

塔里木河上游荒漠河岸林土壤水盐分布规律研究

葛广华¹, 殷彩云², 王家强³, 柳维扬³, 补红英³, 牛建龙³

(1. 塔里木大学 水利与建筑工程学院,新疆 阿拉尔 843300; 2. 新疆生产建设兵团第一师 农业技术推广站,新疆 阿拉尔 843300;
3. 塔里木大学 植物科学学院,新疆 阿拉尔 843300)

摘要:对塔里木河上游荒漠河岸林不同覆盖度下土壤水盐分布规律的研究,为土壤盐渍化防治,干旱地区生态环境重建提供重要依据。通过对研究区不同植被覆盖度条件下($0\sim0.2$, $0.2\sim0.5$ 与 0.5 以上)的盐渍化土壤进行分层取样,测定其盐分和水分含量,分析在水平方向和垂直方向上的水盐变化规律。结果表明:相同深度土壤盐分随覆盖度的增大呈现减少的趋势,相同土层以5月份盐分含量最高,4月最低;而土壤水分随覆盖度的增大呈增高的趋势,相同土层含水量随时间上没有明显的差异,含水量4月份稍高,6月稍低。在相同覆盖度条件下随着土层由浅到深盐分积累逐渐减少,表层 $0\sim60$ cm 3个土层随时间推移盐分含量变化明显,其他土壤层次变化不大;而土壤水分与土层深度的关系不明显,随时间变化为4月份土壤含水量相对较多,6月份较低。在不同覆盖度不同土层盐分随水分含量变化规律为4月份覆盖度在 $0\sim0.2$ 时,土壤盐分与含水量呈显著负相关,覆盖度在 0.5 以上时,土壤盐分与含水量呈极显著正相关,其他月份相关性不显著;因此,塔里木上游荒漠河岸林土壤水分、盐分的变化与覆盖度、季节有很大关系。

关键词:塔里木河上游;荒漠河岸林;土壤水盐变化;分布规律

中图分类号:S714. 6 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)06-0007-06

Soil Water Salt Distribution Rule in Desert Riparian Forests in the Upstream of Tarim River

GE Guang-hua¹, YIN Cai-yun², WANG Jia-qiang³, LIU Wei-yang³, BU Hong-ying³, NIU Jian-long³

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Tarim University, Alar, Xinjiang, 843300, China;

2. Agricultural Technology Extending Stations, The First Division, The Xinjiang Production and Construction Corps,

Alar, Xinjiang 843301, China; 3 College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang, 843300, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for soil salinization control and reconstruction of ecological environment in arid area, the variation regularities of soil water and salt distribution under different vegetation coverages in the desert riparian forests in Tarim River upstream were investigated. Stratified sampling method was adopted in salinized soil with different vegetation coverage ($0\sim0.2$, $0.2\sim0.5$, 0.5 or above). Contents of water and salts were measured to examine their variation regularities in horizontal and vertical directions. The results showed within the same soil depth, soil salt content increased with the decrease of vegetation coverage; in the same soil layer, the salt content was the lowest in April and highest in May; soil moisture increased with the increase of vegetation coverage; in the same soil layer, water content had no obvious difference with time, soil moisture was a little higher in April, a little low in June. Under the same coverage, the soil salt accumulation gradually reduced with soil depth; significant variations of soil salt content with time were observed in 3 layers within the depth of 0 to 60 cm, while it was not significant

收稿日期:2016-03-04 修回日期:2016-05-31

基金项目:国家自然科学基金(31260140, 41161048);国家科技支撑计划(2014BAC14B0301);兵团青年科技创新资金专项(2012CB020);塔里木大学校长基金硕士资助项目(TDZKSS201101)。

作者简介:葛广华,女,讲师,硕士,研究方向:农业水土工程。E-mail:wchggghwzy@163.com

*通信作者:王家强,男,副教授,硕士,研究方向:森林土壤生态。E-mail:wjqzky@163.com

for other soil depths; the relationship between soil moisture and soil depth was not significant, the moisture content in April was relatively high, and low in June. In April, significantly negative correlations were found between soil salt and water under the vegetation coverage of 0—0.2 and the correlation was the most significantly negative under the coverage over 0.5, and no significant correlations were found in other months. It was concluded that the soil moisture and salt variations were closely correlated with vegetation coverage and season in the area studied.

Key words: Tarim River upstream; desert riparian forest; soil water and salt change; distribution regularity

干旱区内陆河流域的生态保育和可持续发展是当前社会各界关注的热点问题^[1]。荒漠河岸林作为干旱区内陆河流域河流廊道植被类型的主体,是保护区域生物多样性和保障绿洲农牧业生产的重要屏障^[2],因此,塔里木流域天然及人工绿洲系统的安全依赖于荒漠河岸林重要生态功能作用的发挥^[3]。土壤水分、盐分是流域水循环中的关键因子,也是制约干旱半干旱区植被恢复的主要因子^[4-5]。塔里木河流域荒漠河岸林是塔里木盆地植被恢复及生态修复的关键地区,而该区处在荒漠向绿洲的过渡区域,因此,研究塔里木河流域荒漠河岸林不同覆盖度下土壤水分、盐分动态对于塔里木河流域的生态环境建设具有重要意义。

目前,国内外已相继开展了土壤水、盐动态及运移方面的研究。多数研究者着重讨论了农田土壤水分和盐分的分布及动态变化^[6-10];也有学者研究土壤水盐的迁移机理及空间变异性^[11-13]。有关土壤水盐动态的研究主要集中在对农田、湿地、干旱区、寒冷区,而关于干旱区荒漠河岸林的水盐分布规律的研究还鲜见报道,因此,本研究以塔里木河流域上游三源(阿克苏河、和田河、叶尔羌河)交汇区作为研究区,通过采集不同月份、不同层次、不同覆盖度的林地土壤样本,分析土壤水、盐运移规律,为利用和改造盐渍土壤提供科学依据。

1 研究区概况

研究区为塔里木河上游三源交汇区,气候干旱,蒸发强烈,多年平均降水量17.4~42.8 mm,蒸发量1121~1636 mm,年平均气温10.8℃,属于大陆性干旱荒漠气候。该区为典型的绿洲农业^[14];土壤类型主要有草甸土、盐土、风沙土、沼泽土、绿洲潮土等^[15]。在干旱大陆性气候条件下,该区的地带性植被主要以耐旱的落叶中型乔木和温性灌木为主。研究区属于干旱荒漠区,无灌溉条件下,土壤含水量是随地下水埋深而变化的,地下水埋深越深,土壤含水量越小,而由于有浅层地下水和河水侧渗补给,造成天然植被距河道越远其覆盖度有明显降低的趋势,河道两岸的阶地发育着大面积以胡杨为主要建群种

的荒漠河岸林植物群落^[1]。

研究区内的主要植被有胡杨(*Populus euphratica*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、芦苇(*Phragmites australis*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、花花柴(*Karelinia caspia*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)等,土壤质地以砂土为主^[18]。由于林区覆盖度不同,土壤蒸散量不同,另外,不同植物在土壤中的根系分布深度不同,土壤积盐强度不同。过度放牧、开垦草地、毁林开荒、伐薪烧荒等破坏了地表植被,会改变地表的水盐平衡,使地表蒸发不断加强,加速盐分在地表积累^[19-21]。因此本研究着重探讨土壤水分、盐分在不同覆盖度条件下的变化规律。

2 研究方法

2.1 土样采集方法

于2013年的4—6月,距河道分别为2、6 km与14 km的距离,按覆盖度0~0.2、0.2~0.5及0.5以上进行土样采集,每月每种覆盖类型挖掘样本剖面为3个。每个剖面按20 cm深度,取铝盒样与分析样,直到浅层地下水为止,铝盒样测定土壤含水量,土壤样品,带回实验室自然风干过筛后,用四分法取500 g左右的土样密封装袋编号,用于土壤盐分的测定^[16]。

2.2 土壤含水量、总盐的测定

土壤含水量测定采用烘干法,土壤总盐的测定采用残渣烘干法^[17]。

2.3 数据分析与处理方法

土壤水分、盐分的变化规律分析采用Excel软件;盐分与水分的相关分析采用DPS软件。

3 结果与分析

3.1 不同覆盖度条件下相同深度土壤水分、盐分的变化

3.1.1 不同覆盖度条件下相同深度土壤盐分变化

0~20 cm土层植被覆盖度越大,盐分积累越少,5

月盐分积累最多,4月最少,但在覆盖度为0.2~0.5条件下,6月盐分积累比5月多;20~40 cm土层仍是覆盖度越大,盐分积累越少,但在覆盖度为0.2~0.5条件下6月盐分积累比任何其他覆盖度同一时间条件下都要多,表明20~40 cm土层6月盐分含量在不同覆盖度条件下,差异较大;40~60 cm土层6月的盐分含量仍然在不同覆盖度条件下差异较大,但在覆盖度0.5以上时,盐分积累较其他覆盖度是最多;土层为60~80 cm在覆盖度0.5以上随时间变化盐分积累呈递增变化,其他覆盖度5月盐分积累最多4月其次,但总体0.5以上覆盖度盐分积累最多;而在土层为80~100 cm覆盖度0~0.2不同时间盐分积累最多,0.2~0.5盐分积累最少。即不同土层,盐分含量不同,土层由浅到深盐分积累越来越少,可以分析出盐分大部分积累在土壤表层;而且覆盖度由小到大盐分含量大致呈减少的趋势;在相同研究区内随着时间的变化,盐分含量也发生变化,大部分4月份土壤盐分含量最少,5月份含量最多,6月份其次(图1)。

3.1.2 不同覆盖度条件下相同深度土壤水分变化

土层0~20 cm随覆盖度增大土壤水分含量逐渐增大,而5月土壤水分含量在覆盖度0.2~0.5水分含量最少;20~40 cm土层覆盖度增大,水分含量略有增大,其中6月的土壤水分在不同覆盖度条件下变化较大;40~60 cm土层不同覆盖度水分含量相当,在不同时间条件下6月的土壤水分含量相对较少;土层60~80 cm覆盖度0~0.2水分含量最少,0.2~0.5覆盖度水分含量随时间变化差异较大,80~100 cm土层时,土壤含水量变化与时间变化没有明显差异(图2);说明土壤含水量随着土层深度的增加,随时间的变化规律越不明显,而在不同覆盖度含水量有差异,覆盖度越大则含水量就越大,覆盖度与土壤含水量呈正比;4月份土壤含水量稍高,5月份其次,6月份含水量稍低。

3.2 相同覆盖度条件下不同深度土壤盐分、水分的变化

3.2.1 相同覆盖度条件下不同深度土壤盐分的变化

在覆盖度0~0.2盐分含量与土壤深度有很大的关系,在土壤表层土壤盐分积累最多,而在深度60 cm以后土壤盐分含量变化不大,其中5月盐分积累最多;在覆盖度0.2~0.5条件下,土壤盐分含量随土壤深度增大而减小;6月在20~40 cm土层的盐分积累最多;覆盖度0.5以上的林区,6月在40~60 cm土层盐分积累最多。在相同覆盖度条件下随着土层由浅到深盐分积累逐渐减少,根据4—6月中的盐分含量数据分析得出土壤盐分积累与覆盖度

有一定的关系;在不同覆盖度下各个土层盐分含量变化无明显差异,但在覆盖度为0~0.2的土壤表层盐分积累与其他覆盖度有明显差异,盐分含量比其他覆盖度条件下的高(图3)。

3.2.2 相同覆盖度条件下不同深度土壤水分的变化

在覆盖度为0~0.2条件下,土壤水分与土壤深度关系不明显,随着土层加深,土壤水分含量稍有增高;覆盖度0.2~0.5时,土壤水分含量与土壤深度

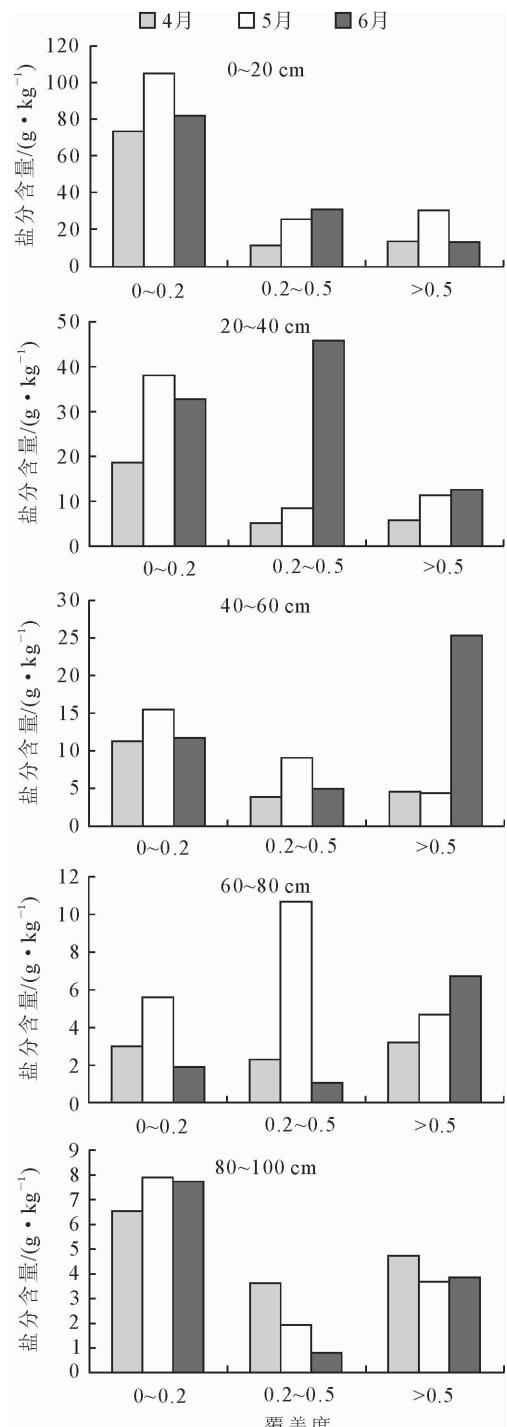


图 1 不同覆盖度条件下相同深度土壤盐分变化规律

Fig. 1 Variation regularities of soil salt content in the same depth under different vegetation coverage

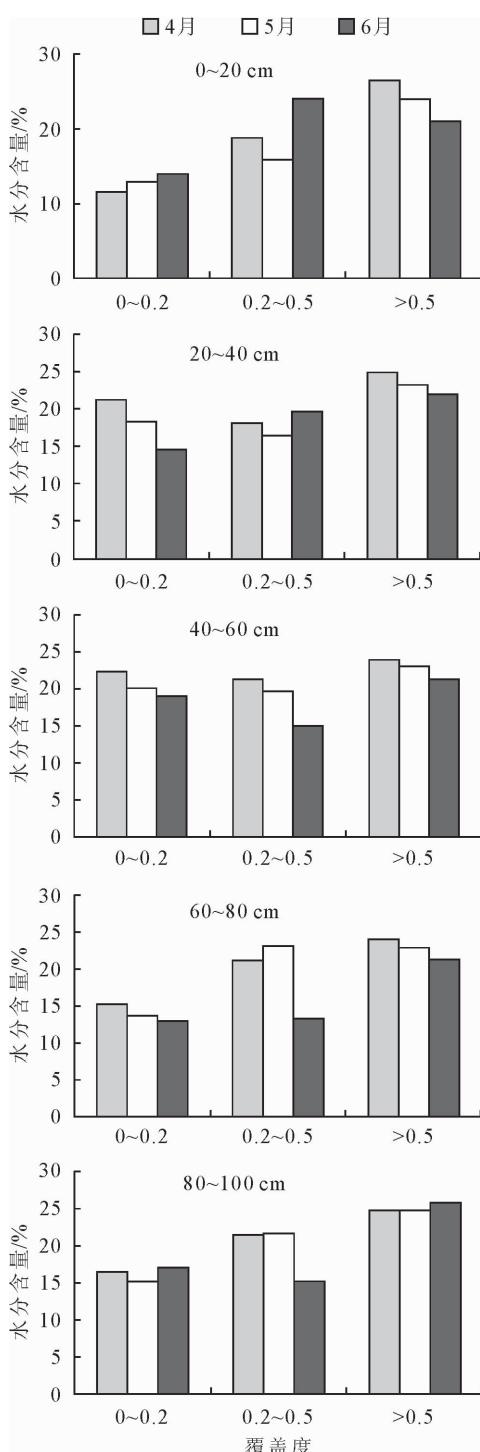


图 2 不同覆盖度条件下相同深度土壤水分变化规律

Fig. 2 Variation regularities of soil water content in the same depth under different vegetation coverage

关系不大,在 0~20 cm 与 20~40 cm 土层 6 月水分含量最多,40 cm 以后 6 月水分含量都较少;在覆盖度为 0.5 以上,不同土层水分含量相差不大,在土层 80~100 cm 各月的水分含量基本无变化。相同覆盖度下土壤水分与土层深度的关系不明显,土层由浅到深水分含量变化不大;在 4 月土壤含水量相对最多,而 6 月土壤水分含量相对较少(图 4)。

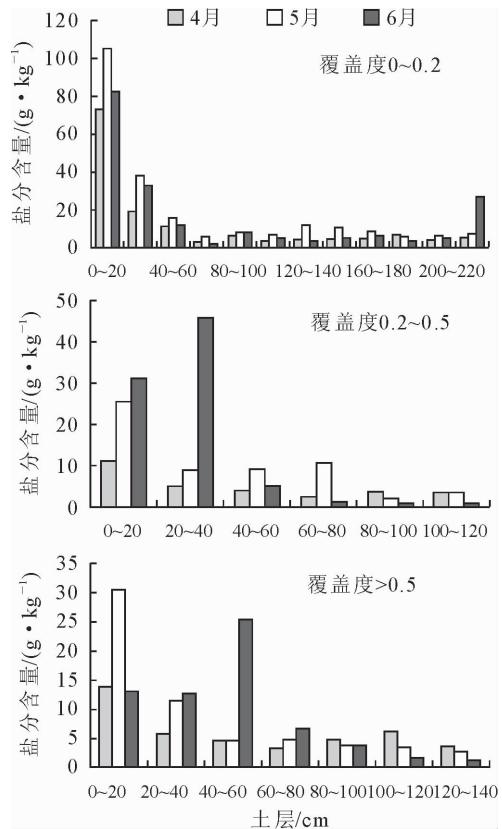


图 3 相同覆盖度条件下不同深度土壤盐分的变化规律

Fig. 3 Variation regularities of soil salt content in different soil depths under the same vegetation coverage

3.3 相同覆盖度不同土层盐分和水分含量的相关性分析

根据 4—6 月的不同土层不同覆盖度的盐分含量与水分含量做了在相同覆盖度不同土层盐分随水分含量变化规律分析,发现只有 4 月份覆盖度在 0~0.2 时,土壤盐分与含水量呈显著负相关(图 5),覆盖度在 0.5 以上时,土壤盐分与含水量呈极显著正相关,其他月份相关性不显著(图 6)。

4 结论与讨论

塔里木河流域上游三源交汇区(阿克苏河、和田河、叶尔羌河)相同深度土壤盐分随覆盖度的增大呈现减少的趋势,相同土层以 5 月份盐分含量最高,4 月最低;而土壤水分随覆盖度的增大呈增高的趋势,相同土层含水量随时间上无明显差异,含水量 4 月份稍高,6 月稍低。在相同覆盖度条件下随着土层由浅到深盐分积累逐渐减少,表层 0~60 cm 3 个土层随时间推移盐分含量变化明显,其他土壤层次变化不大;而土壤水分与土层深度的关系不明显,随时间变化为 4 月份土壤含水量相对较多,6 月份较低。在不同覆盖度不同土层盐分随水分含量变化规律为 4 月份覆盖度在 0~0.2 时,土壤盐分与含水量呈显著负相关,覆盖度在 0.5 以上时,土壤盐分与含水量

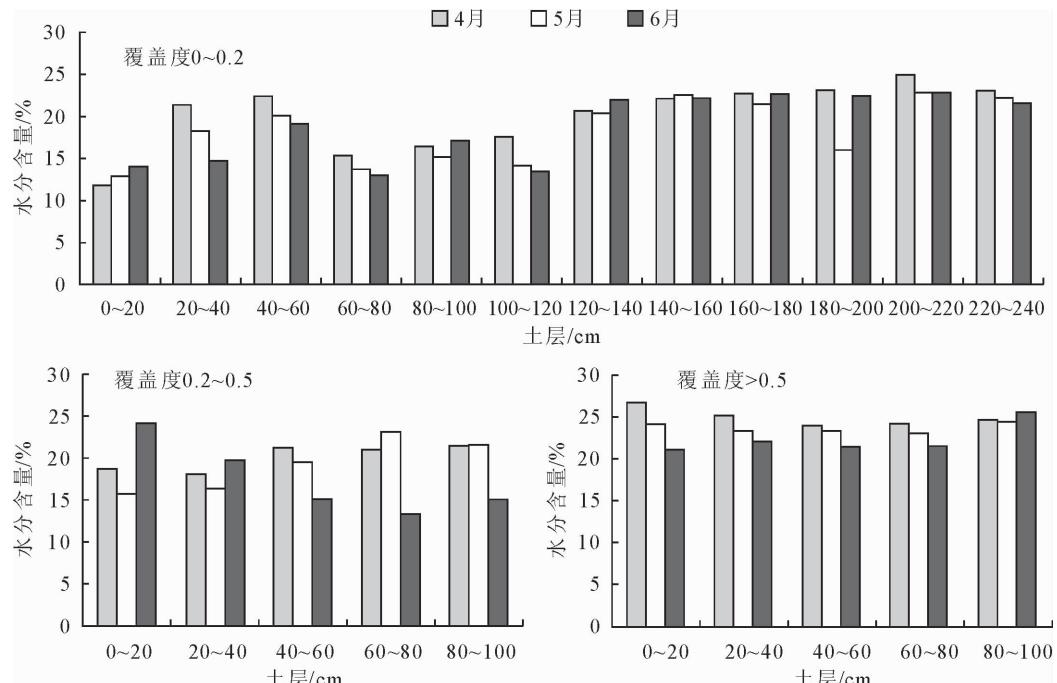


图4 相同覆盖度条件下不同深度土壤水分的变化规律

Fig. 4 Variation regularities of soil water content in different soil depths with the same vegetation coverage

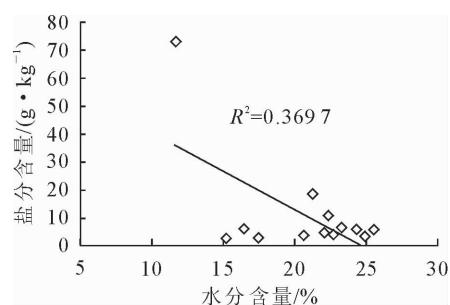


图5 在覆盖度0~0.2土壤盐分与水分含量的散点图

Fig. 5 The scatter plot of soil salt and moisture content in the coverage 0~0.2

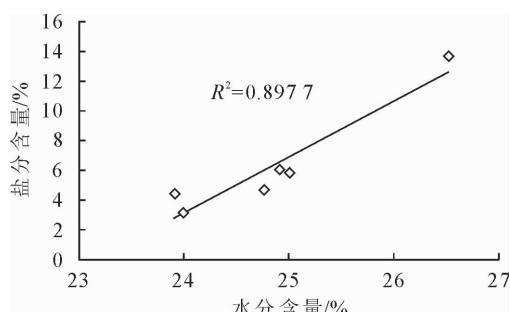


图6 在覆盖度0.5以上土壤盐分与水分含量的散点图

Fig. 6 The scatter plot of soil salt and moisture content above the coverage 0.5

呈极显著正相关,其他月份相关性不显著。

因为4月份温度较低,土壤水分蒸发较少;当温度升高时,土壤水分随温度升高而蒸发,浅土层矿物质随水分经过毛细作用上升而积累在表层,导致土壤此时盐分积累增多。6月的温度较高,4月较低,导致土壤水分蒸发,从而使6月土壤含水量最低。

不同深度的土壤湿度直接影响到土壤毛管水能否达到地表,使土壤产生积盐,同时也在一定程度上决定着土壤的积盐程度^[22];径流条件弱,地下水主要以垂向运动为主,利于土壤积盐^[23]。粘土夹层影响土壤水盐的垂直运动,表现在两个方面:第一,减缓土壤毛管水上升的速度,抑制表土返盐,黏土层越厚,部位越高,阻止毛管水上升的作用就越大,对于防止耕作层土壤积盐的作用也就越大。在各条件下层位的组合中,以具有浅位厚层、中位厚层和中位中层黏土夹层的土壤盐化程度黏土。第二,滞水托盐,阻碍水盐向下移动,增加土壤排水、脱盐的困难,在一般灌溉度较轻,根系层内具有10 cm厚的黏土层就能出现滞水、托盐的现象^[24]。有关研究分析当土壤溶液中盐分含量增加时,渗透压也随之提高,而水分的有效性,即水势却相应降低,植物吸水困难,即使土壤含水量并未减少,也可能因盐分过高而造成植物缺水,出现生理干旱现象^[25]。

本研究对不同覆盖度不同土层水分及盐分做了比较研究,得出覆盖度、季节与土壤水盐存在密切关系,与莫治新^[26]、刘普幸^[27]的研究结果相似,在一定程度上分析了干旱区土壤水盐运移规律,对土壤盐渍化防治提供了一定的理论基础,也可作为干旱半干旱区生态环境保护及国土整治的依据^[28];但对于盐渍土土壤水盐运移规律的研究是一个循序渐进不断深入的过程^[29];而土壤水盐运移同步与否,不仅与盐分类型有关,还与土壤质地、气候环境、水文和植被类型、覆盖度有关,由于,影响水盐运移的因素

较为复杂,因此,尚需对不同条件下水盐运移的关系进一步研究。

参考文献:

- [1] 白元,徐海量,刘新华,等.塔里木河干流荒漠河岸林的空间分布与生态保护[J].*自然资源学报*,2013,28(5):776-785.
BAI Y,XU H L,LIU X H,*et al.* Spatial distribution characteristics and ecological protection of the desert riparian forest in the mainstream of the Tarim River[J]. *Journal of Natural Resources*,2013,28(5):776-785. (in Chinese)
- [2] 韩路,王海珍,陈加利,等.塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征[J].*生态学报*,2011,31(16):4699-4708.
HAN L,WANG H Z,CHEN J L,*et al.* Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2011,31(16):4699-4708. (in Chinese)
- [3] 赵峰侠,尹林克.荒漠内陆河岸胡杨和多枝柽柳幼苗种群空间分布格局及种间关联性[J].*生态学杂志*,2007,26(7):972-977.
ZHAO F X,YIN L K. Spatial distribution pattern and interspecific association of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* seedlings populations along desert inland river[J]. *Chinese Journal of Ecology*,2007,26(7):972-977. (in Chinese)
- [4] PANDEY V,PANDEY P K. Spatial and temporal variability of soil moisture[J]. *International Journal of Geosciences*,2010,1(2):87-98.
- [5] 张小由,龚家栋,周茂先.额济纳三角洲土壤盐分特征分析[J].*中国沙漠*,2004,24(4):442-447.
ZHANG X Y,GONG J D,ZHOU M X. Analysis on characters of soil salinity in Ejin Delta[J]. *Journal of Desert Research*,2004,24(4):442-447. (in Chinese)
- [6] RAMOLIYA P J,PANDEY A N. Effect of salinization of soil one emergence, growth and survival of seedlings of *Cordiarothii*[J]. *Forest Ecology and Management*,2003,176(1/3):185-194.
- [7] 金树权,周金波,朱晓丽,等.农田河道河岸土壤含水量变化特性分析研究[J].*土壤通报*,2012,43(2):306-309.
JIN S Q,ZHOU J B,ZHU X L,*et al.* Study and analysis of soil moisture content variation on farmland riverbank[J]. *Chinese Journal of Soil Science*,2012,43(2):306-309. (in Chinese)
- [8] 徐英,陈亚新,王俊生,等.农田土壤水分和盐分空间分布的指示克立格分析评价[J].*水科学进展*,2006,17(4):477-482.
XU Y,CHEN Y X,WANG J S,*et al.* Using indicator Kriging to analyze and evaluate spatial distributions of soil water and salt in field[J]. *Advances in Water Science*,2006,17(4):477-482. (in Chinese)
- [9] 陈小芹,王振华,何新林,等.北疆棉田不同冬灌方式对土壤水分、盐分和温度分布的影响[J].*水土保持学报*,2014,28(2):132-137.
CHEN X Q,WANG Z H,HE X L,*et al.* Effects of winter irrigation method on soil moisture, salt and temperature distribution in cotton fields of North Xinjiang[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2014,28(2):132-137. (in Chinese)
- [10] 王经民,王灿,赵斌,等.不同林龄枣林土壤水分分布模型[J],*西北林学院学报*,2016,31(2):55-59.
WANG J M,WANG C,ZHAO B,*et al.* Numerical distribu-
- tion characteristic of soil water of different aged jujube plantations[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2016,31(2):55-59. (in Chinese)
- [11] ANATOLI BROUCHKOW. Salt and water transfer in frozen soils Induced by gradients of temperature and salt content[J]. *Permafrost Periglacial Processes*,2000,(11):153-160.
- [12] ZHANG D F,WANG S J. Mechanism of freeze-thaw action in the process of soil salinization in the north china[J]. *Environmental Geology*,2001,(41):96-100.
- [13] 田生昌,张永宏,武文渊.土壤盐分对两个品种柳树生长发育的影响[J].*西北林学院学报*,2015,30(6):126-129.
TIAN S C,ZHANG Y H,WU W Y. Influence of soil salinity on the development growth of 2 willow varieties[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2015,30(6):126-129. (in Chinese)
- [14] 王家强,彭杰,柳维扬,等.干旱区荒漠河岸林土壤全氮空间变异特征研究[J].*西北林学院学报*,2014,29(2):12-19.
WANG J Q,PENG J,LIU W Y,*et al.* Spatial heterogeneity characteristic of soil total nitrogen in desert riparian forest of arid area[J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2014,29(2):12-19. (in Chinese)
- [15] 寇思勇,赵成义,李君,等.塔里木河干流荒漠河岸林植物群落多元分析及其土壤环境解释[J].*干旱区资源与环境*,2009,23(3):156-161.
KOU S Y,ZHAO C Y,LI J,*et al.* Multivariate analysis and soil-environmental interpretation for plant communities of desert riparian forest in mainstream of Tarim River[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*,2009,23(3):156-161. (in Chinese)
- [16] 王家强,柳维扬,彭杰,等.塔里木河上游荒漠河岸林土壤速效氮空间变异性研究[J].*中国农学通报*,2014,30(1):52-57.
WANG J Q,LIU W Y,PENG J,*et al.* Study on soil available nitrogen spatial variation of desert riparian forest in the Tarim River upstream [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2014,30(1):52-57. (in Chinese)
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2011.
- [18] 常学向,赵爱芬,赵文智,等.黑河中游荒漠绿洲区免灌植被土壤水分状况[J].*水土保持学报*,2003,17(2):126-129.
CHANG X X,ZHAO A F,ZHAO W Z,*et al.* Status of soil moisture in oasis and desert unirrigated vegetation region along middle reaches of Heihe River basin[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2003,17(2):126-129. (in Chinese)
- [19] 王永东,徐新文,雷加强,等.塔里木沙漠公路生态防护林沿线土壤表层盐分特征[J].*干旱区研究*,2010,27(1):51-56.
- [20] COULIBALY P,ANCTIL F,ARAVENA R,*et al.* Artificial Neural Network modeling of water table depth fluctuations [J]. *Water Resources Research*,2001,37(4):885-896. (in Chinese)
- [21] 李宝富,熊黑钢,张建兵,等.两种植被覆盖度下土壤水分和盐分的空间变异性研究[J].*新疆农业科学*,2010,47(1):168-173.
LI B F,XIONG H G,ZHANG J B,*et al.* Study on spatial variability of soil water and salt under the two vegetation coverages[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*,2010,47(1):168-173. (in Chinese)

- [14] 吴耀兴,康文星,郭清和,等.广州市城市森林对大气污染物吸收净化的功能价值[J].林业科学,2009,45(5):42-48.
- WU Y X, KANG W X, GUO Q H, et al. Functional value of absorption and purgation to atmospheric pollutants of urban forest in Guangzhou[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(5): 42-48. (in Chinese)
- [15] 罗红艳,刘增.绿化树种对大气 SO₂ 的净化作用[J].北京林业大学学报,2000,22(1):45-50.
- LUO H Y, LIU Z. Effect of purifying SO₂ in atmosphere by greening tree species[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2000, 22(1): 45-50. (in Chinese)
- [16] 骆永明,查宏光,宋静,等.大气污染的植物修复[J].土壤, 2002(3). 113-119
- [17] 管东生,刘秋海.广州城市建成区绿地对大气二氧化硫的净化作用[J].中山大学学报:自然科学版,1999,38(2):109-113.
- GUAN D S, LIU Q H. The role of Guangzhou urban vegetation in removing atmospheric sulfur[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1999, 38(2): 109-113. (in Chinese)
- [18] CHANGLIAN P, DAZHI W E N, ZHIJIAN S U N. Response of some plants for municipal greening to air pollutants[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10(4): 321-327.
- [19] ZHOU Z, SHAO T, WANG P, et al. The spatial structures and the dust retention effects of green-land types in the workshop district of Wuhan Iron and Steel Company[J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 22(12): 2036-2040.
- [20] GB 3095-2012. 环境空气质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2012
- [21] 刘玉堂.济南市大气颗粒物酸缓冲能力研究[D].济南:山东建筑大学,2010.
- [22] 张磊.成都市大气颗粒物中水溶性酸性离子的化学特性评价[D].成都:成都理工大学,2009.
- [23] 赵松婷,李新宇,李延明.园林植物滞留不同粒径大气颗粒物的特征及规律[J].生态环境学报,2014,23(2):271-276.
- ZHAO S T, LI X Y, LI Y M. The Characteristics of deposition of airborne particulate matters with different size on certain plants [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(2): 271-276. (in Chinese)

(上接第 12 页)

- [22] 冯棣,张俊鹏,曹彩云,等.咸水畦灌条件下土壤水盐运移规律[J].水土保持学报,2011,25(5):48-52.
- FENG D, ZHANG J P, CAO C Y, et al. Soil water and salt migration under border irrigation with saline water[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(5): 48-52. (in Chinese)
- [23] 万素梅,胡守林,翟云龙.膜下滴灌棉花土壤水分动态变化研究[J].水土保持研究,2007,14(1):90-91.
- WAN S M, HU S L, ZHAI Y L. Studies on the dynamic change of soil water of cotton with drip irrigation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(1): 90-91. (in Chinese)
- [24] 魏光辉,董新光,杨鹏年,等.棉花膜下滴灌土壤盐分运移规律分析[J].水土保持研究,2009,16(6):162-166.
- WEI G H, DONG X G, YANG P N, et al. Study on soil salt movement in drip irrigation of cotton under the plastic mulch [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(6): 162-166. (in Chinese)
- [25] 李林英,齐实,王棣,等.汾河上游河岸带植被类型变化对土壤粒级组成及土壤水分的影响[J].东北林业大学学报,2009,37(6):23-24.
- LI L Y, QI S, WANG D, et al. Differences in soil particle composition and soil water content for different vegetation types in the riparian zones of the upstream of Fenhe River, Shanxi Province[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(6):23-24. (in Chinese)
- [26] 莫治新,王冀平.植被覆盖对土壤水盐空间分布规律的影响[J].河南农业科学,2009(3):43-46.
- MO Z X, WANG J P. Effects of the plant covering on the spatial distribution of the soil moisture and salt[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009(3): 43-46. (in Chinese)
- [27] 刘普幸,张克新,霍华丽,等.疏勒河中下游绿洲胡杨林土壤水盐的空间变化特征与成因[J].自然资源学报,2012,27(6): 942-952.
- LIU P X, ZHANG K X, HUO H L, et al. Characteristics and causes of the spatial variations of soil water and salt content under *populus euphratica* oliv. in the middle and lower reaches of the Shule River basin[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(6): 942-952. (in Chinese)
- [28] KONUKCU F, GOWING J W, ROSE D A. Dry drainage: a sustain-able solution to water logging and salinity problems in irrigation areas [J]. Agricultural Water Management, 2006, 83(1/2): 1-12.
- [29] 李洪,黄国强,李鑫钢.自然条件下土壤不饱和区中水含量分布模拟[J].农业环境科学学报,2004,23(6):1232-1234.
- LI H, HANG G Q, LI X G. HYDRUS-2D modeling of water contents in soils under climatic conditions[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23 (6): 1232-1234. (in Chinese)