

# 土壤水力侵蚀对土壤质量理化指标影响的研究综述

刘 强<sup>1,2,4</sup>, 穆兴民<sup>1,3</sup>, 高 鹏<sup>1,3</sup>, 赵广举<sup>1,3</sup>,  
孙文义<sup>1,3</sup>, 张 文<sup>4</sup>, 高 源<sup>4</sup>, 杨树瑶<sup>4</sup>, 邱婷瑶<sup>4</sup>

(1.中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.西北农林科技大学 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与

旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 4.天水师范学院 资源与环境工程学院, 甘肃 天水 741000)

**摘 要:**土壤水力侵蚀对土壤理化性质的影响对控制土壤侵蚀、采取合理水土保持措施有着重要意义。该研究从土壤质量理化指标(土壤容重、土壤团聚体、土壤颗粒组成、土壤有机碳、土壤养分、阳离子交换量、土壤酸碱度)7 个方面总结了土壤水力侵蚀对土壤质量影响的研究成果,系统地研究了土壤水力侵蚀影响土壤质量理化指标的过程和机理,筛选出反映土壤水力侵蚀的土壤理化基础指标因子,并分析了这些指标因子对土壤水力侵蚀的响应状况,总结了目前土壤水力侵蚀对土壤理化性质研究中存在的问题,对未来重点研究方向进行了展望,以期为深入研究水力侵蚀与土壤理化指标间的交互作用和反馈机制提供参考,为土壤质量评价研究提供基础理论依据和研究思路。

**关键词:**土壤侵蚀; 土壤水力侵蚀; 土壤质量

中图分类号:S157.1

文献标识码:C

文章编号:1005-3409(2020)06-0386-07

## Review of Studies on the Effects of Soil Water Erosion on Physical and Chemical Properties of Soil Quality

LIU Qiang<sup>1,2,4</sup>, MU Xingmin<sup>1,3</sup>, GAO Peng<sup>1,3</sup>, ZHAO Guangju<sup>1,3</sup>, SUN Wenyi<sup>1,3</sup>,  
ZHANG Wen<sup>4</sup>, GAO Yuan<sup>4</sup>, YANG Shuyao<sup>4</sup>, QIU Tingyao<sup>4</sup>

(1.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS&MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.University of Chinese Academy of

Sciences, Beijing 100049, China; 3.State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess

Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

4.College of Resources and Environmental Engineering, Tianshui Normal University, Tianshui, Gansu 741000, China)

**Abstract:** The influence of soil hydraulic erosion on soil physical and chemical properties is of great significance to control soil erosion and take reasonable soil and water conservation measures. From seven aspects of the physical and chemical indicators of soil quality, such as soil bulk density, soil aggregate, soil grain composition, soil organic carbon, soil nutrient, cation exchange capacity, and soil pH value, the research results of soil water erosion effects on soil quality were summarized. The processes and the mechanisms of the effects of soil water erosion on physical and chemical indexes of soil quality were systematically studied. Soil physicochemical basic index factors reflecting the soil water erosion were screened. The responses of these index factors to soil water erosion conditions were analyzed. The present existing problems of the effects of soil hydraulic erosion on soil physical and chemical properties were discussed, and the future key research directions were looked forward in order to provide references for in-depth research on the interaction and feedback mechanism between hydraulic erosion and soil physical and chemical properties, and the basic theoretical basis and research ideas for soil quality evaluation.

收稿日期:2019-08-21

修回日期:2020-01-07

资助项目:中欧土壤—作物系统水资源管理创新研究平台(2017YFE0118100);国家自然科学基金(41671285);国家重点研究计划专题计划(2016YFC0501707)

第一作者:刘强(1983—),男,甘肃兰州人,讲师,博士,主要从事区域资源与环境研究。E-mail:guangmingliu1983@163.com

通信作者:穆兴民(1961—),男,陕西华阴人,博士,研究员,博士生导师,主要从事水土保持、生态水文研究。E-mail:xmmu@ms.iswc.ac.cn

**Keywords:** soil erosion; soil water erosion; soil quality

土壤水力侵蚀造成土壤退化<sup>[1]</sup>、土层变薄<sup>[2]</sup>、耕地减少<sup>[3]</sup>、土地生产力下降<sup>[4]</sup>,对人类生存和发展构成了威胁<sup>[5]</sup>,严重制约着社会、经济、生态可持续发展<sup>[6-8]</sup>。土壤之所以发生水力侵蚀是由于短期内降水较为集中<sup>[9]</sup>,造成地面组成物质被破坏、剥蚀、搬运,引起表层土壤养分流失<sup>[10]</sup>,土壤质量严重退化<sup>[11]</sup>。因此,对土壤质量的定量研究是现代土壤科学研究核心<sup>[12]</sup>,它直接关系到粮食生产和环境保护,影响到人类的生存发展<sup>[13-15]</sup>。土壤质量高不仅代表着土壤具有高生产力,而且对改善该区域周边环境具有重要意义<sup>[16-18]</sup>,相反,则会引起土壤肥力下降、土壤退化、土层厚度锐减、耕地面积减少等问题<sup>[19-21]</sup>。

土壤质量评价就是综合不同的土壤功能对土壤属性进行衡量。土壤质量评价指标是反映土壤功能程度并且能够测量的土壤各种属性指标。土壤质量评价结果会因指标的选取和研究目的而不同。到目前为止,明确界定土壤质量评价指标所包含的范围非常广泛,已有的大多数研究都集中在以土壤质量的理化指标为基础来评价土壤质量<sup>[22-24]</sup>。选取理化评价指标是开展土壤质量研究的前提和基础评价,具有一定的相关性,这些理化指标易于测量,差异性明显,是有效、敏感及可接受的指标,是全面评价土壤质量的基础性指标<sup>[25-29]</sup>。因此,综述中我们通过对已有的相关研究进行整理,选取土壤容重、土壤颗粒组成、土壤有机碳、土壤养分、阳离子交换量、土壤酸碱度和团聚体稳定性 7 个基础性理化指标,总结土壤水力侵蚀对土壤理化指标影响的研究成果,旨在为土壤质量评价研究提供基础理论依据和研究思路。

## 1 土壤质量及其评价指标

### 1.1 土壤质量

土壤质量是现代土壤学的研究核心。土壤质量这一概念是在 20 世纪 70 年代首次出现在土壤科学的文献中,但直到 20 世纪末,随着时代的发展,科学技术的进步,实际需求的多样化以及对人们土壤质量的认知正变得越来越丰富,它才成为国际土壤科学热门研究领域,但与水、空气质量的指标和标准定义相比,通过定义或建立符合土壤质量标准条件来评价或确定土壤质量是不容易的,有不少研究者认为土壤质量是一个难以定义和定量的概念。Doran<sup>[30]</sup>和 Islam<sup>[31]</sup>等认为土壤质量是土壤维持植物和动物力量,维持或改善空气和水质,以及支持人类健康和居住在自然或农业生态系统边界内的能力。刘晓冰

等<sup>[32]</sup>认为土壤质量是通过土壤性质或间接观察推断出的土壤固有特征。Arshad 等<sup>[33]</sup>认为土壤质量是土壤维持作物生存和生长的能力。张家春等<sup>[34]</sup>认为土壤质量包括土壤肥力,被用于植物的生长和发育,土壤中水分的调节和分布以及环境中有害物质降解等方面。Parr 等<sup>[35]</sup>认为土壤质量包括环境质量、食品安全质量和人类与动物健康等诸多要素,土壤质量就是土壤生产力。曹志洪<sup>[36]</sup>认为土壤质量是衡量土壤肥力、土壤环境质量和土壤健康质量的一个综合指标。我国土壤学界在实践的基础上,通过借鉴参考国外土壤质量概念,认为土壤质量是指土壤能够提供生物体所必需物质,保持土壤系统生态平衡以及对生物体健康的综合度量。

### 1.2 土壤质量评价指标

土壤质量评价指标是反映土壤功能程度并且能够测量的土壤各种属性指标。由于评价者对评价目标不同的侧重点以及土地资源利用方式的多样性,决定了评价指标和评价方法的差异。选择那些土壤质量评价指标直接影响到土壤评价的可靠性、合理性和科学性。土壤质量评价目标的差异性、土壤系统的复杂性造成土壤质量评价指标的选取和评价方法目前在国内外上尚无统一标准。在评估土壤质量差异时,利用某一个特定指标或一组指标来评价土壤质量相当困难,应将每种土壤质量评价指标设定为指标体系,所以土壤质量的评价体系应是土壤属性的集合。Smith<sup>[37]</sup>、Andrews<sup>[38]</sup>和 PazFerreiro<sup>[39]</sup>等提出将土壤水分、土壤容重、土壤质地、土壤颗粒组成等物理指标,作为土壤侵蚀和污染的评价指标。Warkentin<sup>[40]</sup>提出将土壤酶在土壤生物特性指数中的环境因子作为土壤质量评估的中心指标。Kennedy 等<sup>[41]</sup>提出土壤质量诊断指标可分为两类:一个是直接观察土壤指标的描述性指标,另一个是分析指标,包括土壤的物理、化学和生物指标。刘占锋等<sup>[42]</sup>认为通过经验模型、多指标克里格法和指数评分法,从土壤物理、化学和生物 3 个方面构建土壤质量评价指标体系。许明祥等<sup>[43]</sup>采用敏感性分析、主成分分析、判别分析等方法,选择土壤有机质、抗冲性、阳离子交换量等指标来构建土壤质量的评价指标。

土壤质量组成因子复杂,且容易受到成土母质、生物作用、气候条件、地形地貌等因素的影响。对已有研究的土壤理化指标进行整理,土壤物理指标主要包括:土壤容重、团聚体、土壤颗粒的机械组成、土壤含水量、孔隙度、田间持水量、渗透率、土壤透气性等。

土壤化学指标主要包括:有机碳、全氮、全磷、全钾、pH 值、CEC、导电率、微量元素等。通过对相关研究整理发现,土壤侵蚀对土壤质量的影响大多都集中在以理化指标来评价,因为选取理化评价指标是开展土壤质量研究的前提和基础评价,具有一定的相关性,这些理化指标易于测量,差异性明显,是有效、敏感及可接受的指标,能全面评价土壤质量的基础性指标,因此,综述中我们选取土壤容重、土壤颗粒组成、土壤有机碳、土壤养分、阳离子交换量、土壤的酸碱度和团聚体稳定性 7 个基础性理化指标,总结土壤水力侵蚀对土壤质量影响的研究成果,旨在为土壤质量评价研究提供基础理论依据和研究思路。

## 2 水力侵蚀对土壤质量的理化指标影响

### 2.1 土壤水力侵蚀对土壤容重的影响

土壤容重是决定土壤质量的重要参数之一。一般条件下,土壤容重相对较小,结构相对松散,孔隙多,能储水和保肥;反之,土壤结构紧实,孔隙少,水分渗透性差,储水和保肥性能较低。土壤发生水力侵蚀就会改变土壤孔隙分布的空间格局,减少土壤的总孔隙,造成侵蚀剖面的土壤容重随深度增加而增加。另外,较高的孔隙度也会导致土壤容重逐渐降低。郑世清等<sup>[44]</sup>采用人工体积降雨系统分析了降雨强度对土壤容重的影响和土壤侵蚀和降雨入渗之间关系,结果表明土壤容重越大,土壤侵蚀量和土壤渗入量则越少,土壤容重不仅与土壤结构和结构排列密切相关,而且还与土地利用方式密切相关。刘小勇等<sup>[45]</sup>通过在冲刷槽进行试验后发现土壤容重越大,地表越紧实,土壤的抗蚀性增强;土壤容重越小,地表越疏松,雨水渗入地表土体后,渗入深层雨水减少,使地表雨水流速不断加大,径流量增加,冲刷力增强,产沙量增加。李长宝等<sup>[46]</sup>通过对土壤渗透性的数学模拟,理论上分析土壤容重和土壤渗透变化规律,并通过径流小区试验发现土壤渗透率越低,土壤容重越大,土壤抗蚀强度也就越大。

### 2.2 土壤水力侵蚀对土壤团聚体的影响

土壤团聚体是土壤颗粒团聚形成颗粒状或团块状的结构体。土壤团聚物可以改善土壤的物理性质,是肥沃土壤的象征之一。土壤中的团聚体多,土壤中的水、肥、气、热等多种元素相对协调。土壤团聚体的稳定性影响土壤孔隙分布、孔隙数量和形状特征的组合,这也决定了土壤团聚体对外部应力的敏感性。土壤团聚体与土壤水分的移动路径、土壤颗粒的迁移方式、地表径流以及水分的渗透性也关系密切。程曼等<sup>[18]</sup>在研究地表土壤结皮形成过程中,认为土壤之

所以能够发生侵蚀,是由于土壤团聚体被分成许多小颗粒而引起的,这些小颗粒是由雨水侵蚀造成土壤表面颗粒运动而引起的土壤颗粒的分散。徐英德等<sup>[47]</sup>认为当土壤团聚体被破坏并且土壤含水量增加时,团聚体的稳定性降低,土壤被压实,土壤颗粒会从大的土壤团聚体破裂出来,从而对土壤的抗蚀性产生影响。马露洋等<sup>[48]</sup>应用粒径大于 0.25 mm 团聚体含量以及平均质量直径(MWD)2 个指标评价了黄土丘陵区不同植被恢复年限撂荒地团聚体的分布特征和不同粒径团聚体的水稳性,发现土壤雨水侵蚀主要是由于雨滴和薄层水流的运动破坏土壤团聚体造成的,提出用 MWD 对土壤雨水侵蚀和土壤结皮的敏感性进行衡量。Bryan<sup>[49]</sup>认为影响和决定土壤侵蚀最重要的土壤物理性质是土壤团聚体和团聚体的稳定性,他们通过模拟降雨条件,发现土壤团聚体的稳定性不仅决定了是否发生土壤侵蚀,还决定了地表径流和土壤侵蚀敏感性等指示性因子。土壤团聚体稳定度高不仅可以有效地防止土壤分散成易被侵蚀和搬运的细小颗粒,而且还决定了土壤结皮的形成速率。卢嘉等<sup>[20]</sup>根据研究区土壤的性质选择代表性土壤,通过干筛法将其筛分成 $<2\text{ mm}$ , $2\sim 3\text{ mm}$ 和 $3\sim 5\text{ mm}$ 的三级团聚体,在室内人工模拟降雨在 $15^\circ$ 冲蚀槽的试验条件下,研究了土壤团聚体粒径大小对坡面径流侵蚀和沉积物特征的影响,发现在初始含水量和坡度一定条件下,团聚体粒径增大,稳定性反而降低。刘梦云等<sup>[50]</sup>根据不同的土地利用条件选择典型土地来设置土壤剖面,通过机械筛分法分别测定 $>5\text{ mm}$ , $5\sim 2\text{ mm}$ , $2\sim 1\text{ mm}$ , $1\sim 0.5\text{ mm}$ , $0.5\sim 0.25\text{ mm}$ 的各级水稳性团聚体的含量,结果表明:土壤团聚体影响土壤孔隙度、渗透率、透水性和抗蚀性。土壤团聚体是土壤肥力的中心调节器,土壤一旦发生退化,首先表现出团聚体结构的破坏和消失,团聚体含量决定着土壤物理过程的速率和幅度。田积莹等<sup>[51]</sup>通过选择总团聚总量和 $1\sim 10\text{ mm}$ 团聚体量两个指标,研究了土壤物理性质与抗蚀性之间的关系,发现在相同的土壤剖面中,上部土壤优于下部土壤,质地粘的土壤优于质地轻的土壤。土壤的物理性质随着土壤的抗蚀性能增强而增强,而土壤的抗蚀性与土壤团聚体总量和团聚状况密切相关。杨玉盛等<sup>[52]</sup>通过对 4 种不同治理方式下土壤的抗蚀性进行研究,发现土壤耐腐蚀性可以用土壤分散性、团聚状况、土壤有机质、土壤团聚度、总孔隙度等指标来表征,其中土壤团聚度是所有影响因素中的核心因子。



### 2.3 土壤水力侵蚀对土壤颗粒组成的影响

土壤颗粒组成是土壤最基本的物理性质之一。土壤主要由黏粒、粉粒和砂粒等不能再分割的颗粒组成在一起形成的。土壤黏粒含量越高,其抵抗水力侵蚀的能力越强。土壤颗粒越小,越容易粘结。土壤发生水力侵蚀主要是影响土壤中的黏粒、粉粒等粒径较小的颗粒。降雨作为水力侵蚀重要影响因素,其强度大小直接影响雨滴对土壤颗粒打击作用的大小,而雨滴击溅动能会直接作用于土壤颗粒之间的粘结力,使土壤颗粒从大颗粒变成小颗粒或者从小颗粒凝结为大颗粒。随降雨量的增加,由于黏粒粒径小,首先被输送,所以颗粒粒径越小,越容易输送。地表经过径流不断冲刷,沙粒含量增加,粉粒和黏粒含量减少,质地变粗,而粉粒、黏粒的流失造成土质松散,更容易受到水力侵蚀的影响。李强<sup>[53]</sup>认为土壤颗粒被溅起是一个相对复杂的过程,它可以划分为土壤团聚体崩解过程、溅蚀洼地、雨滴击溅、土粒飞溅跃移、土粒蠕动等过程,土壤发生侵蚀的主要原因是雨滴撞击地表,土壤结构被破坏。李占斌等<sup>[54]</sup>在宽度为33 cm,长度为100 cm,深度为50 cm的可调坡土槽内进行水流冲刷试验,通过试验研究后发现径流冲刷能力由径流本身的能量和携沙能力来决定,土壤颗粒输出坡面方向与沿着径流产生的坡面剪切力方向一致。坡面剪切力破坏土粒之间的粘结力,最终使土粒从母体上分离开来。只有当水流作用于土壤颗粒的剪切力大于土壤颗粒的粘结力时,土壤颗粒才能进入起动准备阶段。吴发启等<sup>[55]</sup>通过对单个雨滴溅蚀试验和次降雨溅蚀效应的试验研究发现随着坡面的径流深度增加,径流流速也会增加对雨水动能的吸收,增大径流紊动强度,增强坡面径流对土壤颗粒的剥蚀能力。陈山等<sup>[56]</sup>通过在坡度调节范围为 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 试验土槽进行试验后发现表面松散物质决定了坡面上土壤颗粒的起动,当降雨和径流能充分破坏土粒间粘结作用时,土壤颗粒就会从静止进入起动阶段,而坡面土壤颗粒从起动到输出是由坡面径流冲刷能力和抗蚀能力的相互作用过程决定的。

### 2.4 土壤水力侵蚀对土壤有机碳的影响

土壤有机碳是土壤物质的基础,是土壤肥力的重要标志,对土壤肥力高低有直接影响。它可以改善土壤结构,保持土壤水分,改变土壤微量元素的吸附特性,对土壤的渗透性、腐蚀性、亲水性和养分循环等特性有较强烈的影响。土壤有机碳在土壤水力侵蚀过程中,会随泥沙和径流作用在地表迁移或沉积,从而影响有机碳在地表生态系统的分布格局。土壤表面的有机碳会随着径流而移动,迅速发生矿化,在泥沙输

移和再分配过程中,又加速了土壤有机碳的矿化,然而,在泥沙沉积区域中,由于有机—无机复合体的作用又会形成有机碳的固碳过程。目前存在着两种关于土壤水力侵蚀对土壤有机碳观点:一些学者认为,由于土壤团聚体结构的破坏,使有机碳暴露,被微生物分解利用,造成侵蚀土壤在搬运和沉积过程中,加速了土壤有机碳矿化;另外一些学者则认为,土壤在侵蚀过程中被搬运,但搬运过程中有机碳矿化量很少,而在沉积区土壤的有机碳固碳会增加,一少部分有机碳会被深埋固定从而降低有机碳的矿化量,绝大多数有机碳通过与矿物质或微团聚体复合,依靠物理保护来减少有机碳分解。

### 2.5 土壤水力侵蚀对土壤养分的影响

土壤中养分的流失主要是由于坡面径流对土壤养分的溶解而造成土壤养分的减少,导致了流失区域土壤质量的下降、土壤肥力减少、土地经济效益的降低,而对汇集区域则会造成氮、磷含量超标,土壤或水体污染,危害环境。土壤水力侵蚀导致植物生长所需氮、磷和钾的消耗,但为了作物的生长,人们只能通过施肥增加土壤养分,但这些营养素被投入到土壤中,会再一次被淋失、迁移,形成恶性循环。孔刚等<sup>[57]</sup>采用侧喷式自动模拟降雨系统和移动变坡式钢槽,通过使雨滴下降的终速达到自然雨滴的降落终速,降雨特性接近于天然降雨特性,研究发现土壤侵蚀是通过径流和泥沙共同作用实现的,径流迁移量和土壤养分迁移量都与土壤水分入渗能力有很大的关系。周继<sup>[58]</sup>利用人工模拟降雨机,测定出降雨强度、降雨量、雨滴特征和降雨侵蚀力,计算降雨前后土壤团聚体分散程度用于衡量降雨特征对土壤结构的影响,发现土壤养分通常附着在固体颗粒上,当地表径流对土壤颗粒搬运和冲刷时,土壤中的营养物质会伴随着土壤颗粒的迁移而流失。黄满湘等<sup>[59]</sup>利用土壤侵蚀小区下端安装V型量水堰,使用带有刻度的塑料桶收集径流,通过试验发现不同粒径的土壤团聚体中,包含了大量来自土壤表层和侵蚀泥沙中的氮、磷养分,选择搬运的土壤中有有机碳对侵蚀泥沙沉积物中氮磷等养分的富集作用贡献有限。陈奇伯等<sup>[60]</sup>在黄土坡耕地表层人工堆积30 cm熟化耕作土壤上,采用表层土壤人工堆积小区的试验方法,研究发现土壤经暴雨强袭击后,土壤孔隙被堵塞,结构被破坏,土壤水分下渗受阻,在地表以径流的形式汇集,而土壤表层中氮、磷养分受损,造成作物生长发育不良,产量降低,质量降低。刘占锋等<sup>[61]</sup>通过研究发现流失氮、磷养分,会随泥沙迁移到水体中溶解,导致水体富营养化。

## 2.6 土壤水力侵蚀对土壤阳离子交换量的影响

土壤阳离子交换量(CEC)反映土壤保蓄、供应和缓冲阳离子养分的能力,是土壤理化性质的综合体现。CEC 受土壤质地、土壤结构、土壤气体、土壤水分、腐殖质含量和黏土矿物等因素的影响,当土壤有机质含量较高时,pH 值越大,土壤中 CEC 也越高。虽然土壤母岩类型对阳离子交换量没有直接影响,但它会影响土壤的酸碱性等内在化学因素来影响土壤中 CEC 的大小。在土壤侵蚀刚开始发生侵蚀时,土壤水分渗透,土壤颗粒充满土壤孔隙,养分积累明显,CEC 升高。当侵蚀逐渐增强造成松散物质被搬运,营养物质损失,CEC 下降。随着土壤侵蚀继续加强,土壤颗粒(尤其是黏粒)的迁移,CEC 会再次下降。王文艳等<sup>[62]</sup>通过试验对黄土高原典型小流域土壤 CEC 分布特征进行研究分析,发现随着降雨量、生物量和植被盖度增加,CEC 逐渐增大。高温高湿度的气候条件,有助于岩石和矿物风化,造成土壤黏粒含量的增加,CEC 升高;CEC 以土壤胶体以有机和矿物胶体为载体,当土壤有机碳含量增加时,CEC 也会增加;CEC 还与黏粒含量有关,土壤中黏粒含量愈高,质地愈重,土壤的负电荷就越多,CEC 值就越大。李松<sup>[63]</sup>通过选择典型丘陵地区中部土壤条件较一致布置的土埂进行试验观测,发现土壤侵蚀所流失的泥沙,主要是物理和化学性质较差的那部分土粒,而那些具有较高的 CEC 土壤,它们孔隙多,渗透性强,土粒间粘结力大,流失量就会比较少。

## 2.7 土壤水力侵蚀对土壤酸碱度(pH 值)的影响

土壤酸碱度是重要的土壤特性,对许多土壤中的化学反应和化学过程有直接影响,控制着植物和微生物所需营养素的有效性,决定着土壤中化学物质的行为,与土壤肥力、植物生长有着密切联系。土壤养分的有效性受土壤酸碱度的影响,一般情况下磷在中性土壤中有效性高,但在酸性或碱性土壤中效果较差。微量元素(锰,铜,锌等)在酸性土壤中非常有效,但在碱性土壤中效果较差。土壤发生侵蚀的情况下,土壤矿质养分损失会使土壤致酸离子的相对浓度增加,土壤 pH 值降低。如果土壤的碱性越强,和酸性溶液发生中和反应也就越容易,从而改变土壤的酸碱值,为碱性溶液中阳离子与土壤胶体上的离子交换提供条件。离子交换一旦发生,土壤性质就会改变,从而加剧了土壤团聚体的分散和破坏,导致更严重的土壤侵蚀产生。王桂芳<sup>[64]</sup>通过试验水槽进行径流冲刷的模拟试验,研究发现在酸性条件下,一些阴离子更容易与土壤溶液中的离子发生反应,使得土壤团聚体结构分散破坏,溶液在土壤表面流动,不断地侵蚀和剥离土壤。

# 3 存在问题与研究展望

## 3.1 存在问题

由于土壤理化性质的复杂性,在已有的研究当中只强调了对土壤侵蚀结果研究,忽视了土壤侵蚀对土壤理化性质影响的研究,虽取得一定的研究成果,但仍存在以下两个主要问题:

(1) 土壤理化性质评价指标和评价方法还没有统一标准。尽管侵蚀对土壤理化性质影响的研究众多,但关于造成土壤理化性质退化过程机理尚不清楚,对土壤理化性质评价指标和评价方法还没有统一标准。国内外开展侵蚀对土壤理化性质研究主要涉及土壤侵蚀造成的结果和土壤肥力下降等方面,在评价过程中仅用一种或两种指标参数来阐明土壤理化特性的复杂性是远远不够的。我们对土壤样品的理化试验分析处理方法比较规范,但对土壤理化性质影响的评价指标和评价方法还没有统一或公认标准,造成评价的步骤不规范,没有产生可比拟的结果。

(2) 没有充分考虑外部因子对土壤理化性质的影响。土壤侵蚀会导致水土流失日益加剧,耕地减少,河流泛滥,土地退化、水体污染、淤积抬高河床、加剧洪涝等灾害已成为备受关注的重大环境问题,但我们没有充分考虑到这些外部环境因子对土壤理化性质的影响。

## 3.2 研究展望

科学评估土壤水力侵蚀对土壤理化性质影响有助于正确对待土壤侵蚀问题,对土地资源保护也具有重要意义。土壤质量理化性质研究领域众多,要在土壤科学、土地利用、作物栽培测量和管理等方面去研究土壤水力侵蚀对土壤质量理化指标的影响。进入 21 世纪,土壤侵蚀对土壤质量理化性质影响的研究引起了土壤学家兴趣,探究的内容也在不断扩大。提高土壤质量,优化土壤质量评价不再是一个国家的事情,需要人们都去关注它。不同国家、不同科学家的加入极大丰富了研究内涵,使得对土壤理化性质研究的科学问题不断深入。

(1) 建立科学、系统的理化指标和评价方法。为比较不同地区和研究者的研究成果,有必要对土壤质量理化指标评价进行规范,包括研究目标的确定、评价指标的选择,确定土壤取样程序和方法,储存、制备和预处理土壤样品,分析样品并给出结果,建立科学、系统的理化指标和评价方法,将土壤物理学、化学和生物学等相关学科统一起来表征土壤质量。我们应

以土壤自身理化性质为切入点,建立普适的综合指标作为新的主要研究方向。

(2) 全面准确发掘土壤理化指标数据。通过应用管理学、社会学、3S 技术、地理信息系统(GIS)、应用生态学、地统计学、经济学、土壤光谱分析模型和数理统计等方法相结合,创建区域土壤理化指标数据库和监测预警系统,全面准确发掘土壤理化指标数据。

(3) 土壤生态文明将会成为土壤质量理化特性研究主题。随着全球环境变化的日益加剧,土壤环境问题表现多源、复杂、大规模、长期等环境污染特征,环境状况不容乐观,部分地区土壤污染较重,严重影响到土壤生态文明的建设。我们应以土壤理化性质为切入点,通过改进施肥、耕作等措施,协调土壤中物理化学元素含量,降低土壤侵蚀量,有效缓解土壤侵蚀所引起的泥沙淤积、水体污染等生态环境问题,这对区域水土保持以及为土壤科学管理、规划和决策依据具有显著作用。

#### 参考文献:

- [1] 朱显谟,田积莹.强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究[J].水土保持学报,1993,7(3):1-10.
- [2] 邵明安,上官周平.控制水土流失促进黄土高原生态环境建设[J].中国基础科学,2000(6):49-53.
- [3] 吴普特.黄土坡地径流冲刷与土壤抗冲动态响应过程研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):93-95.
- [4] 张科利,唐克丽.黄土坡面细沟侵蚀能力的水动力学试验研究[J].土壤学报,2000,37(1):9-15.
- [5] 唐克丽,郑芬莉,史德明.土壤侵蚀研究回顾与展望[J].土壤学报,1989,26(3):226-233.
- [6] 刘国彬,王国梁,上官周平,等.黄土高原地区水土保持科学研究的重点领域[J].中国水土保持,2008(12):37-39,72.
- [7] 李锐,杨勤科,吴普特,等.中国水土保持科技发展战略思考[J].中国水土保持科学,2003,1(3):5-9.
- [8] 王飞,李锐,杨勤科.土壤侵蚀研究的尺度转换[J].水土保持研究,2003,10(2):9-12.
- [9] 许明祥,刘国彬,温仲明,等.黄土丘陵区小流域土壤特性时空动态变化研究[J].水土保持通报,2000,20(1):24-26.
- [10] 穆兴民,李朋飞,高鹏,等.土壤侵蚀模型在黄土高原的应用述评[J].人民黄河,2016,38(10):100-110,114.
- [11] 郑粉莉,王占礼,杨勤科.我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望[J].自然杂志,2008,30(1):12-16,63.
- [12] 李锐,上官周平,刘宝元,等.近 60 年我国土壤侵蚀科学研究进展[J].中国水土保持科学,2009,7(5):1-6.
- [13] 戴全厚,薛莲,刘国彬,等.侵蚀环境撂荒地植被恢复与土壤质量的协同效应[J].中国农业科学,2008,41(5):1390-1399.
- [14] 吴艳,张晓萍,陈凤娟,等.陕北典型流域退耕后土壤侵蚀及空间分布初步调查研究[J].水土保持研究,2010,17(4):29-33.
- [15] 温仲明,焦峰,张晓萍,等.黄土丘陵区纸坊沟流域 60 年来土地利用格局变化研究[J].水土保持学报,2004,18(5):125-128,133.
- [16] 杨勤科,李锐,刘咏梅.区域土壤侵蚀普查方法的初步讨论[J].中国水土保持科学,2008,6(3):1-6.
- [17] 刘国彬,上官周平,姚文艺,等.黄土高原生态工程的生态成效[J].中国科学院院刊,2017,32(1):11-19.
- [18] 程曼,朱秋莲,刘雷,等.宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响[J].生态学报,2013,33(9):204-213.
- [19] 张世杰,焦菊英.基于下游河流健康的黄土高原土壤容许流失量[J].中国水土保持科学,2011,9(1):9-15,23.
- [20] 卢嘉,郑粉莉,安娟,等.降雨侵蚀过程中黑土团聚体流失特征[J].生态学报,2016,36(8):2264-2273.
- [21] 张孝存,郑粉莉,安娟,等.典型黑土区坡耕地土壤侵蚀对土壤有机质和氮的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):182-186.
- [22] 郭胜利,党廷辉,郝明德.黄土高原沟壑区沟坡地土壤剖面中矿质氮的分布特征[J].水土保持学报,2003,17(2):31-33,66.
- [23] 赵西宁,吴发启.土壤水分入渗的研究进展和评述[J].西北林学院学报,2004,19(1):42-45.
- [24] 董广辉,夏正楷.土壤侵蚀与土壤肥力[J].水土保持研究,2003,10(3):80-82.
- [25] 刘宝元,张科利,焦菊英.土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J].自然资源学报,1999,4(4):345-350.
- [26] 李占斌,朱冰冰,李鹏.土壤侵蚀与水土保持研究进展[J].土壤学报,2008,45(5):802-809.
- [27] 焦菊英,王万中,郝小品.黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J].干旱区资源与环境,1999,13(1):35-43.
- [28] 白文娟,郑粉莉,董莉丽,等.黄土高原地区水蚀风蚀交错带土壤质量综合评价[J].中国水土保持科学,2010,8(3):28-37.
- [29] 谭玉兰,杨丰,陈超,等.喀斯特山区土地利用方式对土壤质量的影响[J].西南农业学报,2019,32(5):1133-1138.
- [30] Doran J W, Parkin T B. Defining and Assessing Soil Quality[C]//Doran J W, Coleman D C, Bezdick D F, et al. Defining Soil Quality for A Sustainable Environment. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, 1994
- [31] Islam K R, Weil R R. Soil quality indicator properties



- in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 55(1): 69-78.
- [32] 刘晓冰, 邢宝山, Stephen J. Herbert. 土壤质量及其评价指标[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2002, 18(2): 109-111.
- [33] Arshad M A, Martin S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2002, 88(2): 153-160.
- [34] 张家春, 刘婧, 林绍霞, 等. 不同种植方式下贵州玄参种植土壤碳氮磷特征[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(6): 64-67.
- [35] Parr J F, Papendick R I, Hornick S B, et al. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture[J]. *American Journal of Alternative Agriculture*, 1992, 7(2): 5-11.
- [36] 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.
- [37] Smith J L, Halvorson J J, Papendick R I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57(3): 743-749.
- [38] Andrews S S, Karlen D L, Cambardella C A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(6): 1945-1962.
- [39] PazFerreiro J, Fu S L. Biological indices for soil quality evaluation: Perspectives and limitations[J]. *Land Degradation & Development*, 2016, 1(27): 14-25.
- [40] Warkentin B P. The changing concept of soil quality[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50(3): 226-228.
- [41] Kennedy A C, Papendick R I. Microbial characteristics of soil quality[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 50(3): 243-248.
- [42] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 901-913.
- [43] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1843-1848.
- [44] 郑世清, 周佩华. 土壤容重和降雨强度与土壤侵蚀和入渗关系的定量分析[J]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1988(1): 53-56.
- [45] 刘小勇, 吴普特. 硬地面侵蚀产沙模拟试验研究[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(1): 33-37.
- [46] 李长宝, 太史怀远. 土壤基础理论学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [47] 徐英德, 汪景宽, 王思引, 等. 玉米残体分解对不同肥力棕壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(7): 1029-1037.
- [48] 马露洋, 许明祥, 李彬彬, 等. 基于质量和数量方法的不同粒径土壤团聚体水稳性评价[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2019, 47(2): 126-134.
- [49] Bryan R B. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope[J]. *Geomorphology*, 2000, 32(3): 385-415.
- [50] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征[J]. *中国水土保持科学*, 2006, 34(4): 47-51.
- [51] 田积瑩, 黄义端. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究[J]. *土壤学报*, 1964(3): 286-296.
- [52] 杨玉盛, 何宗明, 林光耀, 等. 不同治理模式对严重退化红壤抗蚀性影响的研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(2): 32-37.
- [53] 李强. 黄土高原坡耕地土壤侵蚀对土壤质量的影响[D]. 陕西杨凌: 教育部水土保持与生态环境研究中心, 2011.
- [54] 李占斌, 鲁克新, 丁文峰. 黄土坡面土壤侵蚀动力过程试验研究[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(2): 5-7, 49.
- [55] 吴发启, 范文波. 土壤结皮与降雨溅蚀的关系研究[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(3): 1-3.
- [56] 陈山, 杨峰, 林杉, 等. 土地利用方式对红壤团聚体稳定性的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(5): 211-216.
- [57] 孔刚, 王全九, 樊军. 地下供水条件下雨强对土壤养分流失的影响[J]. *人民黄河*, 2007, 29(9): 65-67, 88.
- [58] 周继. 人工模拟降雨条件下土壤颗粒变化及养分流失的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [59] 黄满湘, 章申, 张国梁, 等. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 147-154.
- [60] 陈奇伯, 齐实, 孙立达, 等. 半干旱黄土丘陵区坡耕地径流损失对土地生产力影响研究[J]. *水土保持通报*, 2001, 21(5): 6-9.
- [61] 刘占锋, 刘国华, 傅伯杰, 等. 人工油松林(*Pinus tabulaeformis*)恢复过程中土壤微生物生物量 C, N 的变化特征[J]. *生态学报*, 2007, 27(3): 1011-1018.
- [62] 王文艳, 张丽萍, 刘俏. 黄土高原小流域土壤阳离子交换量分布特征及影响因子[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(5): 123-127.
- [63] 李松. 土壤养分与泥沙流失的初步试验分析[J]. *人民黄河*, 1990(2): 64-67.
- [64] 王桂芳. 硫化矿尾矿库周围水土污染调查及化学溶液对土壤侵蚀影响的模拟研究[D]. 南宁: 广西大学, 2005.