

引用格式:裴小龙,韩小龙,钱建利,等.自然资源综合观测视角下的土壤肥力评价指标[J].资源科学,2020,42(10):1953-1964.  
[Pei X L, Han X L, Qian J L, et al. Soil fertility assessment indicators from the perspective of natural resources comprehensive observation[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1953-1964.] DOI: 10.18402/resci.2020.10.12

# 自然资源综合观测视角下的土壤肥力评价指标

裴小龙<sup>1</sup>,韩小龙<sup>2</sup>,钱建利<sup>3</sup>,陈文<sup>4</sup>,秦天<sup>1</sup>,李翱<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心,廊坊 065000;2. 中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心,西宁 810000;3. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心,西安 710100;4. 中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心,长沙 410600)

**摘要:**土壤肥力是土壤的基本属性和质的特征,其评价指标体系的建立是实现自然资源综合观测和统一管理的重要支撑,然而,目前仍然没有建立一个统一的标准和指标体系。本文基于文献计量的方法,对CNKI库中相关文献进行统计分析,总结了国内学者对土壤肥力质量评价所选用的主要指标,并分别从土壤化学、土壤物理和土壤生物学3个不同性质方面进行探讨。结果表明,有机质、全氮和速效钾等是土壤化学性状的重要指标,容重、土壤含水率和质地等是土壤物理性状的重要指标,脲酶、转化酶和代谢熵等是土壤生物学性状的重要指标。在此基础上,以全国自然资源综合观测和统一管理的需求为导向,遵循综合性、稳定性、独立性和获取性的指标选用原则,提出了土壤肥力评价指标体系的初步构建方案,旨在为开展土壤资源长期定位观测和质量评价提供科学依据。

**关键词:**自然资源综合观测;土壤质量;土壤肥力;评价指标;土壤化学;土壤物理;土壤生物学

DOI :10.18402/resci.2020.10.12

## 1 引言

土壤是人类赖以生存、生产和发展最基本、最广泛、最重要的自然资源,是农业发展的物质基础。但随着中国经济社会的不断发展和城镇化建设的不断深入,人口-资源-环境三者之间的矛盾也愈发凸显<sup>[1,2]</sup>,土壤资源受到了越来越严重的挑战<sup>[3-6]</sup>。尤其是近年来,由于管理不科学、施肥不合理以及土壤侵蚀等人为因素和自然原因,造成土壤肥力下降和失衡等一些重要问题,这已成为制约农业生产质量和土壤资源可持续利用的最大障碍。2019年国务院办公厅印发《关于切实加强高标准农田建设提升国家粮食安全保障能力的意见》(以下简称《意见》),提出到2022年,建成10亿亩高标准农田的目标任务。而高标准农田的一个重要依据就是对土

壤肥力质量进行评价。土壤肥力作为土壤资源生产力的本质核心,体现了土壤提供植物养分和生产生物物质的能力,是保障高质量农田,提高粮食生产的根本<sup>[7-11]</sup>。摸清土壤肥力水平的本底并开展长期观测,是提高土壤肥力和实现土壤资源可持续利用的关键。

2019年自然资源部办公厅《关于做好自然资源要素综合观测工作的函》中指出,为解决自然资源变化规律、预判发展趋势的基础数据支撑能力不足问题,建立自然资源要素综合观测工程。基于自然资源要素综合观测,服务于统一管理的重大需求,本文利用文献计量的研究方法,分析现有土壤肥力指标的特点与问题,在综合性、独立性、可获取性等原则基础上,建立统一的土壤肥力评价指标体系对

收稿日期:2020-06-04 修订日期:2020-08-28

基金项目:全国自然资源要素综合观测体系规划与部署项目(DD20208063);黑河流域自然资源要素综合观测试点项目(DD20208065);京津冀廊坊地区生态修复支撑调查项目(DD20208073)。

作者简介:裴小龙,男,甘肃天水人,硕士,主要从事自然资源综合观测、生态修复的工作。E-mail: 457934728@qq.com

通讯作者:钱建利,男,宁夏固原人,工程师,研究方向为环境影响评价、自然资源综合观测。E-mail: qianjianli2009@sohu.com

土壤肥力水平变化规律和发展趋势进行探究,为土壤资源的可持续利用和综合管理提供理论基础和科技支撑。

## 2 土壤肥力评价指标研究概况

对于土壤肥力的评价及等级划分研究,比如“好土”与“坏土”之分,最好用数值量化的方法进行综合评价,而其中的关键就是评价指标选取方面的研究。在国外,很多学者做了大量的研究工作<sup>[12-14]</sup>,一些国际组织和机构也开展了相应的研究项目,如世界银行的LQIs(Land Quality Indicators)项目,联合国粮食及农业组织(FAO)的LQIs项目和加拿大的土壤健康项目(The Health of Our Soil)等<sup>[15-17]</sup>,上述项目均侧重于土地质量评价研究,而对土壤肥力方面未重点考虑。在国内,1999年10月我国土壤学界的第一个“973”项目——“土壤质量演变规律与持续利用”项目获准并启动,历时4年多研究,建立了中国红壤、水稻土、潮土和黑土四大类重要土壤的肥力质量评价指标的最小数据集<sup>[18,19]</sup>,但是建立的评价指标体系主要是基于土壤肥力的理化性质,对于土壤生物学性质未予考虑,而是将其归到“土壤健康质量”之中了。根据土壤质量的定义,土壤肥力是通过土壤物理、化学和生物学的综合性质来表达<sup>[20]</sup>。在土壤形成和肥力发展过程中,土壤微生物起着重要作用<sup>[8]</sup>。土壤通过微生物作用形成的腐殖质使土壤性质发生改变,并提高土壤肥力,土壤微生物可直接参与土壤中的物质转化,植物所需要的无机养分的供应,使土壤中的有机质矿化,释放养分来不断补充。微生物生命活动中产生的生长激素和维生素类物质,也可直接影响植物生长。因此,在土壤肥力评价中应充分考虑土壤微生物的因素。很多研究者<sup>[20-24]</sup>也一致认为土壤肥力应该从土壤化学、土壤物理和土壤生物学<sup>[25-28]</sup>3个方面综合评价。

总的来说,我国在土壤肥力方面研究较多,但仍没有建立统一的标准和指标体系<sup>[29-31]</sup>。主要原因有:首先,我国地域广阔,土壤地带的差异性比较明显;其次,土壤肥力水平在时间尺度也有明显变化,很难用同一标准进行比较;最后,研究者出于研究目的和技术手段的考虑,在指标的选用上往往不

同。进入新时代,“藏粮于地”是确保粮食安全的重要路径,既要坚守耕地面积红线不动摇,又要落实耕地产能提升不松懈。而耕地产能的关键之一在于培育土壤肥力,构建一套统一的土壤肥力评价指标体系,以支撑土壤资源的科学管理。

## 3 土壤肥力评价指标体系构建

基于文献计量的研究方法,在CNKI数据库采用高级检索方式,以“土壤肥力评价”或“土壤质量评价”为篇名进行精确检索,并以“指标”或“评价指标”进行精确二次检索,检索时间跨度为1986—2020年,共检索到文献201篇。剔除不符合条件的40篇,以其余161篇文献为基础,从而构建土壤肥力评价指标体系。

### 3.1 指标选取

土壤肥力评价的关键是指标的选取,而选取原则最本质的一点,就是所选指标要能够综合反映土壤化学、物理和生物学的性状<sup>[26-28]</sup>。本研究参考国内专家对土壤肥力的研究成果,并结合文献计量的数据分析,以全国自然资源综合观测的需求为导向,提出土壤肥力评价指标选取应该基于以下原则:①综合性。评价指标的选取应包括土壤化学、物理和生物学方面的综合性质;②稳定性。选择稳定性高的指标以使评价结果相对稳定,并作为肥力指标选取的重要依据;③独立性。选择非相关性和差异性较大的指标,以保持土壤肥力评价中的独立性;④获取性。选用的指标一定要在现有技术手段条件下可观测、可获取和可度量,以便在土壤肥力研究中更好进行数据运用和数值化评价。

#### 3.1.1 化学指标的选取

土壤的化学性质是土壤肥力的重要表征,不仅在土壤肥力的养分因素方面起着重要作用,而且对于土壤肥力的环境因素也有较大的影响。在161篇文献中,有157篇都选用了土壤化学指标,选用率为97.5%,可见土壤化学指标在土壤质量评价中的重要性土壤化学指标选用率见表1。其中:①有机质的选用率最高,为89.4%,土壤中有机质是指各种形态存在于土壤中的所有含碳的有机物质,是土壤的重要组成部分,土壤肥力直接或间接地与有机质的含量或组成有关,可选为土壤肥力的重要评价指标

2020年10月

之一<sup>[34]</sup>。②土壤养分主要指由土壤所提供的植物生活所必需的营养元素,是土壤肥力的重要物质基础,主要有土壤大量元素(氮、磷和钾)、土壤中量元素(钙、镁和硫)和土壤微量元素(铁、铜、锌、锰、硼、钼等)。土壤大量元素的指标,全氮选用率为77.0%,速效钾为77.0%,全磷为59.6%,速效磷为55.3%,碱解氮为54.7%,全钾为48.4%,速效氮为19.9%和缓效钾为8.7%。陈吉等<sup>[35]</sup>就选取了全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效氮、速效磷和速效钾等化学指标,对土壤质量状况进行评价。土壤微量元素的含量和形态常能反映出成土母质的特点<sup>[19]</sup>。在指标选用上,有效铁为11.2%,有效铜为11.2%,有效锌为11.2%,有效锰为8.1%,有效硼为5.0%,以及有效

钼为1.9%。土壤中的微量元素含量尽管较低,但却是生物正常生长所不可缺少的元素,是土壤肥力的重要影响因子<sup>[18]</sup>。中量元素的选用率,有效钙为5.6%,有效镁为5.0%,有效硫为1.2%,其选用率普遍较低<sup>[36]</sup>,但它们却是植物和微生物所必需的元素。因此,在对土壤肥力进行评价时,包括土壤大量元素、微量元素和中量元素的指标都应重点考虑。③土壤酸碱度(pH)是土壤形成过程综合因子作用的结果,是土壤很多化学性质特别是盐基状况的综合反映,有117篇文献选用了该指标,选用率为72.7%。土壤酸碱度可影响土壤生物学化学性质及营养物质的有效性、作物对营养元素的吸收、生长发育等,在质量评价中占重要的地位<sup>[20]</sup>。④有41篇

表1 土壤化学指标选用率

Table 1 Selection rate of soil chemical indicators

化学指标	定义	文献数量	选用率/%
有机质	指各种存在于土壤中的所有含碳的有机物质	144	89.4
全氮	土壤、肥料或植物中氮素的总量	124	77.0
速效钾	土壤中易被植物吸收利用的钾素	124	77.0
pH	土壤溶液中氢离子浓度的负对数	117	72.7
全磷	土壤、肥料或植物中磷素的总量	96	59.6
速效磷	土壤中易被植物吸收利用的磷素	89	55.3
碱解氮	用碱提取法(包括碱性高锰酸钾法)所测得的土壤中可被植物吸收的氮量	88	54.7
全钾	土壤、肥料或植物中钾素的总量	78	48.4
阳离子交换量	土壤溶液在一定的pH值时,土壤能吸附或代换周围溶液中的阳离子的厘摩尔数,通常以每kg干土所含阳离子的厘摩尔数表示	41	25.5
速效氮	土壤中易被植物根系吸收利用的氮素	32	19.9
有机碳	有机质中的碳素含量	18	11.2
有效铁	能被植物吸收利用的铁元素	18	11.2
有效铜	能被植物吸收利用的铜元素	18	11.2
有效锌	能被植物吸收利用的锌元素	18	11.2
电导率	是土壤中电荷流动难易程度的参数,可反映土壤中的盐分和质地情况	16	9.9
含盐量	土壤中可溶盐的总量,以每kg干土中含有可溶盐的克数表示	15	9.3
缓效钾	被2:1型层状黏土矿物所固定的钾离子以及黑云母和部分水云母中的钾	14	8.7
有效锰	能被植物吸收利用的锰元素	13	8.1
有效钙	能被植物吸收利用的钙元素	9	5.6
有效镁	能被植物吸收利用的镁元素	8	5.0
有效硼	能被植物吸收利用的硼元素	8	5.0
碳酸钙	一般使用在酸性土壤中用于改良土壤,主要是中和酸碱度,并提高养分有效性	7	4.3
有效钼	能被植物吸收利用的钼元素	3	1.9
有效硫	能被植物吸收利用的硫元素	2	1.2
氧化还原电位	土壤中的氧化态物质和还原态物质在氧化还原电极上达到平衡时的电极电位	2	1.2
盐基饱和度	土壤吸附的交换性盐基离子占交换性阳离子总量的百分率	1	0.6

注:文献数量和选用率都是以161篇研究文献为基准(下同)。定义主要参考文献[32,33]。



文献选用了阳离子交换量,选用率为25.5%,阳离子交换量不仅对土壤的理化性质和土壤微生物的生态环境有深刻的影响,而且在很大程度上决定了植物的养分状况<sup>[18,32]</sup>。⑤土壤电导率和含盐量的选用文献数目也较多,选用率分别为9.9%和9.3%。土壤电导率反映了一定水分条件下土壤盐分的实际状况,一般可通过测量土壤电导率间接反映土壤含盐量,对植物和微生物活性的影响很大。

基于上述分析,土壤化学指标可梳理归纳为:有机质,土壤大量元素(全氮、碱解氮、速效氮、全磷、有效磷、速效磷、全钾、有效钾和速效钾等),土壤中量元素(有效钙、镁、硫),土壤微量元素(有效铁、锰、铜、锌、硼、钼),土壤盐分特性(pH、电导率、含盐量等),土壤氧化还原性(氧化还原电位等)以及其他指标。在指标选用上,主要包括有机质、全氮和全磷等19个化学指标(表2)。

### 3.1.2 物理指标的选取

土壤的物理性质是反映土壤质量的属性之一,主要包括土壤的质地特性、持水特性和团聚性等方面,其性状的差异反映土壤肥力的优劣(表3)。

通过对161篇文献分析发现,有120篇都选用了土壤物理指标,选用率为74.5%。①在物理指标选用上,容重的选用率最高,为69.2%。容重的数值大小受土壤质地、结构和有机质含量等因素的影响,同样的表层土壤,随着有机质含量增加及结构性改善,容重值相应减少,被认为是表征土壤质量的一个重要参数<sup>[41]</sup>。②在土壤持水特征上,指标包括土壤含水率、田间持水量、毛管持水量和饱和持水量,选用率分别为36.7%、13.3%、4.2%和0.8%。土壤含水率反映土壤中的水分情况,其大小直接影响着土壤的黏着性,进而影响土壤的耕性。田间持水量可反映土壤的湿润程度,是土壤持有植物可利

表2 土壤肥力评价化学指标<sup>[37-40]</sup>

Table 2 The chemical indicators of soil fertility assessment<sup>[37-40]</sup>

编号	类属	化学指标	英文名称	选用理由	
H1	有机质	有机质	Organic matter	它含有植物生长所需要的各种营养元素,也是土壤微生物活动的能源,具有保水、保肥和缓冲以及改善土壤物理性质的作用	
H2	大量元素	全氮	Total N	反映了土壤氮素的总储量,可衡量土壤氮素供应状况	
H3		全磷	Total P	包括速效磷和迟效磷,是衡量土壤磷素供应状况的较好指标	
H4		全钾	Total K	反映了土壤钾素的潜在供应能力	
H5		碱解氮	Alkali-hydrolyzable N	反映土壤氮素供应状况,作为供氮水平的参考指标	
H6	中量元素	速效磷	Available P	作为合理施用磷肥的重要依据,在土壤诊断和施肥方面具有较大意义	
H7		速效钾	Available K	作为合理施用钾肥的重要依据,是土壤钾素的现实供应指标	
H8		有效钙	Available Ca	对细胞壁的形成和植物根系、根毛的发育具有特别重要作用,植物体内的钙还可以起缓冲作用	
H9		有效镁	Available Mg	镁是叶绿素的成分,它是许多种酶的活化剂,促进植物对磷的吸收	
H10		有效硫	Available S	硫是蛋白质的成分,在植物呼吸中起重要作用,对植物的生根发育有重要的影响	
H11		微量元素	有效铁	Available Fe	参与叶绿素的合成,并参与植物体内的氧化-还原过程
H12			有效锰	Available Mn	参与蛋白质与无机酸的代谢、光合作用中CO <sub>2</sub> 的同化、碳水化合物的分解等
H13			有效铜	Available Cu	是酶的成分,为呼吸作用的触酶,参与叶绿素的合成以及糖类与蛋白质的代谢
H14			有效锌	Available Zn	参与生长素的形成,对蛋白质的合成起催化作用,促进种子的成熟
H15			有效硼	Available B	参与植物蛋白质的合成、氮素与糖类的代谢,并对根系的发育及果实、种子的形成有影响
H16	盐分特性	有效钼	Available Mo	植物依赖钼进行硝酸还原,共生性生物固氮与蛋白质的合成也不能缺少钼	
H17		酸碱度	Potential of Hydrogen	影响土壤微生物的活性,从而对土壤养分的释放、固定和迁移起重要作用,是生物和化学活性的阈值	
H18		电导率	Electric conductivity	可反映土壤中的盐分、水分和质地情况	
H19	养分保持	阳离子交换量	Cation exchange capacity	代表了土壤可能保持的养分数量,是保持土壤养分的综合指标	

表3 土壤物理指标选用率

Table 3 Selection rate of soil physical indicators

物理指标	定义	文献数量	选用率/%
容重	单位容积原状土壤干土的质量	83	69.2
土壤含水率	土壤中水分的重量与土壤固相物质重量的比值	44	36.7
粘粒含量	单位土壤重量中粒径小于2 μm的土壤颗粒所占百分比	40	33.3
总孔隙度	土壤中孔隙容积所占固相土粒容积的百分比	31	25.8
土壤厚度	土壤自地表向下适宜作物根系生长的厚度	27	22.5
土壤质地	土壤中各粒级占土壤重量的百分比组合	24	20.0
砂粒含量	单位土壤重量中粒径在0.05~2.00 mm的土壤颗粒所占百分比	20	16.7
田间持水量	指降雨或灌溉后,多余的重力水已经排除,渗透水流已降至很低或基本停止时土壤所吸持的水量	16	13.3
毛管孔隙度	单位容积内具有毛细管作用的孔隙所占的百分比	15	12.5
粉粒含量	单位土壤重量中粒径在0.002~0.050 mm的土壤颗粒所占百分比	13	10.8
物理性粘粒	直径小于0.01 mm的土壤颗粒	10	8.3
非毛管孔隙度	非毛管孔隙体积占土壤总体积的百分数,在数值上指土壤总孔隙度与毛管孔隙度的差值	9	7.5
水稳性团聚体	抗水力分散的土壤团聚体	9	7.5
微团聚体	小于0.25 mm的土壤团聚状结构	7	5.8
土壤结构	土壤中不同颗粒的排列和组合形式	7	5.8
饱和导水率	土壤被水饱和时,单位水势梯度下、单位时间内通过单位面积的水量	6	5.0
坡度	地表单元陡缓的程度	5	4.2
地下水埋深	潜水面距地面的距离	5	4.2
障碍层厚度	土壤中障碍层的厚度大小	3	2.5
比重	单位体积干土的重量与同体积水的重量的比值	3	2.5
大团聚体	直径大于0.25 mm的土壤团聚状结构	3	2.5
土壤抗剪强度	土体抵抗剪切破坏的极限强度	3	2.5
土壤贯入阻力	探头贯入土层中所受到的阻力	3	2.5
土壤温度	指地面以下土壤中的温度	2	1.7
团聚体平均质量直径	一定粒级团聚体的重量百分比乘以这一粒级的平均直径,并对乘积求和	2	1.7
石砾含量	单位土壤重量中粒径大于2.0 mm的土壤颗粒所占百分比	2	1.7
毛管持水量	土壤中所能保持的毛管上升水的最大数量	2	1.7
地貌类型	地貌形态成因类型	1	0.8
坡向	坡面法线在水平面上的投影的方向	1	0.8
土壤坚实度	指土粒排列的密实程度	1	0.8
团粒结构	若干土壤单粒粘结在一起形成团聚体的一种土壤结构	1	0.8
饱和持水量	土壤孔隙全部充满水分时的最大含水量	1	0.8

注:定义主要参考文献[32,33]。

用的最大水量,同时也是土壤满足植物生长的最佳通气条件<sup>[42]</sup>;毛管持水量和饱和持水量可用土壤含水率体现。③在土壤质地特征上,指标包括粘粒含量、土壤质地、砂粒含量、粉粒含量、物理性粘粒和石砾含量,选用率分别是33.3%、20.0%、16.7%、10.8%、8.3%和1.7%。土壤质地是根据机械组成划分的土壤类型,可分为粘土、轻壤土、中壤土、重壤土和砂土等,不同的质地对土壤的理化性质有着最

直接的影响,反映了土壤的耕作性能及保肥的能力<sup>[43]</sup>,相对其他指标,质地更具全面性和综合性,反映土壤内在的肥力特征,因此在鉴定土壤肥力状况时,质地往往是重点考虑的指标。④在土壤孔隙特性上,指标有总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度,选用率分别为25.8%、12.5%和7.5%。毛管孔隙和非毛管孔隙是按照土壤中孔隙的大小及功能进行分类的,前者是蓄水供水的,后者则通常是通气的,

而总孔隙就是二者之和。因此,土壤的孔隙特征反映了土壤通气、通水和涵养水源的能力<sup>[44]</sup>,在指标选用时,选用其中两个即可。⑤在土壤环境条件方面,指标包括土壤厚度、坡度、地下水埋深和土壤温度等。土壤厚度是指土壤自地表向下适宜作物根系生长的厚度,是反映土壤肥力存在和植物生长的重要基础。坡度和地下水埋深都直接或间接影响着土壤的水分利用,进而影响土壤对植物的供水情况。土壤温度指地面以下土壤中的温度,其变化影响着植物和土壤微生物的生长和发育<sup>[37,45,46]</sup>。⑥在土壤结构和团聚性方面,指标包括水稳性团聚体、微团聚体、土壤结构、大团聚体、团聚体平均质量直径和团粒结构等。土壤结构根据其定义一般包含两层含义,即结构体和结构性,而团粒结构是土壤结构体的一种类型,其中,把直径大于0.25 mm的团粒结构体称为大团聚体、小于0.25 mm称为微团聚体,一般而言,微团聚体较多的土壤具有较多的有机质而肥力较好<sup>[26]</sup>。土壤团粒结构体的水稳性指结构体浸水后不易分散的性能,而这种水稳性团聚体在一定意义上更能反映土壤的结构特征,而其稳定性越强,越能使土壤较长期保持良好的孔性,发挥较高的肥力作用。团聚体平均质量直径由于操作和计算的复杂性,其选用率较低。⑦其他物理指标还有饱和导水率、障碍层厚度和比重等。在实际

应用中,这些指标因不具有代表性和普适性,不能很好地表征土壤肥力的高低,因其选用率也相对较低。

基于上述分析,土壤物理指标可梳理归纳为:土壤持水特征(土壤含水率、田间持水量、毛管持水量和饱和持水量),土壤质地特征(粘粒含量、土壤质地、砂粒含量、粉粒含量、物理性粘粒和石砾含量),土壤孔隙特性(容重、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度),土壤环境条件(土壤厚度、坡度、地下水埋深和土壤温度等),土壤结构和团聚性(水稳性团聚体、土壤结构、微团聚体、大团聚体、团聚体平均质量直径和团粒结构等)以及其他指标。在指标选用上,包括了土壤含水率、田间持水量和质地等11个物理指标,选用理由见表4。

### 3.1.3 生物学指标的选取

土壤中的生物性质可以敏感地反映土壤质量变化,是土壤肥力评价不可或缺的重要的指标<sup>[22]</sup>,它包括土壤中生长的植物、土壤动物和土壤微生物,应用最多的是土壤微生物指标,被认为是土壤肥力变化最敏感的指标<sup>[47]</sup>(表5)。

通过对161篇文献分析发现,其中62篇选用了土壤生物学指标,选用率为38.5%。①土壤酶是土壤生物学指标选用率最高的指标,土壤酶主要包括水解酶类(脲酶、蛋白酶、转化酶和酸性磷酸酶)和

表4 土壤肥力评价物理指标<sup>[35,37,38]</sup>

Table 4 The physical indicators of soil fertility assessment<sup>[35,37,38]</sup>

编号	类属	物理指标	英文名称	选取理由
W1	持水特征	土壤含水率	Soil Moisture Content	反映土壤中的水分情况,并通过影响土壤黏结性、黏着性和可塑性进而影响土壤耕性
W2		田间持水量	Field Capacity	影响土壤质地、土壤结构和有机质等,黏质土壤、结构良好或富含有机质的土壤,其田间持水量大
W3	质地特征	土壤质地	Texture	土壤质地类型决定着土壤蓄水、导水性,保肥、供肥性,保温、导温性,土壤呼吸、通气性和土壤耕性等
W4	孔隙特性	容重	Bulk Density	反映土壤结构、透气透水性能以及保水能力
W5		总孔隙度	Total Porosity	反映土壤通气、通水和保水,以及贮存土壤有机物的能力
W6		毛管孔隙度	Capillary Porosity	反映土壤保持水分的能力,水分借助毛管引力可快速被植物吸收利用,植物根毛或细菌也可进入毛管孔隙吸收或分解养分
W7	环境条件	土壤厚度	Soil Thicknes	是反映土壤肥力存在和植物生长的重要基础
W8		坡度	Slope	决定土地利用的方式选择,也影响地面水的再分配
W9		地下水埋深	Groundwater Depth	影响土壤的水分利用,地下水能通过支持毛管水的方式供应高等植物的需要
W10		土壤温度	Soil Temperature	影响着植物的生长、发育和土壤的形成
W11	结构和团聚性	水稳性团聚体	Water-Stable Aggregate	反映土壤结构特征,影响土壤中水、肥、气、热和耕作性能,若其稳定性强,可使土壤较长期保持良好孔性,发挥较高的肥力作用

表5 土壤生物学指标选用率

Table 5 Selection rate of soil biological indicators

生物学指标	定义	文献数量	选用率/%
水解酶类	酶促底物水解的酶类,主要有脲酶、蛋白酶、转化酶和酸性磷酸酶等	58	36.0
氧化还原酶类	酶促底物氧化还原作用的酶类,主要有脱氢酶和过氧化氢酶等	32	19.9
微生物量碳	指土壤微生物体所含的碳素	28	17.4
微生物量氮	指土壤微生物体所含的氮素	25	15.5
微生物群落及多样性	土壤生态系统中各种相互影响的微生物的总量及物种丰富程度和均一度	23	14.3
碳氮比	植物体内碳水化合物中的碳与氮或土壤和有机肥料中碳与氮的含量比率	11	6.8
微生物量磷	指土壤微生物体所含的磷素	6	3.7
呼吸强度	指单位时间内从单位面积土壤上扩散出来的CO <sub>2</sub> 量	6	3.7
代谢熵	基础呼吸量与微生物生物量碳的比值	5	3.1
微生物熵	微生物碳与总有机碳的比值	4	2.5
活性氮	指一系列具有高度氧化活性的自由基和硝基类化合物,主要包括氮氧化物和氨等	1	0.6
潜在可矿化氮	潜在可被矿化的氮素	1	0.6
碳磷比	植物体内的碳与磷或土壤和有机肥料中碳与磷的含量比值	1	0.6

注:定义主要参考文献[32,33]。

氧化还原酶类(脱氢酶和过氧化氢酶),水解酶的选用率为36.0%,氧化还原酶的选用率为19.9%。在土壤成分中,酶是最活跃的有机成分之一,驱动着土壤的代谢过程,土壤酶活性值的大小可较灵敏地反映土壤中生化反应的方向和强度,是重要的土壤生物学性质之一。②土壤微生物主要指微生物的生物量、微生物的群落及多样性和土壤微生物的活性特征。土壤微生物生物量一般能代表参与调控土壤能量和养分循环以及有机物质转化对应微生物的数量,主要包括微生物量碳、微生物量氮和微生物量磷,其选用率分别为17.4%、15.5%和3.7%,它们与土壤有机质含量密切相关,是一种更具敏感性的土壤质量指标。土壤微生物群落及多样性的选用率为14.3%,是指土壤生态系统中各种相互影响微生物的总量及物种丰富程度和均一度,具有景观变异性;其种群数量随着土壤深度的增加而降低,而多样性代表着微生物群落的稳定性,主要包括真菌、细菌和放线菌等,是监测土壤变化和对胁迫的反应等的重要指标。土壤微生物活性表示了土壤中整个微生物群落或其中一些特殊种群状态,在研究中,代谢熵和微生物熵能较好地作为其参数进行评价。代谢熵又称呼吸熵,是基础呼吸量与生物生物量比值,微生物熵是指微生物碳与土壤有机全碳的比值,这两个指标都可以表示微生物的活性,由

于代谢熵和微生物熵是比值,一般情况在应用中要比其他指标更加有效<sup>[41]</sup>。

基于上述分析,土壤生物学指标可梳理归纳为:土壤酶(水解酶类和氧化还原酶类),土壤微生物(微生物量碳、微生物量氮、微生物群落及多样性、微生物量磷、呼吸强度、代谢熵、微生物熵、活性氮、潜在可矿化氮等)和其他土壤生物指标。在指标选用上,包括了脲酶、酸性磷酸酶和转化酶等12个生物学指标,选用理由见表6。

### 3.2 指标体系构建

随着对自然资源实行统一管理,土壤肥力进行数值化评价已经成为了其中的重要任务,而构建合理的指标体系更是进行土壤肥力评价的技术关键。合理的指标体系既能体现土壤所处的环境状况,又能体现土壤的自然养分状况,还能体现土壤养分对植物的供应能力,单一土壤特性指标所起的作用十分有限,需要将各土壤属性集合起来作为评价指标体系。因此构建的指标体系应具有综合性和科学性,要充分综合土壤化学、土壤物理和土壤生物学的特征<sup>[31,54]</sup>。本文在前文分析的基础上,初步构建了土壤肥力评价指标体系(图1)。

## 4 结论和讨论

### 4.1 结论

土壤肥力评价指标体系构建是实现土壤资源



表6 土壤肥力评价生物指标<sup>[48-53]</sup>

Table 6 The biological indicators of soil fertility assessment<sup>[48-53]</sup>

编号	类属	生物指标	英文名称	选用理由
S1	土壤酶类	脲酶	Urease	能酶促土中尿素水解成氨,生成CO <sub>2</sub> 和NH <sub>3</sub>
S2		酸性磷酸酶	Acid phosphatase	水解磷酸基团,促进磷素吸收、转运和供植物吸收利用
S3		转化酶	Invertase	水解蔗糖,产葡萄糖和果糖
S4		过氧化氢酶	Catalase	促进过氧化氢生成O <sub>2</sub> 和H <sub>2</sub> O
S5	微生物生物量	微生物量碳	Microbial biomass C	微生物催化潜力和碳的储存,同时是植物养分的源和库
S6		微生物量氮	Microbial biomass N	微生物催化潜力和氮的储存,同时是植物养分的源和库
S7	微生物群落及多样性	真菌	Fungus	可分解土壤中糖类、纤维类、果胶和木质素等含碳物质
S8		细菌	Bacteria	分解土壤中纤维,促进土壤元素循环,并且有固氮作用
S9		放线菌	Actinomycetes	能够参与土壤物质的转化,在分解有机物质过程中,除形成简单化合物外,还产生如生长刺激物质、维生素、抗菌素等
S10	微生物活性	呼吸强度	Basal Respiration	评估生物活性
S11		代谢熵	Metabolic quotient	表示微生物量的大小或活性
S12		微生物熵	Microbial quotient	表示微生物量的大小或活性

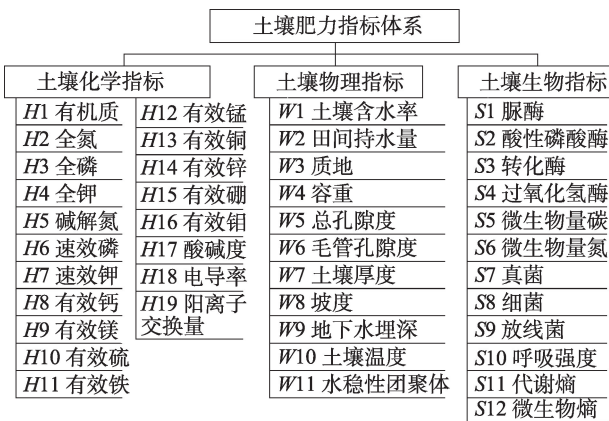


图1 土壤肥力评价指标体系

Figure 1 Assessment indicators system of soil fertility

观测、评价和管理的重要基础。本文基于文献计量的分析方法,对CNKI库中相关文献进行统计分析,总结了国内学者对土壤肥力评价所选用的主要指标,进而提出了土壤肥力评价指标体系的初步构建方案。相关结论如下:

(1)土壤的化学性质是土壤肥力的重要表征。土壤肥力评价指标体系选取了有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效硫、有效铁、有效锰、有效铜、有效锌、有效硼、有效钼、酸碱度、电导率和阳离子交换量19个土壤化学指标。

(2)土壤的物理性质是土壤质量最基础的属性,其性状的差异在一定程度上反映着土壤肥力的

优劣。土壤肥力评价指标体系选取了土壤含水率、田间持水量、土壤质地、容重、总孔隙度、毛管孔隙度、土壤厚度、坡度、地下水埋深、土壤温度和水分稳定性团聚体11个土壤物理指标。

(3)土壤中的生物性质可以敏感地反映土壤质量变化,是土壤肥力评价不可或缺的重要的指标。土壤肥力评价指标体系选取了脲酶、酸性磷酸酶、转化酶、过氧化氢酶、微生物量碳、微生物量氮、真菌、细菌、放线菌、呼吸强度、代谢熵和微生物熵12个土壤生物指标。

## 4.2 讨论

本文提出的土壤肥力评价指标体系充分考虑了土壤化学、物理和生物学的性状,在评价应用中具有综合性、全面性和普适性的特点,但针对我国土壤地带类型和土地利用变化差异较明显的特点,选取的指标应有所侧重和取舍<sup>[54,55]</sup>。

随着中国城市化的进一步发展,土壤资源数量、质量必将受到严重挑战<sup>[56,57]</sup>,要保障土壤资源的可持续利用,必须进行长期连续的定位观测,获取可靠的数据进而对土壤肥力演变趋势进行预判。建设布局合理的综合观测网络,通过大数据、物联网等的科学技术开展土壤数据获取,为土壤可持续利用提供重要的研究和管理抓手。在未来,土壤肥力的评价研究应重点把握以下几个方面:

(1)继续深入对土壤肥力评价指标、评价方法



2020年10月

及评价体系的基础研究。如指标的相关性分析,指标大多存在着较高的正、负相关性,在实际应用中,对指标相关性进行分析,以确定所选的指标具有评价中的独立性。

(2)针对土壤资源的长期定位观测、动态观测及预测预警的研究<sup>[54,58]</sup>,可依托“自然资源要素综合观测网络工程”等长期定位研究项目,同时进一步加强“天空地”立体化观测技术在土壤肥力研究中的应用。

(3)计算机及云技术的发展应用,将实现监测数据的智能化、土壤资源管理的信息化和云端大众共享的服务化,为土壤资源的精细化管理和可持续利用提供技术支撑。

### 参考文献(Reference):

- [1] 赵其国,史学正,张甘霖,等.土壤资源概论[M].北京:科学出版社,2007. [Zhao Q G, Shi X Z, Zhang G L, et al. Introduction to Soil Resources[M]. Beijing: Science Press, 2007.]
- [2] 赵其国,骆永明.论我国土壤保护宏观战略[J].中国科学院院刊,2015,30(4): 452-458. [Zhao Q G, Luo Y M. The macro strategy of soil protection in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2015, 30(4): 452-458.]
- [3] 赵方杰,谢婉滢,汪鹏.土壤与人体健康[J].土壤学报,2020,57(1): 1-11. [Zhao F J, Xie W Y, Wang P. Soil and human health[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(1): 1-11.]
- [4] 黄鸿翔.我国土壤资源现状、问题及对策[J].土壤肥料,2005(1): 3-6. [Huang H X. The present situation, problems and countermeasures of soil resources in China[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2005(1): 3-6.]
- [5] 袁大刚.《世界土壤资源状况》发布的启示[J].科技导报,2016,34(15): 11. [Yuan D G. Enlightenment from the Release of the "World's Soil Resources Report"[J]. Science & Technology Review, 2016, 34(15): 11.]
- [6] 张旭辉,邵前前,丁元君,等.从《世界土壤资源状况报告》解读全球土壤学社会责任和发展特点及对中国土壤学研究的启示[J].地球科学进展,2016,31(10): 1012-1020. [Zhang X H, Shao Q Q, Ding Y J, et al. Societal responsibility and development trends of global soil studies and the provisions for China: Lessons from the status of the "World's Soil Resources Report"[J]. Advances in Earth Science, 2016, 31(10): 1012-1020.]
- [7] Doran J W, Parkin T B. Defining and Assessing Soil Quality[A]. Dorman J W. et al. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Soil Science Society of American Publication, 1994.
- [8] 赵其国,孙波.土壤质量与持续环境: I. 土壤质量的定义及评价方法[J].土壤,1997,(3): 113-120. [Zhao Q G, Sun B. Soil quality and sustainable environment: I. The definition and evaluation methodology of soil quality[J]. Soils, 1997, (3): 113-120.]
- [9] 蔡祖聪.浅谈“十四五”土壤肥力与土壤养分循环分支学科发展战略[J].土壤学报,2020,57(5): 1128-1136. [Cai Z C. Discussion on the strategies for development of the subdiscipline of soil fertility and soil nutrient cycling for the 14th Five-Year Plan[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5): 1128-1136.]
- [10] 曹志洪. 解译土壤质量演变规律,确保土壤资源持续利用[J].世界科技研究与发展,2001,23(3): 28-32. [Cao Z H. Study on the principles of soil quality changing to promote sustainable use of soil resources[J]. World Sci-Tech R & D, 2001, 23(3): 28-32.]
- [11] 徐建明,刘杏梅.“十四五”土壤质量与粮食安全前沿趋势与发展战略[J].土壤学报,2020,57(5): 1143-1154. [Xu J M, Liu X M. Frontier trends and development strategies of soil quality and food safety in the 14th Five-Year Plan[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5): 1143-1154.]
- [12] Filip Z. International approach to assessing soil quality by ecologically related biological parameters[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 88(2): 169-174.
- [13] Karlen D L, Ditzler C A, Andrew S S. Soil quality: Why and how? [J]. Geoderma, 2003, 114(3): 145-156.
- [14] Marzaioli R, D Ascoli R, De Pascale R A, et al. Soil quality in a mediterranean area of southern Italy as related to different land use types[J]. Applied Soil Ecology, 2010, 44(3): 205-212.
- [15] Pieri C, Duma N J, Hamblin A, et al. World Bank Discussion Papers No. 315: Land Quality Indicators[R]. Washington: The World Bank, 1995.
- [16] The World Bank. Indicators of land quality and sustainable land management: An annotated bibliography[M]. Washington: The World Bank, 1998.
- [17] 冷疏影,李秀彬.土地质量指标体系国际研究的新进展[J].地理学报,1999,54(2): 177-185. [Leng S Y, Li X B. New progresses of international study on land quality indicators (LQIs)[J]. Acta Geographica Sinica, 1999, 66(2): 177-185.]
- [18] 曹志洪,周健民,徐建民,等.中国土壤质量[M].北京:科学出版社,2008. [Cao Z H, Zhou J M, Xu J M, et al. Soil Quality of China [M]. Beijing: Science Press, 2008.]
- [19] 徐建明,张甘霖,谢正苗,等.土壤质量指标与评价[M].北京:科学出版社,2010. [Xu J M, Zhang G L, Xie Z M, et al. Indicators and Assessment of Soil Quality[M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [20] 熊毅,李庆逵,龚子同,等.中国土壤[M].北京:科学出版社,1987. [Xiong Y, Li Q K, Gong Z T, et al. Soil of China[M]. Beijing: Science Press, 1987.]
- [21] 刘金山,胡承孝,孙学成,等.基于最小数据集和模糊数学法的

- 水旱轮作区土壤肥力质量评价[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1145–1150. [Liu J S, Hu C X, Sun X C, et al. Evaluation of soil fertility quality with a minimum data set and fuzzy logic in the paddy–upland rotation region of Hubei Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(5): 1145–1150.]
- [22] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境: III. 土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, 29(5): 225–234. [Sun B, Zhao Q G, Zhang T L, et al. Soil quality and sustainable environment III: Biological indicators of soil quality evaluation[J]. Soils, 1997, 29(5): 225–234.]
- [23] 邓绍欢, 曾令涛, 关强, 等. 基于最小数据集的南方地区冷浸田土壤质量评价[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1326–1333. [Deng S H, Zeng L T, Guan Q, et al. Minimum data set based soil quality assessment of waterlogged paddy field in south China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(5): 1326–1333.]
- [24] 陆晓松, 于东升, 徐志超, 等. 土壤肥力质量与施氮量对小麦氮肥利用效率的综合定量关系研究[J]. 土壤学报, 2019, 56(2): 487–494. [Lu X S, Yu D S, Xu Z C, et al. Study on comprehensive quantitative relationship of soil fertility quality and nitrogen application rate with wheat nitrogen use efficiency[J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, 56(2): 487–494.]
- [25] 葛畅, 刘慧琳, 聂超甲, 等. 土壤肥力及其影响因素的尺度效应: 以北京市平谷区为例[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 753–765. [Ge C, Liu H L, Nie C J, et al. Scale effect of soil fertility spatial variability and its influencing factors[J]. Resources Science, 2019, 41(4): 753–765.]
- [26] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区侵蚀土壤质量评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, (3): 285–293. [Xu M X, Liu G B, Zhao Y G. Quality assessment of erosion soil on hilly Loess Plateau[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, (3): 285–293.]
- [27] 刘梦云, 安韶山, 常庆瑞, 等. 宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价方法研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 41–43. [Liu M Y, An S S, Chang Q R, et al. Method of soil quality evaluation under different land use in southern Ningxia mountain area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(3): 41–43.]
- [28] 王华, 黄宇, 汪思龙, 等. 中亚热带区域几种典型生态系统土壤质量评价 II 不同生态系统对土壤质量的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1107–1111. [Wang H, Huang Y, Wang S L, et al. Soil quality assessment under several typical ecosystems in mid-subtropical region II: Effects of several typical ecosystems on soil qualities[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(3): 1107–1111.]
- [29] 骆东奇, 白洁, 谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202–205. [Luo D Q, Bai J, Xie D T. Research on evaluation norm and method of soil fertility[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(2): 202–205.]
- [30] 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. [Zheng L C, Yu W T, Ma Q, et al. Advances in the integrated evaluation of farmland fertility[J]. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 156–161.]
- [31] 颜雄, 张杨珠, 刘晶. 土壤肥力质量评价的研究进展[J]. 湖南农业科学, 2008, (5): 82–85. [Yan X, Zhang Y Z, Liu J. Research progress of soil fertility evaluation[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2008, (5): 82–85.]
- [32] 黄昌勇, 徐建明. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019. [Huang C Y, Xu J M. Soil Science[M], Beijing: China Agriculture Press, 2019.]
- [33] 全国科学技术名词审定委员会. 土壤学名词[M]. 北京: 科学出版社, 2016. [China National Committee for Terms in Sciences and Technologies. Chinese Terms in Soil Science[M]. Beijing: Science Press, 2016.]
- [34] 王建国, 杨林章, 单艳红. 模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 176–183. [Wang J G, Yang L Z, Shan Y H. Application of fuzzy mathematics to soil quality evaluation[J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(2): 176–183.]
- [35] 陈吉, 赵炳梓, 张佳宝, 等. 主成分分析方法在长期施肥土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2010, 42(3): 415–420. [Chen J, Zhao B Z, Zhang J B, et al. Application of principal component analysis in evaluation of soil quality under different long-term fertilization [J]. Soils, 2010, 42(3): 415–420.]
- [36] 刘金山, 胡承孝, 孙学成, 等. 基于最小数据集和模糊数学法的水旱轮作区土壤肥力质量评价[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1145–1150. [Liu J S, Hu C X, Sun X C, et al. Evaluation of soil fertility quality with a minimum data set and fuzzy logic in the paddy–upland rotation region of Hubei Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(5): 1145–1150.]
- [37] 李保国, 徐建明. 土壤学与生活[M]. 北京: 科学出版社, 2019. [Li B G, Xu J M. The Nature and Properties of Soils[M], Beijing: Science Press, 2019.]
- [38] Arshad M A, Coen G M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria[J]. American Journal of Alternative Agriculture., 1992, 7(1–2): 25–31.
- [39] Dick R P. A review: long-term effect of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992, 40(1–4): 25–36.
- [40] Cambell C A, Biederbeck V O, Zenter R P, et al. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1991, 71(3): 363–376.
- [41] 黄宇, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 不同人工林生态系统林地土壤质量评价[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2199–2205. [Huang Y, Wang S L, Feng Z W, et al. Soil quality assessment of forest stand in different plantation ecosystems[J]. Chinese Journal of Applied

2020年10月

- Ecology, 2004, 15(12): 2199–2205.]
- [42] 李静鹏, 徐明锋, 苏志尧, 等. 不同植被恢复类型的土壤肥力质量评价[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2297–2307. [Li J P, Xu M F, Su Z Y, et al. Soil fertility quality assessment under different vegetation restoration patterns[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2297–2307.]
- [43] 陈龙乾, 邓喀中, 徐黎华, 等. 矿区复垦土壤质量评价方法[J]. 中国矿业大学学报, 1999, (5): 449–452. [Chen L Q, Deng K Z, Xu L H, et al. Method of quantitative evaluation of quality of reclaimed soil[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1999, (5): 449–452.]
- [44] 刘畅, 邢兆凯, 刘红民, 等. 辽西低山丘陵区不同农林复合模式土壤质量评价[J]. 土壤通报, 2014, 45(5): 1049–1053. [Liu C, Xing Z K, Liu H M, et al. Soil quality evaluation of different agroforestry modes in low mountain and hilly region of Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(5): 1049–1053.]
- [45] 罗珠珠, 黄高宝, 蔡立群, 等. 黄土高原旱地土壤质量评价指标研究[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 127–137. [Luo Z Z, Huang G B, Cai L Q, et al. Assessment indicators of soil quality in rain-fed areas of the loess plateau[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(2): 127–137.]
- [46] 陈正发, 史东梅, 金慧芳, 等. 基于土壤管理评估框架的云南坡耕地耕地层土壤质量评价[J]. 农业工程学报, 2019, 35(3): 256–267. [Chen Z F, Shi D M, Jin H F, et al. Evaluation on cultivated-layer soil quality of sloping farmland in Yunnan based on soil management assessment framework (SMAF) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(3): 256–267.]
- [47] 沈宏, 徐志红, 曹志洪. 用土壤生物和养分指标表征土壤肥力的可持续性[J]. 土壤与环境, 1999, (1): 31–35. [Shen H, Xu Z H, Cao Z H. Soil biological and biochemical properties are highly sensitive to environmental stress and thus can be used to assess the sustainability of soil fertility[J]. Soil and Environmental Sciences, 1999, (1): 31–35.]
- [48] Whalley W R, Dumitru E, Dexter A R. Biological effect of soil compaction[J]. Soil and Tillage Research, 1995, 35(1–2): 53–68.
- [49] Kennedy A C, Papendic R L. Microbial characteristics of soil quality[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 50(3): 243–248.
- [50] Dalal R C. Soil microbial biomass—what do the numbers really mean?[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1998, 38(7): 649–665.
- [51] Gregorich E A, Carter M R, Angers D A, et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils[J]. Canadian Journal of Soil Science, 1994, 74(4): 367–385.
- [52] Pankhurst C E, Hawke B G, McDonald H J, et al. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1995, 35: 1015–1028.
- [53] Ruess R W, Seagle S W. Landscape patterns in soil microbial processes in the Serengeti national park[J]. Tanzania Ecology, 1994, 75(4): 892–904.
- [54] 吕晓男, 孟赐福, 麻万诸, 等. 土壤质量及其演变[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(2): 105–109. [Lv X N, Meng C F, Ma W Z, et al. Soil quality and its development[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2004, 16(2): 105–109.]
- [55] 贡璐, 张雪妮, 吕光辉, 等. 塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 120–127. [Gong L, Zhang X N, Lv G H, et al. Soil quality assessment under different land use types in typical oasis of the upper reaches of the Tarim River[J]. Resources Science, 2012, 34(1): 120–127.]
- [56] 周健民. 浅谈我国土壤质量变化与耕地资源可持续利用[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(4): 459–467. [Zhou J M. Evolution of soil quality and sustainable use of soil resources in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2015, 30(4): 459–467.]
- [57] 国土资源部, 国家统计局. 关于第二次全国土地调查主要数据成果的公报[J]. 国土资源通讯, 2014, (1): 15–17. [Ministry of Land and Resources, National Bureau of Statistics. Bulletin on the main data results of the Second National Land Survey[J]. National Land & Resources Information, 2014, (1): 15–17.]
- [58] 赵其国, 万红友. 中国土壤科学发展的理论与实践[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 1–5. [Zhao Q G, Wan H Y. Theory and practice of soil science development in China[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(1): 1–5.]



## Soil fertility assessment indicators from the perspective of natural resources comprehensive observation

PEI Xiaolong<sup>1</sup>, HAN Xiaolong<sup>2</sup>, QIAN Jianli<sup>3</sup>, CHEN Wen<sup>4</sup>, QIN Tian<sup>1</sup>, LI Xuan<sup>1</sup>

(1. Langfang Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Langfang 065000, China; 2. Xining Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Xining 810000, China; 3. Xi'an Mineral Resources Research Center of China Geological Survey, Xi'an 710100, China; 4. Changsha Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Changsha 410600, China)

**Abstract:** Soil fertility is the basic property and qualitative characteristic of soil, and the establishment of its assessment indicators system is an important support for the comprehensive observation and unified management of natural resources. Based on the bibliometric method, this paper made a statistical analysis of the relevant literature in the CNKI database, summarized the main indicators used by domestic scholars in assessing soil fertility, and discussed three different properties of soil chemistry, soil physics, and soil biology. The results showed that organic matter, total nitrogen and available kalium were important indicators of soil chemical properties, bulk density, soil moisture content and texture were important indicators of soil physical properties, urease, invertase and metabolic quotient were important indicators of soil biological properties. On this basis, guided by the requirements of natural resources comprehensive observation in China, and following the principles of comprehensive, stability, independence and accessibility, the preliminary construction scheme of the soil fertility quality assessment indicators system was proposed, aiming at providing scientific basis for long-term soil resource positioning observation and quality evaluation.

**Key words:** comprehensive observation of natural resources; soil quality; soil fertility; assessment indicators; soil chemistry; soil physics; soil biology