

微咸水钠吸附比对土壤理化性质和入渗特性的影响研究

吴忠东^{1,3}, 王全九^{1,2}

(1. 西安理工大学水力水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 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; 3. 山东理工大学资源与环境工程学院, 山东 淄博 255048)

摘 要: 目前微咸水的开发利用成为缓解淡水资源不足的一条重要途径, 由于微咸水中含有各种盐分离子, 会影响土壤的入渗特性, 而且不同的钠吸附比对土壤的影响程度不同。为了分析钠吸附比对土壤入渗能力的影响, 在河北省中科院南皮生态试验站进行了一维垂直水入渗试验研究, 在土壤初始含水率均为 2.25%、入渗水的矿化度均为 3 g/L 时, 分析不同钠吸附比的微咸水累积入渗量和湿润锋随时间的变化过程, 发现二者具有相同的变化规律, 用 Philip 模型进行分析, 发现该模型对钠吸附比低于 12.56 (mmol/L)^{0.5} 的微咸水模拟结果较为精确。随着钠吸附比的变化, 土壤剖面湿润区的水分运动接近活塞流; 土壤含盐量主要受入渗水矿化度的影响, 与钠吸附比关系不大。用钠吸附比较高的微咸水进行入渗, 在土壤表层发生了 Na⁺ 对 Mg²⁺ 和 Ca²⁺ 的置换作用, 并导致表层土壤中钠离子的累积。

关键词: 钠吸附比; 累积入渗量; 含水率; 土壤含盐量

中图分类号: S274.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0231-06

全世界尤其是干旱半干旱地区日益增长的水资源需求量使得越来越多的劣质水用于农田灌溉, 其中包括田间排水及劣质地下水, 而使用这些水资源并不总能带来满意的产量^[1]。国内外利用微咸水灌溉发展农业已有 100 多年的历史, 就微咸水水质、适宜灌溉土质和作物、田间管理等方面进行了大量的实践。Feigen^[2]指出灌溉水中的盐分对土壤的影响, 主要表现为对土壤交换性钠和土壤溶液电导率的影响。土壤盐分浓度的提高有利于促进土壤颗粒的絮凝, 增加其团聚性, 稳定土壤结构, 使土壤中大孔隙增加, 渗透性增强。钠盐是引起土壤退化的主要盐分, 由于离子电荷少, 半径相对较大, 水化能较小, 钠离子的存在会引起土壤颗粒的膨胀和分散, 在干湿交替作用下改变土壤物理特性。有关不同矿化度的微咸水对土壤水盐运移的影响^[3,4]以及初始含水率对微咸水入渗特征的影响^[5]许多人已经做了研究。针对微咸水所造成的土壤盐渍化问题, 例如微咸水的灌溉对土壤水盐运动的影响^[6]、微咸水在干旱地区的应用^[7]及微咸水灌溉对作物产量和土壤盐分的影响^[8~10]等, 许多学者进行了研究。但关于微咸水的钠吸附比对土壤结构和入渗特征影响的研究还不多, 因此本文就这一问题进行研究。

由于微咸水灌溉带入土壤中的盐分与土壤本身

化学元素和土壤颗粒相互作用, 改变土壤物理和化学性质, 导致土壤水分与盐分运移特征发生变化, 影响土壤水分有效性和作物生长^[11]。在田间试验中, 土壤盐分受蒸发和降雨影响垂直运动剧烈, 主要表现为旱季蒸发积盐与雨季淋溶脱盐两种过程交替发生, 土壤盐分运移过程极为复杂, 不易就某些因子的影响程度进行准确分析。钠吸附比是评价灌水水质和土壤盐碱化程度的一个重要指标, 微咸水在矿化度相同的条件下, 不同的钠吸附比会造成土壤的理化性质和土壤结构产生不同的变化, Na⁺ 过多最主要的危害在于对土壤物理性状的影响, 常使土壤黏粒和团聚体分散, 从而使土壤对水和空气的渗透性降低^[12]。为了分析钠吸附比对土壤水盐运移的影响, 在河北省南皮县生态试验站进行了微咸水入渗土壤水盐运移试验。研究钠吸附比对累积入渗量、湿润锋、土壤含水率、含盐量、土壤盐分浓度及各离子浓度等的分布特征影响, 为微咸水合理高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验土壤取自中科院南皮生态试验站, 取自站东棉花地从表层至 1 m 深度处。试验土样经过风

收稿日期: 2007-04-20

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-N-003); 中科院百人计划资助(2004109); 高等学校博士学科点专项科研基金(20050700001)

作者简介: 吴忠东(1968—), 女, 山东淄博人, 副教授, 在读博士, 主要从事微咸水的地面灌溉及环境效应研究。

干、碾压、筛分、均匀混合后，利用吸管法测定土壤颗粒组成。其中粒径分布大于 0.02 mm 为 66.12%，0.002~0.02 mm 为 30%，小于 0.002 mm 为 3.88%，按照国际分类标准该土样为沙质壤土。同时测定了土壤的基本物理化学特性，具体包括土壤比重、容重、颗粒组成和土壤初始含盐量等物理化学参数，测定结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 土壤的基本物理性质

Table 1 The basic soil physical character				
容重 Bulk density (g/cm ³)	各级颗粒含量百分数 Particulate content (%)			
	d>0.02 mm	0.02 mm>d>0.002 mm	d<0.002 mm	
1.4	60.5	22.1	17.4	

表 2 土壤盐分组成

Table 2 The composition of soil salt						
土壤含盐量 Content of soil salt (%)	土壤盐分离子组成 The composition of soil salt (%)					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0.127	0.026	0.052	0.005	0.002	0.039	0.003

1.2 供试水质

为了使灌溉试验水质能够反映当地天然水质状况，所有试验用水均采用站内自备深井水和站东

1km 处浅井地下水稀释而成，每次灌水时使用电导仪标定试验用水矿化度。其中站内自备深井深度约 100~120 m，电导率约为 1.1~1.45 ds/m，矿化度约为 0.84~1.35 g/L，按照我国对微咸水的定义，可溶性盐总量小于 2 g/L 的水均为淡水^[13]，可直接作为淡水使用；浅井深度约 10~20 m，电导率约为 5.5~7.4 ds/m，矿化度为 5.0 g/L 左右。由于地下水水质有一定波动性，每次灌水时水质各离子含量不完全相同，但总离子含量均为 3 g/L 左右。灌溉水质如表 3 所示。

由表 3 可知，供试水样的矿化度基本控制为 3 g/L，而钠吸附比分别为 4.90、8.15、12.56、19.58 和 28.46 (mmol/L)^{0.5}，如果灌溉水钠吸附比值较高，钠可能成为土壤溶液中占优势的阳离子，引起土壤溶液钠吸附比值增加，使部分交换性钙镁被钠所取代。钠离子的增加会引起土壤颗粒收缩、胶体颗粒的分散和膨胀，导致土壤孔隙的减少，影响土壤的渗透性和作物根系的发育生长。当土壤溶液的钠吸附比达到一定水平后，就会使土壤 pH 值升高，对土壤的物理性质包括结构形态有明显的影响，反映出钠质土的一些特点，可导致土壤在亚类分级上发生变化，成为碱化土壤^[14]。

表 3 供试微咸水的钠吸附比和盐分组成

Table 3 The SAR and salt composition of the irrigation water								
灌水阶段 Irrigation stage	HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	Cl ⁻ (mmol/L)	SO ₄ ²⁻ (mmol/L)	Ca ²⁺ (mmol/L)	Mg ²⁺ (mmol/L)	Na ⁺ +K ⁺ (mmol/L)	总盐 Total (g/L)	SAR
深井淡水 Fresh water	7.90	4.20	0.40	2.40	8.00	2.10	0.84	0.92
浅井咸水 Saline water	13.10	42.40	27.20	7.60	33.00	42.1	5.13	9.34
供试水质 1 Water 1	5.94	23.13	18.99	6.84	17.19	24.03	2.99	4.90
供试水质 2 Water 2	8.2	31.37	7.80	4.00	11.40	31.97	2.94	8.15
供试水质 3 Water 3	7.25	36.47	4.80	2.60	7.00	38.92	3.00	12.56
供试水质 4 Water 4	1.32	45.00	4.22	1.52	3.82	45.20	3.00	19.58
供试水质 5 Water 5	1.79	45.78	2.84	0.48	2.32	47.61	3.00	28.46

1.3 试验设备

整个试验系统包括试验土柱和供水设备，利用马氏瓶供水，其截面积为 42.5 cm²，高 70 cm，供水水头控制在 1~2 cm，试验土柱用直径为 8 cm、高为 100 cm 的有机玻璃制成。为了提取土样分析土壤水分和盐分含量，在土柱侧面每隔 5 cm 开一个直径

为 1 cm 的圆形取样口。

1.4 积水入渗试验

将风干过筛后初始含水率为 2.25% 的供试土样按容重 1.4 g/cm³ 分层均匀装入直径为 8 cm、高为 100 cm 的土柱，利用马氏瓶供水，并维持土壤表面积水 1~2 cm，在试验过程中分别观察马氏瓶水

位和土柱内湿润锋随时间的变化过程。

入渗试验过程中,记录湿润锋和累积入渗量随时间的变化过程。入渗试验结束后,从取样口中分层取土,用烘干法测定土壤含水率。利用电导率仪测定水土比为 5:1 的土壤溶液电导率。利用土壤浸提液滴定法测定水土比为 5:1 的土壤溶液各离子含量,其中 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 采用双指示剂中和法, SO_4^{2-} 采用 EDTA 容量法, Cl^- 采用 AgNO_3^- 滴定

法, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采用 EDTA 络合滴定法, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 采用阴阳离子平衡法,土壤总盐量为八大离子之和。

2 结果与分析

2.1 Philip 模型在不同钠吸附比的微咸水入渗过程中的应用

图 1 显示了相同矿化度、不同钠吸附比的微咸水入渗时,累积入渗量和湿润锋随时间的变化过程。

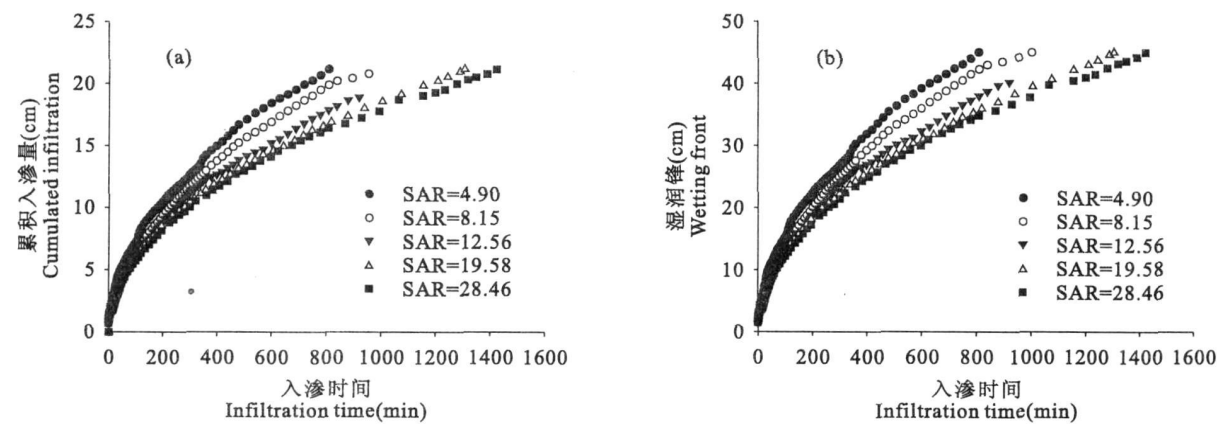


图 1 不同钠吸附比条件下累积入渗量和湿润锋随时间的变化

Fig. 1 The relationship between cumulated infiltration or wetting front and time with different SAR

由图 1(a)可知,在入渗水矿化度均为 3 g/L,钠吸附比分别为 4.90、8.15、12.56、19.58、28.46 (mmol/L)^{0.5}的条件下,相同时间内累积入渗量的变化规律为: 4.90 (mmol/L)^{0.5} > 8.15 (mmol/L)^{0.5} > 12.56 (mmol/L)^{0.5} > 19.58 (mmol/L)^{0.5} > 28.46 (mmol/L)^{0.5}。

即随着入渗水钠吸附比的升高,相同时间内累积入渗量减少,达到相同累积入渗量所用时间随入渗水钠吸附比的增加而增大。在入渗水矿化度相同条件下,钠吸附比的增加意味着水中 Na^+ 数量增加,由入渗水带入土壤中的 Na^+ 数量也随之增加, Na^+ 使土壤颗粒分散,粘粒膨胀,破坏土壤团聚体结构,导致土壤导水能力降低。所以入渗水的钠吸附比越高,对土壤结构团粒结构的破坏越严重,使土壤通透性变差,导水能力降低。图 1 中(b)图为湿润锋随时间的变化规律,由图可知,相同时间内湿润锋推进距离随着入渗水钠吸附比增加而减少。

为了进一步分析钠吸附比对土壤入渗特征的影响,利用具有明确物理意义的 Philip 入渗公式对不同钠吸附比的微咸水入渗量随时间变化过程进行分析。

Philip 认为在入渗过程中任意时刻的入渗率与时间呈幂级数关系,具体入渗模型为^[15]:

$$I(t) = St^{0.5} + At \tag{1}$$

式中, I 为累积入渗量 (cm); S 为土壤吸渗率 (cm/min^{0.5}); A 为稳定入渗率 (cm/min); t 为入渗时间 (min)。

由式(1)可知,累积入渗量和 $t^{0.5}$ 的关系为二次方程关系(截距为 0),拟合后二次项的系数为稳渗率 A ,一次项的系数为土壤吸渗率 S ,而且由于 $A = i(\infty)$,所以在短历时入渗时可以认为 $A = 0$ 。拟合出的方程为通过原点的直线,其斜率为土壤吸渗率 S 。

用 Philip 模型对上述 5 个不同水平的钠吸附比的微咸水入渗过程进行拟合,所得结果如表 4 所示。

表 4 Philip 模型对不同钠吸附比处理的拟合参数

Table 4 The fitted parameters by Philip Model for different SAR

SAR (mmol/L) ^{0.5}	4.90	8.15	12.56	19.58	28.46
S (cm/t ^{0.5})	0.6989	0.6929	0.6875	0.6089	0.6103
R^2	0.9965	0.9984	0.9976	0.9937	0.9816

由表 4 可知,对于初始含水率为 2.25% 的均质土壤,在一维垂直积水入渗条件下,当微咸水的矿化度相同时,用 Philip 模型分析出来土壤吸渗率的排序为 $4.90\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 8.15\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 28.46\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 19.58\text{ (mmol/L)}^{0.5}$,与试验观测结果相比较可知,在钠吸附比较低时 $[SAR < 12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5}]$,Philip 模型的计算结果与试验观测结果相同,当钠吸附比较高时 $[SAR > 12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5}]$,而试验观测结果为,随着钠吸附比的增加,土壤的吸渗率在钠吸附比为 $12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5}$ 时达到最大,之后随着钠吸附比的增加而减小。因此在钠吸附比较低时 $(SAR < 12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5})$,Philip 模型的计算结果与试验观测结果相同,当钠吸附比较高时 $(SAR > 12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5})$,Philip 模型的计算结果与试验观测结果相反,这说明 Philip 模型应用于微咸水入渗时,对于钠吸附比较低的微咸水计算结果较为精确,对于钠吸附比较高的微咸水,其计算结果有一定偏差,但具体机理仍有待于研究。

2.2 入渗水钠吸附比对土壤含水率分布的影响

图 2 显示了不同钠吸附比的入渗水在入渗试验结束后土壤剖面的实测含水率。

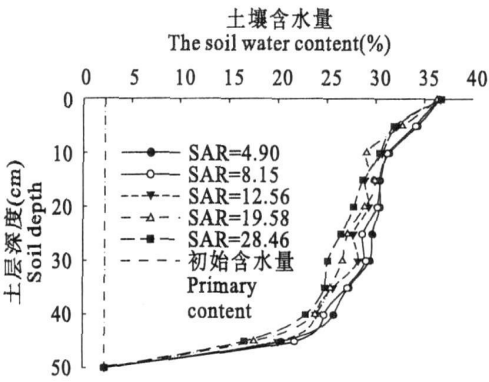


图 2 不同入渗水钠吸附比土壤含水率分布特征
Fig.2 Soil water content distribution characteristic at different water SAR

由图 2 可知,入渗结束后土壤表层含水率较大,基本接近饱和含水率,在 10~35 cm 之间,同一深度处土层含水率差别比较明显,含水率变化随着土壤深度的增加,土壤含水率逐渐减少,在 35~45 cm 深度处迅速减少,在 45~50 cm 处基本接近初始含水率。随着钠吸附比的变化,土壤剖面湿润区的变化均趋于一个稳定的陡峭面,即土壤水分运动接近活塞流。在同一土层深度处,随着钠吸附比的变化,土壤含水率的变化规律为: $4.90\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 8.15\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 12.56\text{ (mmol/L)}^{0.5} > 19.58$

$(\text{mmol/L})^{0.5} > 28.46\text{ (mmol/L)}^{0.5}$ 。即钠吸附比越大,土壤的导水能力越差。在入渗水矿化度相同的情况下,钠吸附比增加意味着入渗水中 Na^+ 相当于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 所占的比例增大,入渗水钠吸附比的增加导致了土壤溶液中 Na^+ 增多,从而使土壤颗粒分散,黏粒膨胀,土壤中大孔隙的比例减少,使土壤结构发生了变化,同一土层深度的土壤含水率变化及上述钠吸附比与累积入渗量和湿润锋的关系也说明了这一结论。

2.3 入渗水钠吸附比和土壤含盐量的关系

图 3 显示了相同矿化度不同钠吸附比微咸水入渗后土壤剖面的含盐量变化情况。

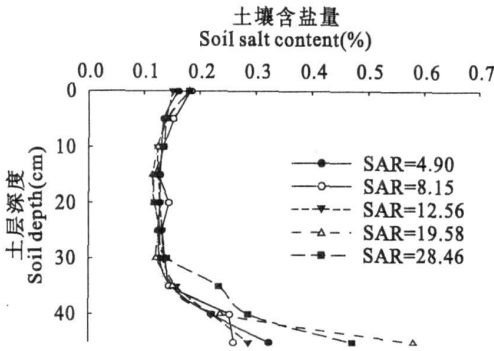


图 3 不同钠吸附比的微咸水入渗后土壤剖面的含盐量
Fig.3 The soil salt content at different SAR brackish water

由图 3 可知,在入渗水矿化度均为 3 g/L ,钠吸附比分别为 4.90、8.15、12.56、19.58、28.46 $(\text{mmol/L})^{0.5}$ 的情况下,从整个剖面来看,0~5 cm 表层盐分略低,5~35 cm 略有升高,40~45 cm 达到最大值;随着入渗水钠吸附比的增加,整个湿润剖面上除了湿润锋处外,含盐量变化不明显,因为入渗水的矿化度均控制为 3 g/L ,因此表明土壤上层含盐量主要受入渗水矿化度影响,与钠吸附比关系不大;土壤深层含盐量的急剧增大说明,尽管微咸水入渗能淋洗土壤上部水分,但会导致土壤下层的盐分增加,特别是湿润锋处盐分聚积明显。据当地研究资料表明^[16],小麦主要根系 80% 位于 0~40 cm,因此称这一层为主根区;由图 3 可以看出,盐分的累积主要发生在 40 cm 以下土层中,即用上述水质灌水时不会导致主根区的积盐现象。但结合前述分析,如果长期使用钠吸附比过高的微咸水灌溉,会导致土壤孔隙结构变化并会导致土壤导水能力下降,最终会导致土壤向碱化的方向发展。

2.4 入渗水钠吸附比与土壤中 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 的关系

土壤中的 Ca^{2+} 可以增加土壤通气透水,改善容

水性能,有利于作物生长;而交换性钠过高,可以引起土壤分散和膨胀,使土壤性质恶化,出现表层土壤板结,通透性差,不利于作物出苗和生长。由交换性

钠所引起大孔隙的微小变化,对土壤的渗透性产生很大影响^[17]。

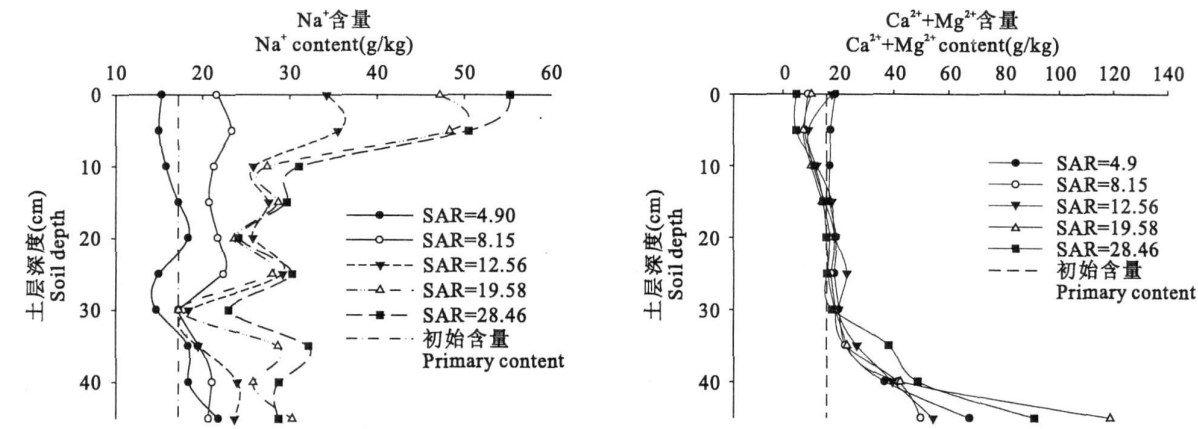


图 4 入渗后土壤中的钠、钙、镁离子含量(%)

Fig.4 The content of sodium, calcium and magnesium ion of the soil after infiltration

不同灌溉水质对土壤物理性质影响程度不同,特别是Na⁺含量较高的水灌溉后可能造成土壤碱化,因此有必要对不同钠吸附比微咸水入渗后土壤各离子含量进行分析。

图 4 显示了不同入渗水钠吸附比条件下,入渗结束后土壤Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺的分布特征。由图可知,土壤中Ca²⁺和Mg²⁺几乎呈活塞式运动,除了湿润锋处,整个剖面上的Ca²⁺和Mg²⁺含量都低于土壤初始Ca²⁺和Mg²⁺含量;且土壤剖面Ca²⁺和Mg²⁺含量随入渗水的钠吸附比变化不大。Na⁺的运移规律则与此相反,除了SAR = 4.90 (mmol/L)^{0.5}之外,整个剖面的Na⁺含量都大于土壤初始Na⁺含量,除了在湿润锋处Ca²⁺ + Mg²⁺和Na⁺都发生盐分累积外,两种离子在整个剖面上表现出此消彼长的同步变化。在土壤表层0~15 cm 的深度范围内,由于入渗水中Na⁺置换出了土壤胶体上的Ca²⁺ + Mg²⁺,从而使表层土壤中的Na⁺相对增加,Ca²⁺ + Mg²⁺含量有所降低;在土壤中层(15~30 cm),Na⁺和Ca²⁺ + Mg²⁺都相对稳定,出现了一个相对稳定的区域,该区域Na⁺含量高于土壤初始离子含量,而Ca²⁺ + Mg²⁺含量却低于土壤初始离子含量。土壤中这两种离子含量的此消彼长的同步变化表明在土壤胶体上发生了离子交换。而在土壤30 cm 以下到湿润锋的范围内,不同钠吸附比的微咸水带入土壤的Na⁺和Ca²⁺ + Mg²⁺经过上层土壤的淋洗累积到湿润锋附近,Na⁺和Ca²⁺ + Mg²⁺均有增大现象。

入渗,在土壤表层发生了Na⁺对Ca²⁺和Mg²⁺的置换作用,并导致表层土壤中Na⁺出现累积状态,使土壤的透气性和导水能力受到影响,而在土壤的深层处,受Na⁺的影响较小,虽然其含量也大于初始值,但离子浓度比Ca²⁺和Mg²⁺小,对土壤的影响较小。所以当使用钠吸附比较高的微咸水进行入渗时,Na⁺的危害主要发生在土壤表层15 cm 范围内,可以在该层土壤内采取一些措施缓解高浓度的Na⁺对土壤的危害。

3 结 论

当土壤初始含水率为2.25%时,用矿化度均为3 g/L,钠吸附比不同的微咸水进行入渗,累积入渗量和湿润锋的变化规律为随着入渗水钠吸附比的升高,相同时间内累积入渗量和湿润锋均减少。用Philip模型对入渗过程进行描述发现,对钠吸附比低于12.56 (mmol/L)^{0.5}的微咸水入渗,Philip模型计算结果比较准确,对于钠吸附比偏高的微咸水入渗,计算结果与实测结果差异较大。随着钠吸附比的升高,土壤水分运动接近活塞流,随着钠吸附比的升高,土壤溶液中的Na⁺浓度升高,土壤导水随之降低。土壤的含盐量主要受矿化度的影响,但钠吸附比也是不容忽视的因素,如果长期使用钠吸附比过高的微咸水灌溉会导致土壤孔隙结构变化并会导致土壤导水能力下降,最终会导致土壤向碱化方向发展。当利用钠吸附比较高的微咸水进行入渗时,Na⁺的危害主要发生在表层15 cm 范围内,土壤的深层受Na⁺影响较小,因此今后的研究应针对高钠

吸附比的灌溉水探寻在土壤表层采取一些措施缓解 Na^+ 对土壤危害的方法。

参 考 文 献:

- [1] Gawad G A, Arslan A, Gaihbe A, et al. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria (1999~2002) [J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 78: 39—53.
- [2] Feigen A. Effect of irrigation with treated sewage effluent on soil, plant and environment, irrigation with treated sewage effluent [M]. Berlin: Management for Environmental Protection, 1990. 59—87.
- [3] 郭太龙, 迟道才, 王全九, 等. 入渗水矿化度对土壤水盐运移影响的试验研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(增刊): 84—87.
- [4] 吴忠东, 王全九, 苏莹, 等. 不同矿化度微咸水对土壤入渗特征的影响研究[J]. *人民黄河*, 2005, 27(12): 49—51.
- [5] 王全九, 叶海燕, 史晓楠, 等. 土壤初始含水量对微咸水入渗特征影响[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 51—53.
- [6] 尹美娥. 咸水灌溉下的土壤水盐运动规律[J]. *水利水电技术*, 2000, 31(7): 22—24.
- [7] 蔺海明. 旱地农业区对咸水灌溉的研究和应用[J]. *世界农业*, 1996, (2): 45—47.
- [8] 逢焕成, 杨劲松, 严惠峻. 微咸水灌溉对土壤盐分和作物产量影响研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6): 599—603.
- [9] 毛振强, 字振容, 马永良. 微咸水灌溉对土壤盐分及冬小麦和夏玉米产量的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(增刊): 20—25.
- [10] 郭会荣, 靳孟贵, 高云福. 冬小麦田咸水灌溉与土壤盐分调控试验[J]. *地质科技情报*, 2002, 21(1): 61—65.
- [11] Xiao zhenhua, Prendergast B, Rengasamy P. Effect of irrigation water quality on soil hydraulic conductivity [J]. *Pedosphere*, 1992, 2(3): 237—244.
- [12] 李韵珠, 李保国. 土壤溶质运移[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 25—26.
- [13] 张永波, 王秀兰. 表层盐化土壤区咸水灌溉试验研究[J]. *土壤学报*, 1997, 34(1): 53—59.
- [14] 于天仁, 王振权. 土壤分析化学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 208—209.
- [15] Philip J R. The theory of infiltration; 1. The infiltration equation and its solution[J]. *Soil Sci.*, 1957, 83(5): 345—357.
- [16] 刘昌明, 魏忠义. 华北平原农业水文及水资源[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 38—39.
- [17] 乔玉辉, 宇振荣. 灌溉对土壤盐分的影响及微咸水利用的模式研究[J]. *生态学报*, 2003, 23(10): 2050—2056.

Study on impact of sodium adsorption ratio of saline water on soil physical and chemical properties and infiltration characteristics

WU Zhong-dong^{1,3}, WANG Quan-jiu^{1,2}

(1. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Institute of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255048, China)

Abstract: The exploration and utilization of saline water has become a valuable approach to remit freshwater resources insufficiency. The salt ion of the saline water influences the infiltration properties of the soil, and the incidence is different by the sodium adsorption ratio of the water. In order to analyze the influence of the sodium adsorption ratio to the soil infiltration capable, one dimensional infiltration experiments in laboratory was conducted in Nanpi experimental station of Academia Sinica, when the initial soil water content was 2.25% and the mineralization degree of the infiltration water was 3 g/L, both cumulative infiltration and wetting front change event with time was analyzed when infiltrated by saline water of different SAR. It is found that both of them has similar change law, it is precisely at SAR lower than 12.56 (mmol/L)^{0.5} when analyzed by Philip model. The water movement is approximately like piston flow at the soil profile in company with variation of sodium adsorption ratio; soil salinity principal is influenced by the degree of mineralization of infiltrated water but almost unrelated with SAR. It is observed that Mg^{2+} and Ca^{2+} are displaced by Na^+ when infiltrated by saline water with higher SAR, which led to the accumulation of Na^+ in the upper soil layer.

Key words: sodium adsorption ratio; cumulative infiltration; water content; soil salt content