

# SAR, EC 与水温对辽西褐土入渗速率的影响研究

武敏, 范昊明, 刘爽, 周丽丽, 贾燕锋, 王铁良

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

**摘要:**土壤入渗速率是影响灌溉水产流、侵蚀的重要因素之一。为了研究不同水温、不同 SAR/EC 下辽西褐土入渗速率,进行了室内变水头渗透试验。结果表明:SAR, EC 一定时,渗透系数随着灌溉水温的升高而增大,水温从 15℃ 升至 35℃,土壤渗透系数增大了 1.3 倍;随着灌溉水 SAR 增加、EC 降低,土壤渗透系数会下降,水温 35℃ 情况下 SAR 从 0.7 (mmol/L)<sup>0.5</sup> 增大至 12.0 (mmol/L)<sup>0.5</sup>, EC 从 2.0 dS/m 减小至 0.5 dS/m 时,土壤渗透系数由 0.000 698 cm/s 减小至 0.000 338 cm/s,渗透系数下降了 51.6%。相关分析表明水温、SAR/EC 对渗透系数的影响显著,回归分析分别建立了沟灌土壤渗透系数与水温、SAR/EC 二次函数数学模型,相关性极好。

**关键词:**土壤渗透; 钠吸附比; 电导率; 水温; 褐土

**中图分类号:** S157; S153

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)03-0276-04

## Effects of SAR/EC and Water Temperature on Infiltration in Cinnamon of Western Liaoning

WU Min, FAN Haoming, LIU Shuang, ZHOU Lili, JIA Yanfeng, WANG Tieliang

(College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** Soil infiltration rate is one of the important factors affecting runoff yield and soil erosion. Indoor variable head penetration test was conducted to study the influence of different water temperatures, sodium adsorption ratios (SAR) and electric conductivities (EC) in cinnamon of Western Liaoning Province. Under the same SAR and EC, soil infiltration coefficient increased with the increase of irrigation water temperature, soil infiltration coefficient increased 1.3 times while the temperature ranged from 15℃ to 35℃. Soil infiltration coefficient dropped with increase of SAR and decrease of EC of the irrigation water. SAR increased from 0.7 (mmol/L)<sup>0.5</sup> to 12 (mmol/L)<sup>0.5</sup>, EC decreased from 2.0 dS/m to 0.5 dS/m, the soil infiltration rate decreased from 0.000 698 cm/s to 0.000 338 cm/s, the infiltration coefficient decreased by 51.6% while water temperature was 35℃. Correlation analysis revealed that water temperature and SAR/EC had the significant influence on the infiltration coefficient. The quadratic function mathematic models describing the relationship between soil infiltration coefficient and water temperature and SAR/EC were established respectively through the regression analysis, and variables in the models had the good correlation.

**Keywords:** soil infiltration; sodium adsorption ratio; electric conductivity; water temperature; cinnamon

土壤侵蚀、面源污染、水质恶化、粮食减产等是影响人类生存与发展的重要问题,制约着社会经济的可持续发展,这些问题与灌溉侵蚀有着密切的关系<sup>[1-2]</sup>。灌溉侵蚀是指农田、菜园、果园在灌溉水的打击、冲刷等作用下产生的土壤及养分流失、地力衰退的现象。已有成果<sup>[3-7]</sup>多集中在降雨—入渗—径流过程及影响因素的研究。而关于沟灌研究较少,国外学者<sup>[8-12]</sup>认为含有较高 SAR 与较低 EC 的灌溉水具有更强的侵

蚀力;Lentz 等<sup>[13]</sup>在沟灌试验中发现钠吸附比(SAR)与电导率(EC)对土壤的侵蚀力具有显著的影响, SAR 为 12 (mmol/L)<sup>0.5</sup>, EC 为 0.5 dS/m 的灌溉水比 SAR 为 0.7 (mmol/L)<sup>0.5</sup>, EC 为 2.0 dS/m 的灌溉水中泥沙含量超过两倍以上。土壤入渗速率影响着灌溉水流侵蚀力的大小。Shainberg 等<sup>[14]</sup>就土壤中可交换钠浓度及土壤溶液浓度对土壤的影响进行的研究表明,土壤的渗透性随着可交换钠浓度的增加

收稿日期:2015-01-09

修回日期:2015-02-05

资助项目:国家自然科学基金项目“东北黑土低山丘陵区融雪侵蚀机理与过程研究”(41371272),“辽西褐土旱作农田区沟灌侵蚀机理与侵蚀过程研究”(41071183)

第一作者:武敏(1977—),男,山西大同人,讲师,硕士,主要从事土壤侵蚀过程与水土环境效应评价研究。E-mail:wumin7711@163.com

通信作者:王铁良(1965—),辽宁黑山人,教授,博士,主要从事农业水土环境、设施环境与结构研究。E-mail:tieliangwang@126.com

和土壤溶液浓度的降低而减小。Duck<sup>[15]</sup>通过研究温度对灌溉水入渗的影响发现正午时水从沟口流到沟尾温度升高 22℃,入渗速率提高了 70%。张丽君等<sup>[16]</sup>分析了不同钠吸附比、电导率及坡度条件影响下土壤侵蚀及土壤入渗的研究,研究表明随着钠吸附比的升高、电导率降低,土壤入渗量明显减少,而土壤侵蚀量增加。张永涛等<sup>[17]</sup>研究了水温对石质山地土壤渗透性的影响,发现入渗速度基本上是随水温升高而变大的,两者之间表现为较好的线性关系。辽宁西部地区,灌溉方式仍以地面沟灌为主。本研究旨在对不同 SAR、EC、不同水温条件下辽西沟灌地区褐土土壤渗透系数进行室内测定,以掌握 SAR、EC、水温对土壤水分入渗的作用机理,为研究褐土沟灌侵蚀、指导农田灌溉提供前提条件。

1 试验材料和方法

1.1 试验装置

试验在沈阳农业大学土工实验室进行,试验装置可分为两部分,渗透容器和变水头装置。渗透容器包括环刀,透水石,套环上盖下盖,环刀内径 61.8 mm,高 40.0 mm,体积为  $1.2\times10^{-4}\text{ m}^3$ ,变水头装置由渗透容器、进水管、变水头管、供水瓶三部分组成,供水瓶为马氏瓶,实验时将马氏瓶放在自制含有温控器、加热棒和冷却棒的水浴有机玻璃缸中来控制实验中灌溉水水温。

表 1 试验土壤机械组成								
石砾/(g·kg <sup>-1</sup> )	颗粒组成/(g·kg <sup>-1</sup> )					质地名称	粘化率	
>20 mm	2.0~0.2 mm	0.2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	B/C		B/A	
111.1	73.3	489.8	198.6	238.3	砂质黏壤土	1.0	1.1	

注:A 为表土层,B 为粘化层,C 为母质层。

(2) 灌溉水样:试验水样设置了 5 个不同的 SAR/EC 值的梯度,分别是:SAR0.7/EC2.0(处理 1),SAR3.0/EC1.5(处理 2),SAR6.0/EC1.0(处理 3),SAR9.0/EC0.8(处理 4),SAR12.0/EC0.5(处理 5)以及 5 个温度梯度,分别是 15℃,20℃,25℃,30℃,35℃。试验前向不同温度的去离子水中加入定量的 CaCl<sub>2</sub>,NaCl,将其钠吸附比及电导率调至不同梯度值,装在试验备用桶。

1.3 试验方法

试验进行之前首先要进行土样的制作。试验用土过 5 mm 的筛,去除草根碎石等杂物,控制土样的容重为 1.3 g/cm<sup>3</sup>,土壤含水率为 18.0%(为了保证一定的土壤溶液浓度,浓度过低时与离子水中的离子交换作用不明显),按照《土工试验规程》下中《变水头渗透试验》规程在常温下进行。土壤渗透系数公式如下:

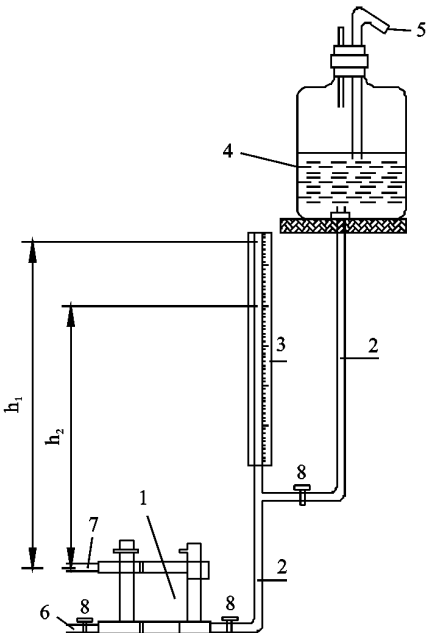


图 1 渗透试验装置

1. 渗透容器;2. 进水管;3. 变水头管;4. 供水瓶;5. 接水源管;6. 排气管;7. 出水管;8. 管夹

1.2 试验材料

(1) 试验土样:试验用土于 2010 年 9 取自辽宁省西部朝阳市,地理坐标为 120°27′29″E,41°32′13″N。典型的旱作农田褐土,取自表土 0~20 cm,表土呈褐色至棕黄色,有黏粒和钙的积聚,具有明显的粘化作用和钙化作用,适宜农作物生长。表 1 为试验用土的机械组成。

$$K=2.3\frac{aL}{At}\lg\frac{h_1}{h_2}$$
 (1)

式中:K——土壤渗透系数(cm/s);a——变水头管断面积(cm<sup>2</sup>);L——土样高度(cm);A——土样表面积(cm<sup>2</sup>);t——水头起始时间和终止时间差(s);h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>——起始和终止时间时水头(cm)。渗透系数越大,表明入渗速率越快,反之则越慢。

2 结果与分析

不同 SAR/EC、不同水温条件下土壤渗透系数及相关分析结果(表 2,3)可以看出,水温与土壤渗透系数 K 值的相关系数 r=0.736,表明水温与土壤入渗速率具有相关性,r>0,呈正相关,Sig.=0.00,水温对土壤入渗速率具有极显著影响;钠吸附比与 K 值的相关系数 r=-0.397,表明钠吸附比与土壤入

渗透率具有相关性,  $r < 0$ , 具有负相关性,  $\text{Sig.} = 0.25$ , 钠吸附比对  $K$  值的影响是显著的; 电导率与  $K$  值的相关系数  $r = 0.408$ , 电导率与土壤入渗速率也具有相关性,  $r > 0$ , 呈正相关关系,  $\text{Sig.} = 0.22$ , 电导率对  $K$  值的影响也是显著的。而钠吸附比对  $K$  值的影响较电导率更显著。造成这种现象的主要原因是: 当入渗水为钠吸附比较低的微咸水时, 微咸水带入的盐分离子与土壤胶体及土壤原有的离子发生交换吸附作用, 导致土壤孔隙特征发生了改变。其中钠吸附比值的升高表明水样中钠离子浓度的升高, 钠离

子会使土壤颗粒分散, 土壤黏粒膨胀, 破坏土壤团聚体结构, 对土壤孔隙产生封闭作用, 因此随着钠离子浓度的升高, 封闭作用逐渐加强, 土壤大孔隙减少, 入渗速度相应变慢。

而不同质地的土壤类型对沟灌水质的适应性不同, 砂壤土因其土壤颗粒以及颗粒间孔隙都较大, 对离子作用比较敏感, 而黏性土的透水透气性能都较差, 对水质变化适应性较差, 本试验中褐土性质更偏向砂壤土, 因此随着水样的 SAR 升高 EC 降低, 土壤入渗速率下降明显。

表 2 不同 SAR/EC、不同水温条件下渗透系数 cm/s

水温/℃	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5
15	0.000281	0.000288	0.000268	0.000267	0.000246
20	0.000287	0.000286	0.000278	0.000274	0.000252
25	0.000381	0.000376	0.000343	0.000339	0.000328
30	0.000393	0.000395	0.000338	0.000327	0.000326
35	0.000698	0.000523	0.000436	0.000403	0.000338

表 3 SAR、EC 及水温对土壤渗透系数影响相关分析

源	$r$	Sig.
钠吸附比	-0.397	0.25
电导率	0.408	0.22
水温	0.736	0.00

2.1 水温对入渗速率的影响

为了探讨不同水温对土壤入渗速率变化的影响, 分析土壤容重为  $1.3 \text{ g/cm}^3$  和土壤含水率为  $18.0\%$  时 5 种不同钠吸附比/电导率条件下土壤渗透系数变化规律(图 2), 可知随着水温的不断升高, 土壤渗透系数总体上呈现出一个显著上升的趋势。以入渗水  $\text{SAR} = 0.7/\text{EC} = 2.0$  为例进行分析, 水温为  $15^\circ\text{C}$  时,  $K$  值为  $0.000281 \text{ cm/s}$ , 水温为  $35^\circ\text{C}$  时,  $K$  值为  $0.000698 \text{ cm/s}$ , 水温升高  $20^\circ\text{C}$ ,  $K$  值扩大近 1.3 倍, 渗透系数增大趋势表现最为明显。从分子运动角度分析, 土壤水分子运动与温度的变化是有相关性的, 当温度升高时, 土壤水分子及入渗水分子的活性增强, 相应地表现为宏观上土壤水与入渗水的交互作用也在增强, 当入渗水温很高时, 由于分子作用比较强烈, 土壤的理化性质很快发生改变, 土壤大孔隙瞬间增多, 导水率增大, 入渗量增多, 入渗速率显著提高。从力学角度分析, 当入渗水温度升高时, 水的粘滞性会降低, 表面张力降低相应的基质势升高, 会导致入渗量增多, 入渗速率加快。而当入渗水质发生变化时, 土壤入渗速率增长速率有所下降, 可见, 水温对  $K$  值的影响要结合入渗水的 SAR/EC 值进行分析。

沟灌水水温为沟灌土壤入渗速率的重要影响因素, 沟灌土壤渗透系数( $y$ )与水温( $x$ )呈二次函数关

系( $y = ax^2 + bx + c$ , 其中  $a, b, c$  为常数), 其回归参数见表 3。沟灌入渗量随水温的增大而增大; 沟灌土壤渗透系数与水温相关性良好。

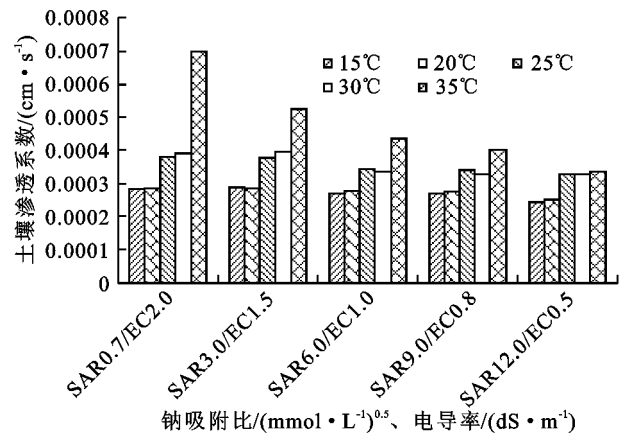


图 2 不同水温对土壤渗透系数的影响

表 3 沟灌水水温与土壤渗透系数的二次回归参数

影响因素	$c$	$a$	$b$	$R^2$
SAR0.7/EC2.0	0.001	-5.49E-5	1.47E-6	0.93
SAR3.0/EC1.5	0	-1.54E-5	5.40E-7	0.96
SAR6.0/EC1.0	0	-7.22E-6	3.03E-7	0.92
SAR9.0/EC0.8	0	-2.21E-6	1.74E-7	0.89
SAR12.0/EC0.5	6.06E-5	1.45E-5	1.89E-7	0.86

2.2 钠吸附比电导率对入渗速率的影响

同一温度下, SAR/EC 对土壤渗透系数的影响(图 3)分析可知随着钠吸附比的升高和电导率降低, 土壤渗透系数总体上都呈现出下降的趋势。水温  $35^\circ\text{C}$  时,  $\text{SAR} = 0.7/\text{EC} = 2.0$  的渗透系数为  $0.000698 \text{ cm/s}$ , 是  $\text{SAR} = 12.0/\text{EC} = 0.5$  时渗透系数的 2.1 倍, 灌溉水中不同浓度的可交换钠离子会改变土壤的孔隙特征, 当

可交换钠离子浓度升高时,土壤颗粒的弥散及膨胀作用增强,进而土壤团聚体的稳定性结构被破坏。当土壤颗粒发生弥散后,细小的颗粒将随水流运动堵塞土壤传导孔隙,使水分难以入渗,入渗量相应降低。同时可以看出入渗水温为 35℃时,曲线的下降趋势较水温 15℃,20℃,25℃,30℃时更明显,表明水温越高,水质对入渗速率的影响越显著。

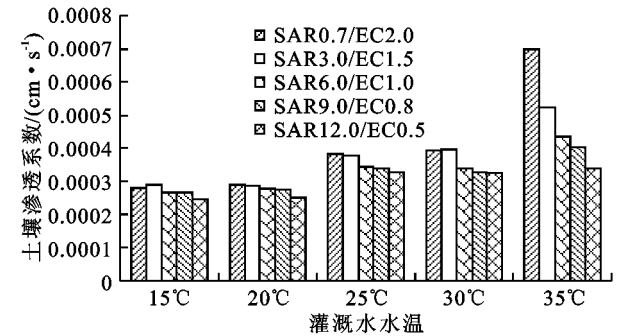


图 3 不同水质对土壤渗透系数的影响

用 SPSS 软件中的曲线估计对沟灌土壤渗透系数(y)与水质 SAR/EC(x)进行回归分析,得出其呈二次函数关系( $y=ax^2+bx+c$ ,其中  $a,b,c$  为常数),其回归参数见表 4。

表 4 沟灌水水质与土壤渗透系数的二次回归参数

影响因素	c	a	b	R <sup>2</sup>
水温 15℃	0	-1.98E-6	1.53E-8	0.91
水温 20℃	0	-1.15E-6	1.32E-8	0.99
水温 25℃	0	-6.30E-6	1.67E-7	0.95
水温 30℃	0	-1.07E-5	3.14E-7	0.93
水温 35℃	0.001	3.68E-5	9.99E-7	0.88

3 结论

土壤渗透系数与灌溉水 SAR,EC 相关性显著,与水温相关性极显著。随灌溉水 SAR 升高/EC 降低,土壤渗透系数 K 值呈减小趋势;随灌溉水水温的升高,土壤渗透系数呈递增趋势,土壤渗透系数与灌溉水 SAR/EC、水温呈二次函数关系,二者之间相关性良好。

在以往关于不同影响因素与土壤入渗关系的研究中,多关注于灌水率、土壤含水率、土壤容重对入渗速率及累积入渗量的影响关系,而对不同灌水性质影响下土壤入渗规律的定量研究较少,本研究不同灌水性质下的土壤入渗机理研究为沟灌侵蚀研究提供理论基础。

参考文献:

[1] 张玉斌,郑粉莉,武敏. 土壤侵蚀引起的农业非点源污染研究进展[J]. 水科学进展,2007,18(1):123-132.

[2] 王玉宝,何武全,邵光成,等. 农业灌溉的负效应[J]. 水资源保护,2006,22(3):9-11.

[3] 崔凤铃. 降雨入渗若干影响因素研究进展综述[J]. 西部探矿工程,2007(6):84-86.

[4] 王明刚,李森,金昌宁. 粤北石漠化地区坡地入渗产流规律试验研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):57-61.

[5] 赵娜娜,于福亮,李传哲,等. 降水入渗及土壤水分变化对产流过程影响研究进展[J]. 南水北调与水利科技,2014(2):111-115.

[6] 贾莲莲,李占斌,李鹏,等. 黄土区野外模拟降雨条件下坡面径流—产沙试验研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):1-5.

[7] 熊好琴,段金跃,王妍,等. 毛乌素沙地生物结皮对水分入渗和再分配的影响[J]. 水土保持研究,2011,18(4):82-87.

[8] Levy G J, Levin J, Shainberg I. Seal formation and interrill soil erosion[J]. Soil Science Society of America Journal,1994,58(1):203-209.

[9] Shainberg I, Laflen J M, Bradford J M, et al. Hydraulic flow and water quality characteristics in rill erosion [J]. Soil Science Society of America Journal,1994,58(4):1007-1012.

[10] Kim K H, Miller W P. Effect of rainfall electrolyte concentration and slope on infiltration and erosion[J]. Soil Technology,1996,9(3):173-185.

[11] Flanagan D C, Norton L D, Shainberg I. Effect of water chemistry and soil amendments on a silt loam soil- Part 1: Infiltration and runoff[J]. Transactions of the ASAE,1997,40(6):1549-1554.

[12] Flanagan D C, Norton L D, Shainberg I. Effect of water chemistry and soil amendments on a silt loam soil- Part 2: Soil erosion[J]. Transactions of the ASAE, 1997,40(6):1555-1561.

[13] Lentz R D, Sojka R E, Carter D L. Furrow irrigation water-quality effects on soil loss and infiltration[J]. Soil Science Society of America Journal,1996,60(1): 238-245.

[14] Shainberg I, Goldstein D, Levy G J. Rill erosion dependence on soil water content, aging, and temperature[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996,60(3):916-922.

[15] Duke H R. Water temperature fluctuations and effect on irrigation infiltration [J]. Transactions of the ASAE,1992,35(1):193-199.

[16] 张丽君,李法虎,万立国. 微咸水水质和地面坡度对沟灌土壤侵蚀的影响[J]. 节水灌溉,2010(4):26-28.

[17] 张永涛,杨吉华,夏江宝. 石质山地不同条件的土壤入渗研究[J]. 水土保持学报,2002,16(4):123-126.