol Biol, 2010, 17(2):173-179.

[25] Chi S W, Zang J B, Mele A, *et al.* Argonaute HITS-CLIP decodes microRNA-mRNA interaction maps [J]. Nature, 2009, 460:479-486.

[26] Hafner M, andthaler M L, Burger L, *et al.* Transcriptome-wide identification of RNA-binding protein and microRNA target sites by PAR-CLIP [J]. Cell, 2010, 141(1):129-141.

[27] Orom U A, Lund A H. Isolation of microRNA targets using biotinylated synthetic microRNAs [J]. Methods, 2007, 43(2):162-165.

[28] Yang J H, Li J H, Shao P. StarBase: a database for exploring microRNA-mRNA interaction maps from Argonaute CLIP-Seq and Degradome-Seq data [J]. Nucleic Acids Res, 2011, 39:202-209.