

# 土壤水蚀中关于化学因素的研究现状和展望

李法虎<sup>1</sup>, 郭锦蓉<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学图书馆, 北京 100083)

**摘要:** 土壤水蚀是一个复杂的物理化学过程。化学因素在土壤水蚀过程中起了相当重要的作用。该文系统分析了土壤溶液浓度和组成对土壤团聚体稳定性、地表硬壳形成以及土壤水力传导度、入渗率、地表径流和土壤侵蚀的影响; 探讨了长期劣质水灌溉可能对土壤侵蚀产生的影响以及减少劣质水灌溉区土壤侵蚀的化学方法; 指出土壤表面密封层对土壤侵蚀的影响及其机理描述是土壤侵蚀研究中的一个重要研究方向。

**关键词:** 土壤水蚀; 物理化学影响; 土壤溶液浓度; 钠吸附比(SAR); 入渗率

**中图分类号:** S157.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1002-6819(2004)05-0032-06

## 0 引言

侵蚀是自然界发生的一种基本地质过程。然而, 随着农业生产的发展和人口的增加, 特别是不合理的土地利用活动, 长时间日益加速的土壤侵蚀已成为人类目前所面临的主要环境问题之一, 同时它也导致了农田土壤退化和农业生产力的严重下降。

我国是世界上土壤侵蚀最为严重的国家之一, 水蚀是我国土壤侵蚀的一种主要形式。我国土壤水蚀面积达  $1.79 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 分别占国土面积的 18.7% 和总侵蚀面积的 36.4%<sup>[1]</sup>。

土壤水蚀(为方便起见, 水蚀在下文中统称为侵蚀)是一个复杂的自然现象。土壤侵蚀精确的预测依赖于对其机理及过程的充分理解和认识。虽然影响土壤侵蚀的因素很多, 但从力学的角度考虑, 它们都可归结为水的侵蚀力(能量)和土壤的抗侵蚀力两者之间相互作用的结果, 其它影响因素都可通过这两种作用力表现出来。

侵蚀力主要是由降雨条件、地形条件和地表植被覆盖条件所决定。降雨强度、降雨历时以及由此导致的不同地表径流条件和由地形坡度及长度导致的水流冲刷力的变化是决定侵蚀力大小的主要因素。地表的植被覆盖降低了降雨和水流冲刷的侵蚀力。而土壤的抗侵蚀力主要由土壤性质所确定。土壤质地和结构、粘土矿物的类型和含量、有机质含量以及土壤含水量等都影响土壤的抗侵蚀能力。

土壤团聚体的稳定性或抗侵蚀力的大小主要由水土环境的化学性质决定。土壤溶液中粘粒的弥散或凝聚状态取决于作用在粘粒上的排斥力和吸引力的相互作用, 而土壤粘粒的类型、含量以及土壤溶液的浓度和组成等决定了排斥力和吸引力的大小。为了对土壤侵蚀机理或土壤抗侵蚀能力进行精确的描述, 必须研究化学因素对土壤团聚体稳定性的影响。土壤溶液浓度和组成对土壤入渗能力和侵蚀能力的影响值得引起更多的关

注<sup>[2]</sup>。此外, 由于我国淡水资源的短缺, 近年来农业生产已很大程度地依赖于一定规模的劣质水(咸水或污水)资源的应用<sup>[3]</sup>。长期的劣质水灌溉可明显地改变土壤环境的物理化学性质<sup>[4,5]</sup>, 从而对土壤侵蚀产生明显的影响。土壤侵蚀的研究和水土环境的保护工作面临着新的挑战。

目前我国在土壤侵蚀的研究中对由于化学条件改变而引起的土壤抗侵蚀力变化的研究较少<sup>[6]</sup>, 本文主要就影响土壤抗侵蚀能力的化学因素进行了较为详细的讨论, 以期对土壤侵蚀机理和过程有一个更深入的理解, 从而促进土壤侵蚀机理的描述和预测预报模型的进一步完善和发展, 为提高水土保持管理水平提供条件。

## 1 土壤团聚体稳定性的影响因素

在干旱半干旱地区, 土壤中的粘土矿物主要为蒙脱石<sup>[7]</sup>。蒙脱石是一种由两层硅片和一层铝片组成的2-1膨胀型层状硅酸盐。粘土矿物特别是蒙脱石的含量多少是决定土壤化学反应性的主要组成部分。蒙脱石具有较小的层间电荷和大的比表面积( $600 \sim 800 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ )。当它与水分子接触时, 水分子可以渗入蒙脱石的层间, 因此蒙脱石具有显著的膨胀性、高可塑性和大粘着力。四面体中  $\text{Al}^{3+}$  对  $\text{Si}^{4+}$  以及八面体中  $\text{Fe}^{2+}$  或  $\text{Mg}^{2+}$  对  $\text{Al}^{3+}$  的同晶取代导致蒙脱石的基本单元体结构带有负电荷, 从而吸引外部溶液中的阳离子形成静电扩散双层。

扩散双层的厚度由两种相反的作用力所决定: 一个是带有负电荷的粘粒表面对溶液中正电荷的静电吸引力(库仑力), 它吸引阳离子靠近粘粒表面。静电吸引力与粘粒间距离的平方成反比。当粘粒之间距离相当小时, 范德华(Van der Waals)力成为主要的吸引力。范德华力为一短程力, 它与距离的7次方成反比<sup>[8]</sup>。另一种力是溶液中以及被粘粒吸附的阳离子扩散远离粘粒从而维持整个溶液相电荷平衡的布朗运动。由布朗运动引起的粘粒之间的排斥力随着粘粒间距离的增加而呈指数衰减。当粘粒间的距离非常小时, 超短程排斥力-博恩(Born)排斥力阻止了此两粘粒的进一步靠近。这两种相反的运动趋势导致了土壤溶液中的阳离子浓度随着距粘粒表面距离的增加而逐渐减小, 而溶液中阴离子的浓度则随着距粘粒表面距离的增加而增大。

由于粘粒表面对溶液中二价阳离子的吸引力比对

收稿日期: 2003-12-11 修订日期: 2004-06-11

基金项目: 农业部农业生态环境科技项目和教育部留学回国人员启动基金项目

作者简介: 李法虎(1963-), 男, 博士, 副教授, 主要从事水土环境与农业水土工程的研究。北京海淀区清华东路17号 中国农业大学295信箱, 100083。Email: lifahu@cau.edu.cn

一价阳离子的吸引力大一倍左右, 因此二价阳离子组成的溶液中的扩散双层厚度大约为一价阳离子溶液中扩散双层厚度的一半<sup>[8]</sup>。此外, 扩散双层厚度也随着溶液浓度的增加而减小。在电解质浓度  $0.01 \sim 100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的范围内, 浓度每增大 100 倍, 扩散双层厚度则减小大约 90%<sup>[8]</sup>。

当两片粘粒互相靠近时, 它们的扩散阳离子云重叠。因此, 只有在外力作用下才能克服这两个正电荷离子云之间的静电排斥力(即膨胀压)从而使这两片粘粒进一步靠近。扩散双层厚度越小, 两个离子云的重叠越少。因此, 粘粒间的排斥力随着溶液浓度的增大或被吸附离子的离子价的增加而减小<sup>[7]</sup>。当两片粘粒相互影响时, 排斥力和吸引力共同作用。如果排斥力大于吸引力, 则粘粒互相分开而形成弥散状态; 如果吸引力起主导作用, 则粘粒聚合而形成凝聚状态。

凝聚的粘粒在土壤有机和无机粘合剂的作用下形成土壤团聚体。矿物土壤团聚体的稳定性受许多物理、化学以及生物因素的影响<sup>[9, 10]</sup>。土壤粘土矿物的类型和含量以及平衡电解质浓度的大小和组成都影响土壤团聚体的稳定性。同时, 由于生物高分子聚合物(例如多聚糖等)对粘粒的胶结作用, 土壤有机质含量的增加一般增强土壤团聚体的稳定性<sup>[9]</sup>。土壤粘粒的凝聚状态是决定微观土壤团聚体稳定性的先决条件。

粘土颗粒的膨胀作用也影响着土壤团聚体的稳定性。当膨胀性粘土与水接触时, 土壤团聚体在膨胀压的作用下趋于分裂从而降低其稳定性。此外, 土粒之间生物和化学粘合力一般随着时间的发展而增强, 因此随着老化时间的增加, 土壤团聚体的稳定性增大<sup>[11]</sup>。由于对粘土矿物颗粒的边缘电荷以及矿物和有机质表面可变电荷的影响, 土壤溶液 pH 值的提高将增大土壤粘粒的临界凝聚浓度, 从而导致土壤弥散性的增加<sup>[12]</sup>。

## 2 溶液浓度和溶质组成对土壤水力传导度、入渗率、地表径流和土壤侵蚀的影响

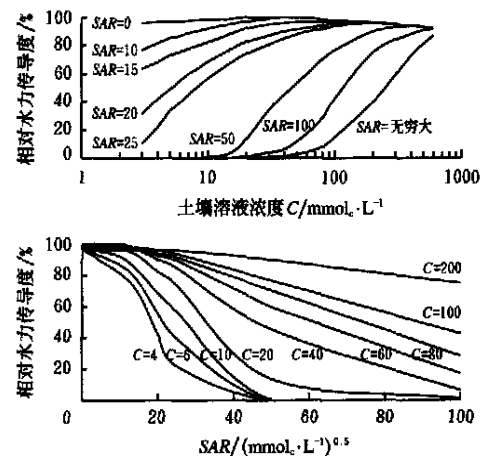
对于给定的土壤而言, 土壤溶液的电解质浓度和离子组成决定着土壤粘粒的凝聚状态和土壤团聚体的稳定性, 从而决定了土壤的导水性、入渗率和地表径流。

### 2.1 对土壤水力传导度的影响

当土壤溶液的电解质浓度大于土壤粘粒的凝聚浓度时, 土壤粘粒不会发生弥散现象; 而只有当土壤溶液的浓度小于土壤粘粒的凝聚浓度时, 弥散现象才可能发生。当土壤发生弥散时, 弥散的细小颗粒随水流运动而阻塞传导孔隙, 从而降低了土壤的水力传导能力。

大量的研究证明<sup>[7, 13-15]</sup>, 土壤水力传导度随着土壤溶液浓度的降低或土壤溶液钠吸附比(SAR)的增加而减小。高的溶液浓度可以减小钠离子对土壤水力传导能力的不良影响, 但减小的程度依赖于土壤溶液中钠离子的相对浓度即 SAR。土壤水力传导度随土壤溶液浓度和土壤溶液 SAR 的变化见图 1<sup>[13]</sup>。一价的钠离子是土壤溶液中主要的弥散离子。即使钠离子在土壤所有吸附

的阳离子中只占相当小的比例(例如当可交换钠百分比 ESP 为 1~2 时), 只要土壤中的电解质浓度足够低(例如在降雨条件下), 也会引起土壤粘粒的弥散和水力传导度的降低<sup>[16]</sup>。



土壤为粘壤土, 粘粒含量为 30.1%, 其中蒙脱石占 40%、云母占 25%

图 1 水力传导度随土壤溶液浓度  $C$  和钠吸附比 SAR 的变化

Fig. 1 Hydraulic conductivity versus solution concentration  $C$  and solution SAR in a clay loam soil

与粘粒的弥散过程不同, 土壤粘粒的膨胀现象是一个连续的过程。水合作用引起的粘粒膨胀导致土壤有效传导孔隙的减小。因此, 土壤的湿润-干燥过程以及土壤含水量的变化也能引起土壤水力传导能力的降低, 从而增大土壤的表面径流。此外, 粘粒膨胀也随着土壤溶液电解质浓度的减少而增大。与弥散作用相比, 粘粒膨胀对水力传导能力的影响相对较小。

### 2.2 对土壤入渗率的影响

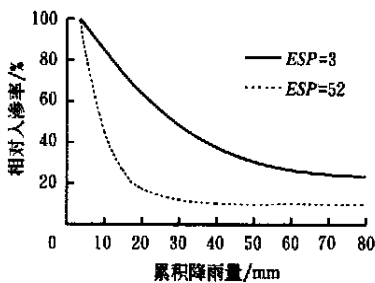
土壤入渗率是指水在单位时间内通过单位土壤表面进入土壤的体积通量。在降雨或喷灌条件下, 水滴对表层土壤团聚体的机械冲击作用导致土粒的飞溅、易位和沉积, 从而在土壤表面形成 2~3 mm 厚的致密层。这种土壤表层硬壳的形成导致了土壤入渗和传导能力的降低、表面径流的增加以及土壤通气性和作物出苗能力的减弱。

土壤硬壳的形成有两个作用机理: 1) 表层土壤团聚体在水滴机械冲击作用下的分裂。同时, 水滴的机械冲击作用也引起了表层土壤的压实。这两个因素导致了土壤表面密封(Surface seal)层的形成。表面密封层一般厚 0.1 mm 左右, 它的性质主要由水滴的机械能确定。大容重、高抗剪切强度以及低入渗能力和传导能力是其主要特征。2) 土壤粘粒的物理化学弥散作用。弥散的细小粘粒在入渗水流的作用下向土壤深处运动, 堵塞了表面以下土壤中的传导孔隙, 从而形成了大容重、低传导能力的冲洗区("Washed in" zone)。冲洗层只在易弥散的土壤中形成。在这一机理中, 化学因素占主导地位。表面密封层发展得越严重, 则土壤表面越平坦, 而它的抗剪切能力越强<sup>[17]</sup>。

据报道<sup>[18]</sup>, 冲洗层土壤的入渗能力是深层土壤的 1/800, 而密封层的入渗能力只有深层土壤的 1/2000。由于水滴的机械作用以及表面土壤颗粒相对高的自由度, 土壤表面颗粒对土壤溶液的化学组成和电解质浓度具有更高的敏感性。

机械弥散机理和化学弥散机理是互相补充的。化学弥散的动力学过程极大地依赖于机械搅动的强度。水滴的机械冲击除了形成土壤表面密封和压实外, 同时还增强了化学弥散的速率。如果没有机械搅动, 化学弥散速率一般是相对较慢的。溶液浓度和组成对土壤入渗速率的影响大于对水力传导度的影响便是机械弥散作用的结果。

当土壤的可交换钠百分比 (ESP) 较小时, 机械弥散机理 (即水滴的机械冲击作用) 是土壤入渗能力下降的主要原因; 而当 ESP 较大时, 化学弥散是其主要原因<sup>[19]</sup>。土壤化学弥散随着土壤 ESP 的增大而加强。与土壤水力传导度的影响因素相似, 土壤入渗能力随着土壤 ESP 的增大而减小<sup>[6]</sup> (图 2), 但随土壤溶液浓度的增加而增大 (图 3)<sup>[20]</sup>。



土壤为壤质黄土, 粘粒含量 19%, 主要粘土矿物为蒙脱石。雨滴动能为  $18 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

图 2 土壤 ESP 对入渗率的影响

Fig 2 Infiltration rates at two ESP levels versus accumulative rainfall amount

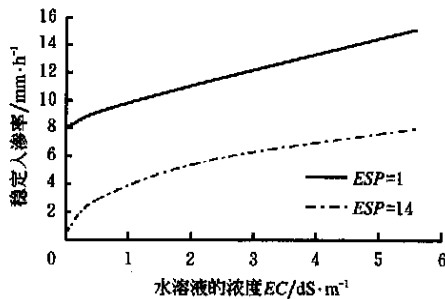


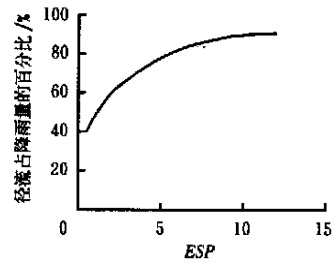
图 3 砂壤土稳定入渗率随水溶液浓度的变化

Fig 3 Steady infiltration rate versus the concentration of applied water

### 2.3 对地表径流和土壤侵蚀的影响

地表径流量随着土壤 ESP 增大或土壤溶液浓度的减小而增大 (图 4)<sup>[17, 18]</sup>。地表径流与土壤入渗是两个相反的过程, 土壤入渗能力越小, 地表径流量越大。影响土壤入渗以及传导能力的因素都在一定程度上影响地表径流的形成及大小, 但土壤表层硬壳的形成以及降雨特

征 (降雨强度、降雨历时和降雨周期等) 是影响地表径流的主要原因。



土壤为钙质壤土, 粘粒含量为 21.7%, 主要粘土矿物为蒙脱石。降雨强度为  $26 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$

图 4 地表径流随土壤 ESP 的变化

Fig 4 Surface runoff versus soil ESP

土壤硬壳的形成对土壤侵蚀产生了两个相反的作用: 1) 土壤表面密封层的形成增大了土壤表面的抗剪切能力, 从而降低了表面土壤颗粒的分离能力, 即增强了土壤的抗侵蚀力; 2) 土壤表面密封层的形成减小了土壤的入渗能力, 从而增大了地表径流的侵蚀力。在给定的降雨条件下, 溶液浓度和组成对土壤侵蚀的影响取决于这两个过程相互作用的结果。

土壤盐碱度是影响土壤侵蚀的主要因素之一<sup>[17]</sup>。土壤侵蚀与土壤粘土矿物类型及含量、土壤 ESP 以及土壤溶液的浓度密切相关。试验结果显示, 土壤侵蚀量随着土壤 ESP 的增大而增加<sup>[6]</sup>。当土壤 ESP 从 4.6 增大到 19.3 时, 土壤侵蚀量增大了 6.3 倍<sup>[21]</sup>。而土壤盐度的增加 (例如土壤矿物的溶解、石膏的应用等) 可明显地降低土壤的侵蚀量<sup>[22]</sup>。

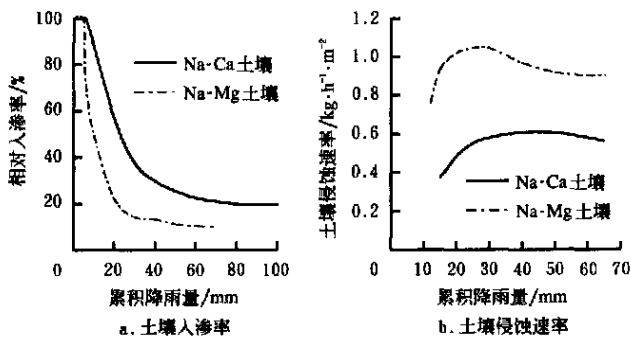
### 2.4 Mg 的比效应

自 20 世纪 60 年代以来, 人们一直将镁和钙作为有利于土壤结构稳定的相似离子而归为同一类。但随后的大量实验结果对这一结论产生了疑问。在特定的条件 (例如低电解质浓度) 下, 镁可能具有与钠相似的性质, 从而对土壤结构的稳定性产生不良的影响作用<sup>[23-25]</sup>。

可交换镁对土壤入渗和土壤侵蚀具有明显的比效应<sup>[25, 26]</sup>。镁-钠饱和的土壤团聚体比钙-钠饱和的土壤团聚体更容易弥散, 从而导致镁-钠土壤具有更低的土壤水力传导度和入渗速率, 更大的地表径流和侵蚀速率<sup>[24, 25]</sup>。镁对土壤入渗和土壤侵蚀的比效应见图 5<sup>[25]</sup>。试验结果证实, 可交换镁引起的粘粒弥散性是可交换钠的 5% 或更大<sup>[23, 25]</sup>。但可交换镁对钙质土壤中的粘粒弥散和水力传导度的影响并不明显, 这可能与土壤中钙质矿物的溶解有关<sup>[24]</sup>。

镁对土壤结构稳定性的不利影响主要有两个原因:

1) 直接影响, 即镁的比效应。镁离子的水合数比钙离子的大 50% 左右, 在镁饱和和粘粒表面的扩散双层中, 斯特恩 (Stern) 层的厚度大于钙饱和系统中的厚度<sup>[25]</sup>。由于粘粒通过外表面之间的相互作用力而凝聚在一起, 因此镁系统中的凝聚物比钙系统中的更易于分裂。2) 间接影响, 即镁离子对可交换钠离子累积的影响。粘粒对钙离子的吸附性大于对镁离子的吸附性, 因此在相似的条件



土壤为钙质壤土, 粘粒含量为 21.7%。雨滴动能为  $12.5 \text{ J} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

图5 土壤入渗率和侵蚀速率在  $ESP = 10$  的 Na-Ca 和 Na-Mg 土壤系统中随累积降雨量的变化  
Fig 5 Soil infiltration rates and erosion rates in Na-Ca and Na-Mg soils with  $ESP$  of 10 versus accumulative rainfall amount

下, 在镁系统中将有更多的可交换钠被吸附到粘粒表面<sup>[23]</sup>。镁离子对可交换钠离子在土壤中累积的影响程度取决于土壤中粘土矿物类型和有机质含量<sup>[23]</sup>。

### 3 土壤矿物溶解对水力传导度和入渗率的影响

当利用高质量的水(或降雨)淋洗土壤时, 土壤矿物的溶解能力极大地影响着土壤的物理性能。在干旱半干旱地区土壤中的钙质矿物以及一些原生矿物的溶解对土壤粘粒的弥散以及水力传导能力的降低具有明显的缓解作用。钙质土壤比严重风化(即不含钙质矿物)的土壤可释放更多的电解质<sup>[27]</sup>。土壤中钙质矿物的溶解速度随着土壤中  $\text{CO}_2$  偏压的增加而增大<sup>[28]</sup>。此外, 由于离子的交换反应, 钙质矿物的溶解速度也随着土壤  $ESP$  的增加而增大<sup>[29]</sup>。相对于水力传导度而言, 土壤中钙质矿物的溶解对入渗率的影响不明显, 这主要是因为钙质矿物的溶解速度太慢以至不能提高土壤表面的电解质浓度至足够大的水平(即超过土壤粘粒的临界凝絮浓度)。

### 4 劣质水灌溉区土壤侵蚀特性的变化

长期的劣质水(咸水或污水)灌溉将带给土壤大量的盐分。在蒸发作用下, 土壤水分减少而盐分向上运移, 表层土壤中的溶液浓度增加, 从而引起钙、镁盐类的沉淀和土壤  $ESP$  的增大, 导致土壤结构的恶化和水力传导能力的降低<sup>[4, 5]</sup>。此外, 灌溉污水中的有机和无机悬浮物也会引起土壤传导孔隙的阻塞, 从而降低土壤的水力传导能力<sup>[30]</sup>。

虽然长期的劣质水灌溉将导致土壤的次生盐碱化<sup>[4]</sup>, 但由于劣质水的高电解质浓度, 土壤结构一般不至于严重破坏。因此, 只要能进行适当的土壤盐分淋洗, 维持作物根系层中盐分的平衡, 一般中低水平的农业生产可以继续下去。但这种土壤一旦遭受降雨或重新采用高质量灌溉水灌溉时, 由于表层土壤的电解质浓度低于

土壤粘粒的临界凝絮浓度, 因此将引起土壤粘粒的弥散, 从而导致土壤水力传导度和入渗率的降低、径流和土壤侵蚀的增加以及土地生产力的急剧下降。

随着社会经济的发展和作物种植结构的调整, 高效经济作物的种植面积越来越大, 而经济作物一般需要高质量的水进行灌溉。在长期劣质水灌溉地区, 当灌溉水由劣质水改变为优质水时可能会引起土壤结构的破坏。另外, 由于淡水资源的短缺, 一些地区常常采用咸淡交替的灌溉方式, 这一灌溉方式也可能加速土壤侵蚀的发生。

### 5 降低土壤侵蚀的化学方法

土壤侵蚀与土壤团聚体的稳定性密切相关。粘粒弥散和膨胀是影响土壤团聚体稳定的主要因素, 因此如何增大土壤溶液的电解质浓度或改变其化学组成以及增加土壤团聚体的粘结力是改善土壤入渗和水力传导性能、减小土壤侵蚀的基本原则。

聚丙烯酰胺(PAM)和工业生产的副产品磷石膏是两种在生产实践中广泛应用的减少土壤侵蚀的方法<sup>[22, 31]</sup>。PAM 主要是通过其胶结作用来增强土壤团聚体的抗侵蚀力, 从而增大土壤的入渗能力和减小土壤的侵蚀速率。而磷石膏则是通过降低土壤的  $ESP$  水平和增大表层土壤的溶液浓度, 从而达到降低土壤粘粒弥散和减少土壤侵蚀的目的。由于粒状矿物石膏的溶解速率较慢, 一般不能显著地改善土壤的入渗速率, 但粉末状的矿物石膏则可起到与磷石膏相似的作用效果<sup>[22]</sup>。

在自然降雨条件下, 如果在  $ESP$  为 4.6 的土壤表面施用  $5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的磷石膏平均可降低地表径流 83.3%、降低土壤侵蚀速率 90.6%; 在  $ESP$  为 19.3 的土壤表面施用  $19 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的磷石膏可降低地表径流的 70.8%、土壤侵蚀强度的 76.9%。而当磷石膏与表层 10 cm 土壤混合施用,  $19 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的石膏应用量只能降低  $ESP$  为 19.3 土壤的地表径流的 53.2%、土壤侵蚀速率的 57.4%<sup>[21]</sup>。磷石膏的地表施用对减小地表径流和土壤侵蚀的效果明显地大于与表层土壤混合施用的情况。

### 6 进一步的研究方向

土壤侵蚀是一个复杂的物理化学过程, 它是各个相关因素综合作用的结果。为了提高水土保持工作的研究和管理水平, 以下几个方向的研究有待进一步的加强。

#### 6.1 灌溉引起的土壤侵蚀问题

农田土壤的侵蚀显著地降低了土地的生产力, 并增大了下游渠系的淤积<sup>[32]</sup>。不论喷灌还是地面灌, 灌溉将不同程度地引起农田土壤的侵蚀<sup>[31]</sup>, 特别是在坡度大于 2% 坡耕地上的灌溉引起的土壤侵蚀相当严重<sup>[32]</sup>。目前我国对因灌溉引起的土壤侵蚀的研究很少, 对这一研究方向仍然存在许多模糊的认识。此外, 灌溉水质的季节性变化(例如井渠交替灌溉等)对农田土壤侵蚀的影响也需引起足够的重视。

## 6.2 碱性土壤的侵蚀问题

虽然现有的土壤侵蚀模型对土壤的抗侵蚀力有一定的考虑,但对土壤碱度的影响尚需进一步量化描述。在降雨条件下,土壤表面密封层的形成以及由此引起的土壤表面抗剪切强度和表面光滑度的变化对土壤侵蚀的影响是土壤侵蚀研究中的一个重要研究方向。

## 6.3 劣质水灌溉区土壤的侵蚀问题

劣质水是今后许多淡水资源匮乏地区的主要农业水资源之一,但劣质水灌溉对水土环境具有较大的潜在危害性。目前对劣质水灌溉关心的重点是重金属在土壤、地下水以及生物链中的累积问题,而对土壤物理化学性质的改变以及由此引起的土壤侵蚀的变化尚缺乏足够的认识<sup>[33]</sup>。在长期劣质水灌溉地区,可交换钠在土壤中的累积对土壤侵蚀的影响条件以及影响程度目前尚未充分了解,因此劣质水灌溉区土壤的侵蚀问题尚需进一步系统的调查和研究。

## 7 结 语

化学因素在土壤侵蚀过程中起了至关重要的作用,对化学因素作用的深入理解是精确定量描述土壤侵蚀过程的基础。在给定的自然条件下,土壤溶液浓度和组成是确定土壤水力特性以及表面硬壳形成的主要因素。土壤团聚体的稳定性取决于土壤粘粒的受力状况,当吸引力大于排斥力时粘粒凝聚,反之弥散。可交换钠是农业土壤中主要的弥散离子,它对土壤的水力特性有较大的恶化作用。高的土壤溶液电解质浓度可以缓解或弥补这种不利影响。土壤表层硬壳的形成是表面土壤粘粒弥散和动力压实的结果,它是影响土壤入渗、地表径流和土壤侵蚀的主要因素。通过减小土壤表面粘粒的弥散或增大表面土壤团聚体的抗侵蚀力等均可有效地减小土壤侵蚀。土壤表面密封层对土壤侵蚀的影响及其机理描述是今后土壤侵蚀研究中的一个重要研究领域。

### [参 考 文 献]

- [1] 王占礼,彭珂珊. 我国土壤侵蚀状况及主要影响因素[J]. 生态经济, 1999, 5: 48- 51.
- [2] Nearing M A, Lane L J, Alberts E E, et al. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs[J]. Soil Sci Soc Am J, 1990, 54: 1702- 1711.
- [3] 李远华,倪文进,张玉欣. 21世纪初期我国农业节水的目标与任务[J]. 中国农村水利水电, 2001, 11, 1- 4.
- [4] Magaritz M, Nadler A. Agricultural induced salinization in the unsaturated zone of loessial soils, N W Negev, Israel[J]. Ground Water, 1993, 36: 363- 369.
- [5] Bond W J. Effluent irrigation—an environmental challenge for soil sciences[J]. Aust J Soil Res, 1998, 36: 543 - 555.
- [6] 李法虎, Keren R, Benhur M. 降雨过程中碱性坡耕地土壤侵蚀的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19: 61- 64.
- [7] Shainberg I, Letey J. Response of soils to sodic and saline conditions[J]. Hilgardia, 1984, 52(2): 1- 55.
- [8] Van Olphen H. Clay colloid chemistry[M]. 2<sup>nd</sup> edition. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, N.Y., U.S.A., 1977.
- [9] Barzegar R A, Nelson P N, Oades J M, et al. Organic matter, sodicity, and clay type: influence on soil aggregation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61: 1131- 1137.
- [10] Goldberg S, Suarez D L, Glaubig R A. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils[J]. Soil Sci, 1988, 146: 317- 325.
- [11] BenHur M, Agassi M, Keren R, et al. Compaction, Aging, and Raindrop-impact effects on hydraulic properties of saline and sodic vertisols[J]. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 1377- 1383.
- [12] Suarez D L, Rhoades J D, Lavado R, et al. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion[J]. Soil Sci Soc Am J, 1984, 48: 50- 55.
- [13] McNeal B L, Coleman N T. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity[J]. Soil Sci Amer Proc, 1966, 30: 308- 312.
- [14] Keren R, Singer M J. Effect of low electrolyte concentration on hydraulic conductivity of sodium/calcium-montmorillonite-sand system[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52: 368- 373.
- [15] Yousaf M, Ali O M, Rhoades J D. Clay dispersion and hydraulic conductivity of some salt-affected arid land soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1987, 51: 905- 907.
- [16] Shainberg I, Rhoades J D, Prather R J. Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion on hydraulic conductivity of a sodic soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1981, 45: 273- 277.
- [17] Levy G J, Levin J, Shainberg I. Seal formation and interrill soil erosion[J]. Soil Sci Soc Am J, 1994, 58: 203- 209.
- [18] Kazman Z, Shainberg I, Gal M. Effect of low levels of exchangeable sodium and applied phosphogypsum on the infiltration rate of various soils[J]. Soil Sci, 1983, 135: 184- 192.
- [19] Shainberg I. The effect of exchangeable sodium and electrolyte concentration on crust formation[J]. Advances in Soil Sci, 1985, 1: 102- 122.
- [20] Agassi M, Shainberg I, Morin J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation[J]. Soil Sci Soc Am J, 1981, 45: 848- 851.
- [21] Keren R, Shainberg I, Frenkel H, et al. The effect of exchangeable sodium and gypsum on surface runoff from loess soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1983, 47: 1001- 1004.
- [22] Keren R, Shainberg I. Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1981, 45: 103- 107.
- [23] Curtin D, Steppuhn H, Selles F. Effects of magnesium on cation selectivity and structural stability of sodic soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1994, 58: 730- 737.
- [24] A lperovitch N, Shainberg I, Keren R. Specific effect of magnesium on the hydraulic conductivity of sodic soils

- [J] J of Soil Sci, 1981, 32: 543- 554
- [25] Keren R. Specific effect of magnesium on soil erosion and water infiltration[J]. Soil Sci Soc Am J, 1991, 55: 783- 787.
- [26] Keren R. Water-drop kinetic energy effect on water infiltration in calcium and magnesium soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1989, 53: 1624- 1628
- [27] Shainberg I, Rhoades J D, Suarez D L, et al Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1981, 45: 287- 291.
- [28] Li F H. Improving efficiency of sodium-affected soil reclamation by native calcium carbonate[D]. Israel: P. H. D. Dissertation of Hebrew University of Jerusalem, 2000
- [29] Frenkel H, Amrhein C, Jurinak J J. The effect of exchangeable cations on soil mineral weathering[J]. Soil Sci Soc Am J, 1983, 47: 649- 653
- [30] Tarchitzky J, Golobati Y, Keren R, et al Wastewater effects on montmorillonite suspensions and hydraulic properties of sandy soils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1999, 63 (3): 554- 560
- [31] Lentz R D, Sojka R E. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration[J]. Soil Sci, 1994, 158: 274- 282
- [32] Koluvek P K, Tanji K K, Trout T J. Overview of soil erosion from irrigation[J]. J Irrig Drain Eng, 1993, 119 (6): 929- 946
- [33] Balks M R, Bond W J, Smith C J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation[J]. Australian J of Soil Research, 1998, 36(5): 821- 830

## Research status and future development of effects of chemical factors on soil water erosion

Li Fahu<sup>1</sup>, Guo Jinrong<sup>2</sup>

(1. College of Hydraulic and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2 Library, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Soil water erosion is a complex physicochemical process. Chemical factors play an important role in soil water erosion. The effects of soil solution concentration and composition on soil aggregation stability, surface crust formation, soil hydraulic conductivity, infiltration rate, surface runoff, and soil water erosion were systematically analyzed in the paper. The possible impacts of long-term irrigation with marginal water on soil water erosion as well as the chemical methods on reducing soil erosion also were discussed. The more attentions of effect of soil surface seal formation on soil erosion and its mechanism need to be paid to in the future research.

**Key words:** soil water erosion; physicochemical impact; soil solution concentration; sodium adsorption ratio; infiltration rate