

半干旱地区环境因素与表层土壤积盐关系的研究*

郭全恩^{1,2} 王益权^{1†} 郭天文³ 刘军¹ 南丽丽⁴

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

(2 甘肃省农业科学院土壤肥料研究所, 兰州 730070)

(3 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070)

(4 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070)

摘要 通过田间试验对半干旱地区甘肃省秦安县果园环境因素(蒸发量、降雨量、近地面空气温度和湿度、土温、土壤水分)与表层土壤的积盐关系进行了研究。结果表明:在综合环境因素的影响下,不同土层的全盐含量随着潜在累积蒸发量的增加而增大,表现为正相关。土壤温度升高,不同土层土壤均有积盐的趋势。土壤 0~2 cm、2~5 cm、5~10 cm 土层随着水分含量的增加有积盐的趋势,而 15~20 cm 和 20~25 cm 土层随着水分含量的增加有脱盐的趋势。土壤积盐受多种因素综合作用的影响。在果树生育期 4~8 月,15~20 cm 土层土壤盐分含量和土壤水分、气温具有较好的耦合效应,其模型为 $Y(\text{土壤盐分}) = 0.0027 - 0.0002X_1(\text{气温}) + 0.0154X_2(\text{含水量})$, ($p = 0.0047$)。因此,根据模型,在生育期 4~8 月,低气温和高土壤含水量正是该层土壤积盐期。根据气象因子对积盐的影响,科学地提出了 15~20 cm 土层为盐分的“活动面”的概念。

关键词 半干旱地区;环境因素;表层土壤;积盐

中图分类号 S156.4⁺1; S161 文献标识码 A

土壤盐渍化问题是干旱区可持续发展和改善环境质量的战略问题^[1],也是影响绿洲生态环境稳定的重要因素^[2]。甘肃省半干旱地区是年平均降雨量在 250~500 mm 的区域。该区的气候特点是干旱、年降雨量小、蒸发量大,且降雨在年内各月分配不均。在这种气候条件下,成土母质中的可溶盐类无法淋滤下移,而蒸发作用又将地下水、土壤盐分提升上来聚积于表层土壤内,加上灌溉不当等人为原因,导致土地次生盐渍化,严重阻碍了该区域的可持续发展。

目前,国内外关于环境因素对水盐运移影响的研究报道较少。张仁生、张转放、邱国庆等分别在各自的研究中考虑了冻融过程对土壤水盐运动的影响^[3],尤文瑞等对蒸发条件下土壤水盐动态规律进行了研究^[4~7],刘广明等对地下水蒸发规律及其与土壤盐分的关系进行了研究^[8]。而对空气温湿度、蒸发量、降雨量、气温和土壤水分对土壤表层积盐关系研究的报道更少。由于盐分离子在土壤中

的迁移不仅受地下水位、土壤溶液中离子的沉淀、溶解、交换吸附等多因素影响,而且还受环境因素如蒸发量、降雨量、气温、土温、土壤水分等的影响。

土壤盐分运移或积盐是各种环境因子影响行为的综合反应。在中国北方灌溉土地中,表层土壤盐分是土壤剖面中土壤特性变化最为活跃和复杂的部分,其受到土壤性质、地下水文、气象等自然条件与耕种、平地、灌溉等人类活动因子的制约。表层土壤盐分分布状态在一定程度上反映了耕作层内的盐渍化程度,是人们关注的热点之一^[9]。因此,研究半干旱地区环境因素与表层土壤积盐的规律,充分发挥环境因子和水肥生态因子的协同增效作用,对提高农业生产力具有十分重要的意义^[10~12]。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

项目区设在典型的有代表性的甘肃省半干旱

* 国家科技成果重点推广“钠质碱化土壤新型改良剂示范推广(项目编号 2005EC000335)”和甘肃省科技厅事业费项目“甘肃中东部地区苹果叶缘焦枯机理研究”资助

† 通讯作者, E-mail wyquan@163.com

作者简介:郭全恩(1974~),男,甘肃天水人,助理研究员,博士研究生,主要从事物质迁移及盐碱地改良的研究。E-mail qnguo@sina.com

收稿日期:2007-01-26 收到修改稿日期:2007-08-28

地区秦安县,海拔高度 1 120~2 230 m,相对高差 1 110 m,属陇中黄土高原梁峁沟壑区。年平均气温 10.4℃,平均日照时数 2 208 h,无霜期 178 d,是甘肃省典型的中部半干旱山区。试验期间月降雨量与蒸发量如图 1 所示。

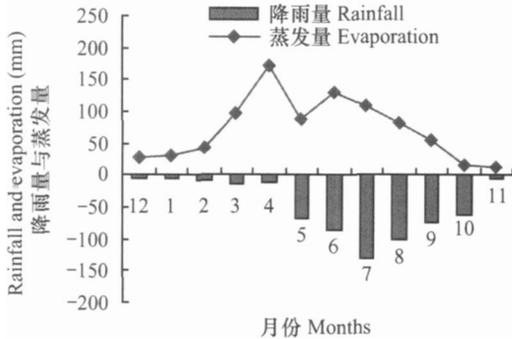


图 1 秦安县降雨量与蒸发量 (2004 年 12 月 ~ 2005 年 11 月)

Fig. 1 Rainfall and evaporation in Qin'an County (In Dec 2004~ Nov 2005)

1.2 试验材料及测定方法

选择 3 个有代表性的果园,进行定点定位测定土壤剖面 0~2 cm、2~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm 土层土壤水分、盐分的含量。土壤水分的测定用烘干法,盐分的测定用电导法(水土质量比为 5:1)。测定时间于 2005 年 4 月中旬开始,大约每半月测定一次,测定到 10 月中旬结束。同时每天早晨 10:00 与下午 4:00 分别用地温计测定土层 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm 土壤温度,用空气湿度计测定果园近地面空气相对湿度(距地面高度 1.0 m),用气温计测定果园近地面空气温度(果园近地面温度和湿度的变化见图 2)。同时每天测定大气日蒸发量与每次降雨量。

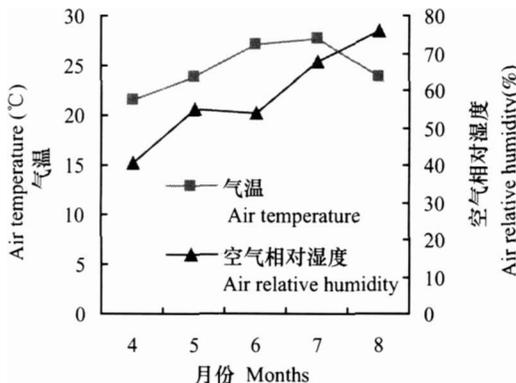


图 2 果园近地面空气温度和湿度的变化

Fig. 2 Variation of near-ground air temperature and relative humidity of orchards

2 结果与讨论

2.1 大气潜在累积蒸发量与土壤表层积盐的关系

潜在蒸腾蒸发概念是在 Thomthwaite 推动下形成的^[13]。Thomthwaite 曾将自己估算潜在蒸腾蒸发的方法应用到气候分类方案中去,该方法取决于实际降雨量和潜在蒸腾蒸发量的差,以及降雨量和潜在蒸腾蒸发量的全年各月分配^[14]。大气蒸发能使土壤水分汽化,成为土壤水盐向表层运行的动力,并使土壤发生积盐^[2]。由图 3 可以看出,不同土层的全盐含量随着潜在累积蒸发量(两次测定全盐期间大气日蒸发量的累积值)的增加而增大,表现为正相关。从直线斜率的大小可以看出不同土层土壤积盐能力的强弱: 2~5 cm 土层 > 0~2 cm 土层 > 5~10 cm 土层 > 15~20 cm 土层 > 10~15 cm 土层 > 20~25 cm 土层。这是由于土壤 0~10 cm 土层的大气蒸发力较土壤 10~25 cm 土层的大,盐分在以水为载体的条件下,通过大气蒸发力将深层土壤中的盐分带到了表层,这样表层盐分增加较底层多。同时,这非常清楚地反映了干旱地区不同土层全盐含量与蒸发量变化具有不同的特征。这一研究结果与刘广明报道的流域降水稀少,淋洗微弱,干旱多风,蒸发强烈,土壤水分以蒸发浓缩运动为主,土壤和地下水盐分随之上升,地表发生大量积聚^[15]相一致。

2.2 土壤温度与土壤表层积盐的关系

温度变化对水势产生影响^[16]。根据热力学, Gibbs 自由能是温度的函数。土壤温度影响土壤水分运动,既有液态方面的,也有气态方面的;在液态方面是由于它影响表面张力,在气态方面是由于对水气压有较大影响^[13]。根据 Fick 定律,水分有从热的区域向冷的区域运动的趋势。因此,可以说土壤温度为土壤盐分运动提供动能。从图 4 可以看出,土壤温度与盐分累积的趋势关系,随着土壤温度升高,土壤 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm 土层均有积盐的趋势,且不同土层积盐的趋势不同,直线的斜率表示积盐速率的快慢。表层 0~5 cm 土层和 20~25 cm 土层,随着土壤温度升高积盐速率较慢;而 5~10 cm、10~15 cm 和 15~20 cm 土层,随着土壤温度升高积盐速率较快。这是由于表层 0~5 cm 土层,在干旱强蒸发地区容易形成干土层,而盐分的运动要靠水为载体,没有水分,就没有载体,所以盐分积累较慢。而

20~25 cm土层,它既是盐分的累积层,又是盐分的传导层,一方面,受温度影响,它将其下层土壤的盐

分累积在该层;另一方面,它为上层盐分累积提供盐分来源。

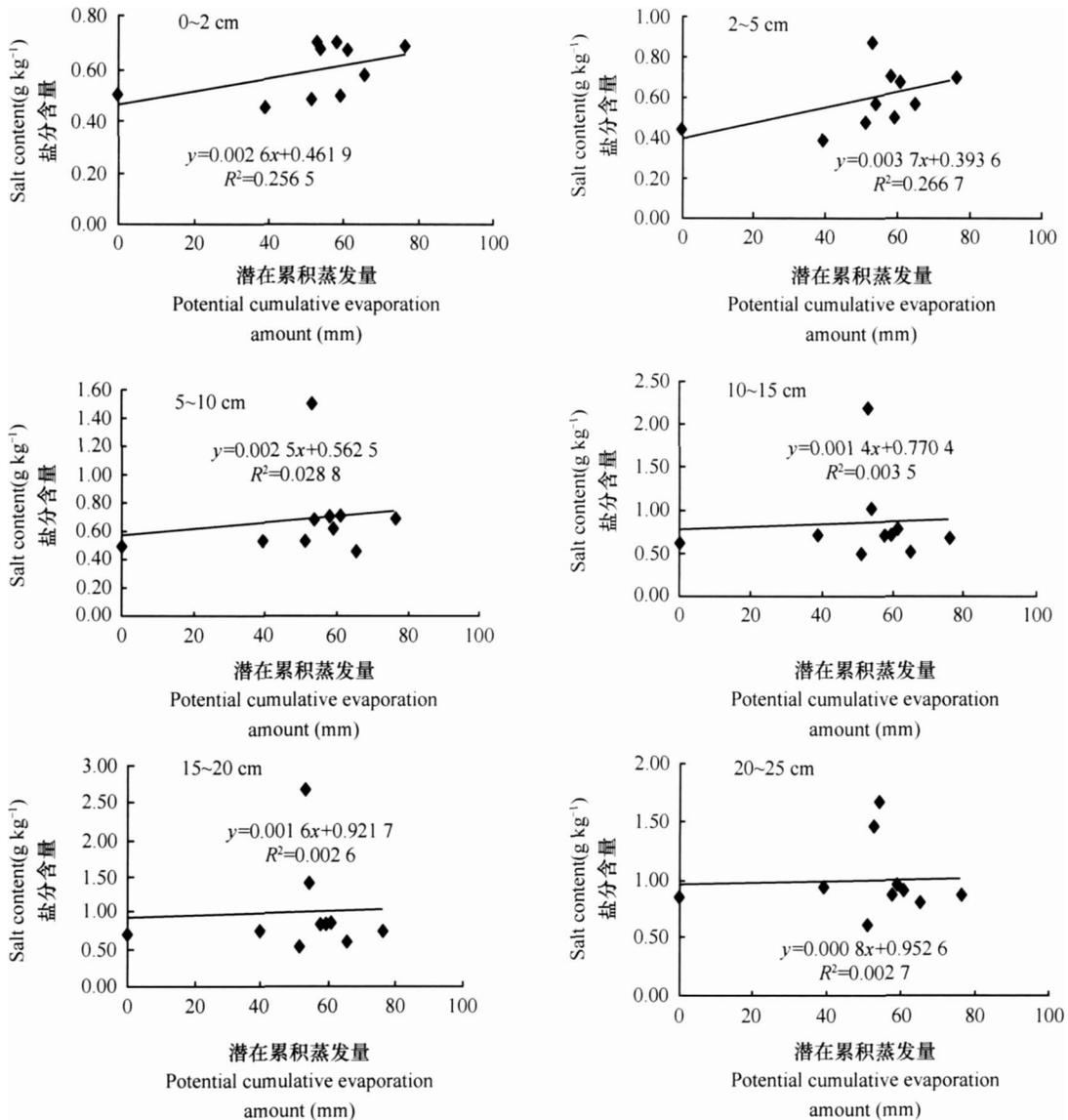


图3 潜在累积蒸发量与土壤表层不同土层盐分含量的相关关系

Fig 3 Correlation of potential cumulative evaporation amount with soil salt content in the surface soil layer and various soil layers

2.3 土壤含水量与土壤表层积盐的关系

大地盐分来源于岩石风化,为降水淋溶并随水运动,在大气降水转化为地表水、土壤水和地下水的过程中,盐分也随之发生积累和迁移^[17],所以说水是盐分运动的载体。由图5可以明显看出土壤含水量与土壤表层积盐趋势的关系:在0~2 cm、2~5 cm、5~10 cm土层,随着土壤水分含量的增加有积盐的趋势,且土壤2~5 cm、5~10 cm土层积盐速率大于0~2 cm土层,这是由于表层0~2 cm土层容易形成干土层,切断水分的运动,阻碍盐分的传导。这恰恰证明了Taylor的在干燥土壤中水流以跳

动式运动向干处移动的观点^[18]。在15~20 cm、20~25 cm土层,随着土壤水分含量的增加有脱盐的趋势;而在土壤10~15 cm土层,直线的斜率趋于0,即随着土壤水分含量的增加,既不存在积盐,也不存在脱盐,是盐分的传导区。

2.4 环境因子和土壤水分对土壤表层积盐的耦合效应分析及方程的拟合

由于盐分的运移不仅受到土壤水分的影响,还受到气象因子如蒸发量、降雨量、气温等多种因素的综合作用。为此,对果树生育期4~8月,果园近地面空气温度和相对湿度、土温、大气潜在累积蒸

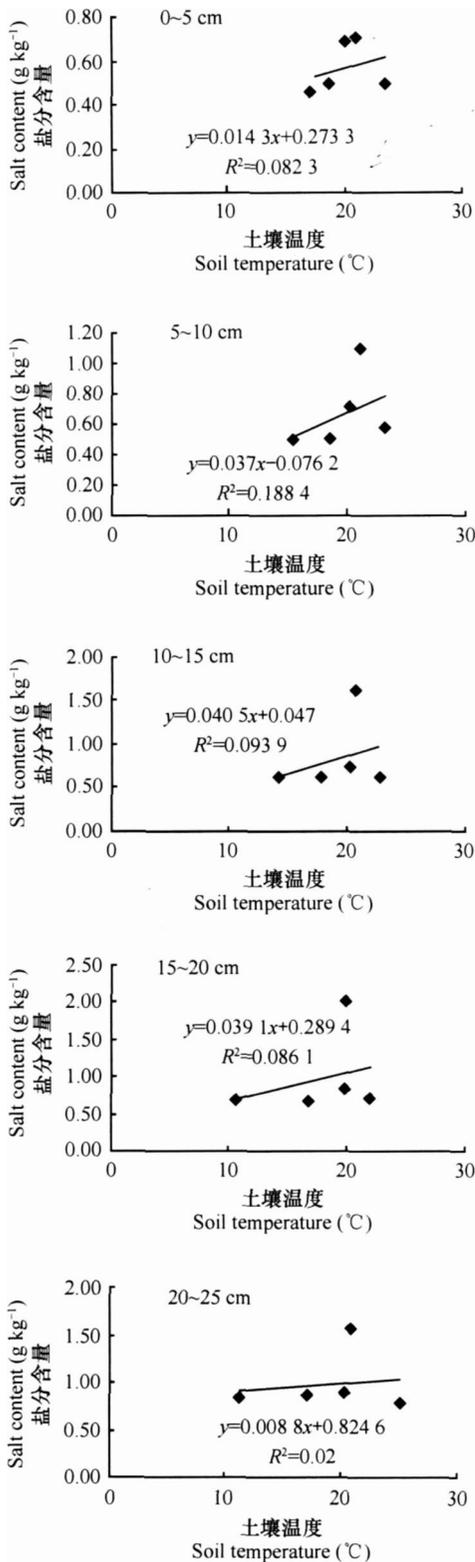


图 4 不同土层土壤温度与盐分含量的关系
Fig 4 Relationship between soil temperature and soil salt content in different soil layers

发量、累积降雨量、土壤水分和土壤表层 0~2 cm、2~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm 盐分

分别逐层进行多元回归,寻求其耦合效应。

SAS方差分析结果表明,只有土壤 15~20 cm 土层盐分含量与气温、土壤水分具有较好的耦合效应。由多元回归方程的假设测验看,回归方程达到极显著水平 ($p=0.0047$),复相关系数为 0.9273,调整后的复相关系数为 0.8691。从偏回归系数的假设测验看,变量 X_1 ($p=0.0023$)、 X_4 ($p=0.0070$) 的偏回归系数达到极显著水平,变量 X_2 ($p=0.8590$)、 X_3 ($p=0.2430$) 的偏回归系数不显著,应从方程中剔除。共线性诊断部分中,以最大特征值 3.0897 为 100%,求出各组中的条件指数,比较条件指数最大值所在行的系数,系数较大的那些自变量具有较大的共线性。可以看出,变量 X_2 与 X_3 具有较强的共线性,这与前述偏回归系数假设测验结果相吻合。

根据气温、土壤水分和盐分的回归系数及截距,可以得出回归方程为:

$$Y(\text{土壤盐分}) = 0.0027 - 0.0002X_1(\text{气温}) + 0.0154X_2(\text{含水量}), (p=0.0047).$$

由于受自变量之间存在共线性的影响,一个模型虽然复相关系数值较高,拟合程度较好,但该模型预测精度并不一定高,其原因回归方程包含了非主要变量,区间误差积累将影响预测误差。因此,一个回归模型是不是最好的模型,必须进行验证。为了验证方程的实用性和预测精度,可将实际测得的数据带到方程去验证。如气温 20°C,土壤水分 12%,可以预测其土壤 15~20 cm 土层盐分含量为 0.61 g kg⁻¹,预测结果符合当地大田盐分含量范围,说明该回归模型是最好模型。

从偏回归系数的实际意义看,变量 X_1 的偏回归系数为负值,表示该土层既是积盐层又是脱盐层。当气温升高时,该土层盐分含量降低,说明该土层是脱盐层,脱去的盐分用于其上土层积盐;当气温较低时,该土层是积盐层,将其下层土壤的盐分积于该层。

3 结 论

在综合环境因素的影响下,不同土层的全盐含量随着潜在累积蒸发量的增加而增大,表现为正相关。其积盐能力表现为: 2~5 cm 土层 > 0~2 cm 土层 > 5~10 cm 土层 > 15~20 cm 土层 > 10~15 cm 土层 > 20~25 cm 土层。土壤温度升高,不同土层土壤均有积盐的趋势,在 0~5 cm 和 20~25 cm 土

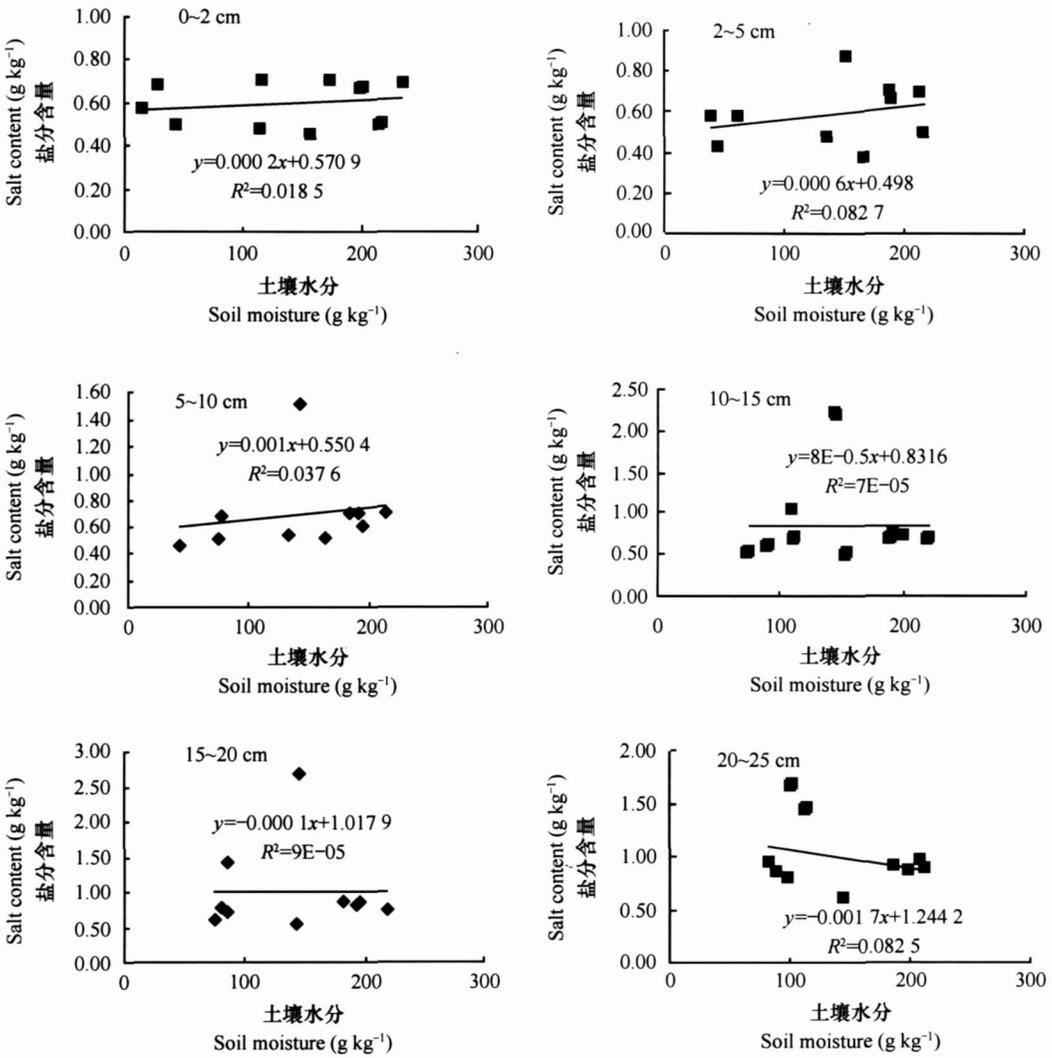


图 5 土壤含水量与土壤盐分的相关关系

Fig. 5 Correlation between soil moisture and soil salt

层,随着土壤温度升高积盐速率较慢;而 5~10 cm、10~15 cm 和 15~20 cm 土层,随着土壤温度升高积盐速率较快。在 0~2 cm、2~5 cm、5~10 cm 土层,随着土壤水分含量的增加有积盐的趋势,在 15~20 cm、20~25 cm 土层,随着土壤水分含量的增加有脱盐的趋势,而 10~15 cm 土层,是盐分的传导区。

土壤积盐受多种因素综合作用的影响。在果树生育期 4~8 月,气温和土壤 15~20 cm 土层水分、盐分含量具有较好的耦合效应。根据拟合的模型与研究区当年气温和土壤水分的变化,积盐期应该发生在 5 月和 6 月。

因此,从环境因子对积盐的影响来看,可以说表层 0~15 cm 土层和底层 20 cm 以下土层是反应迟钝层,它们对温度、水分的变化不够灵敏;而 15~

20 cm 土层是反应灵敏层,气温或土壤水分的变化会引起盐分在这个面上强烈而又频繁的上下活动。为此,将 15~20 cm 土层称作为盐份“活动面”。只有掌握弄清这个活动面,才能为土壤次生盐渍化的防治提供科学依据。

参考文献

[1] Zhou S W, Zhang G Y, Zhang X. Exchange reaction between selenite and hydroxy lion of variable charge soil surfaces. 1. Electrolyte species and pH effects. *Pedosphere*. 2003, 13 (3): 227~232

[2] 任加国, 郑西来, 许模, 等. 新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究. *土壤*, 2005, 37 (6): 635~639. Ren J G, Zheng X L, Xu M, *et al*. Research on salinization character of the soil in Yeerqiang River Valley in Xinjiang Province (In Chinese). *Soils* 2005, 37 (6): 635~639

- [3] 孙振元, 刘金, 赵梁军主编. 盐碱土绿化技术. 北京: 中国林业出版社, 2004 13~ 45 Sun Z Y, Liu J, Zhao L J eds *Vegetation Technique of Saline-alkali Soil* (In Chinese). Beijing China Forest Press 2004. 13~ 45
- [4] 尤文瑞, 孟繁华, 肖振华. 蒸发条件下非饱和粉砂壤土水盐动态. 见: 俞仁培主编. 土壤水盐动态和盐碱化防治. 北京: 科学出版社, 1987 1~ 14. You W R, Men F H, Xiao Z H. Trends of soil water and salt on unsaturated sandy-loam soil under evaporation (In Chinese). *In: Yu R P ed Soil Water and Salt Movement and Soil Saline Alkali Prevention and Cure* Beijing Science Press 1987 1~ 14
- [5] 孟繁华, 尤文瑞, 王复利. 蒸发条件下非饱和黏土水盐动态的研究. 见: 俞仁培, 尤文瑞主编. 土壤盐化、碱化的监测与防治. 北京: 科学出版社, 1993 74~ 82 Men F H, You W R, Wang F L Research of the trends on water and salt on unsaturated clay soil under evaporation (In Chinese). *In: Yu R P, You W R eds Supervise and Cure on Soil Saline and Alkali* Beijing Science Press 1993. 74~ 82
- [6] 欧阳丽, 孟繁华, 肖振华, 等. 蒸发条件下有黏土夹层粉砂壤土水盐动态. 见: 俞仁培, 尤文瑞主编. 土壤盐化、碱化的监测与防治. 北京: 科学出版社, 1993. 61~ 73 Ou Y L, Men F H, Xiao Z H, *et al* Trends of soil water and salt on sandy-ban soil with clay interlayer under evaporation (In Chinese). *In: Yu R P, You W R eds Supervise and Cure on Soil Saline and Alkali* Beijing Science Press 1993. 61~ 73
- [7] 刘福汉, 王遵亲. 潜水蒸发条件下不同质地剖面的土壤水盐运动. 土壤学报, 1993, 30(2): 173~ 181. Liu F H, Wang Z Q. Movement on soil water and salt in profiles of different texture under diving evaporation (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 1993 30(2): 173~ 181
- [8] 刘广明, 杨劲松, 李冬顺. 地下水蒸发规律及其与土壤盐分的关系. 土壤学报, 2002 39(3): 384~ 389 Liu G M, Yang J S, Li D S. Evaporation regularity and its relationship with soil salt (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2002, 39(3): 384~ 389
- [9] 陈亚新, 史海滨, 魏占民, 等. 土壤水盐信息空间变异的预测理论与条件模拟. 北京: 科学出版社, 2005 Chen Y X, Shi H B, Wei Z M, *et al* Prediction Theory and Condition Simulation on Properties of Spatial Variability Information of Water and Salt in Soil (In Chinese). Beijing Science Press 2005
- [10] 赵松岭. 集水农业引论. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996 Zhao S L. *Quote Theory on Catchment Agriculture* (In Chinese). Xian Shaanxi Science and Technical Press 1996
- [11] 李凤民. 论我国半干旱地区农业生产与生态系统可持续发展. 资源科学, 1999 21(5): 25~ 30 Li F M. Discuss on agriculture productivity and ecosystem sustainable development in semiarid region in China (In Chinese). *Resource Science* 1999, 21(5): 25~ 30
- [12] 李凤民, 王静, 赵松岭. 半干旱黄土高原集水高效旱地农业的发展. 生态学报, 1999, 19(2): 259~ 264 Li F M, Wang J, Zhao S L. Development of dryland agriculture on catchment high efficiency in loess plateau in semiarid region (In Chinese). *Journal of Ecological* 1999, 19(2): 259~ 264
- [13] 马歇尔 T J 霍姆斯 JW 著. 土壤物理学. 北京: 科学出版社, 1986. 119~ 337. Marshall T J Holmes JW. *Soil Physics* (In Chinese). Beijing Science Press 1986 119~ 337
- [14] Thomthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate *Geogr Rev*, 1948, 38 55~ 94
- [15] 刘广明, 杨劲松. 地下水作用条件下土壤积盐规律研究. 土壤学报, 2003 40(1): 65~ 69. Liu G M, Yang J S. Research on the law of the soil accumulation salt under the action condition of groundwater (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2003 40(1): 65~ 69
- [16] 姚贤良, 程云生, 等编著. 土壤物理学. 北京: 农业出版社, 1986. 303 Yao X L, Cheng Y S, *et al* eds *Soil Physics* (In Chinese). Beijing Agriculture Press 1986 303
- [17] 方生, 陈秀玲. 华北平原大气降水对土壤淋洗脱盐的影响. 土壤学报, 2005 42(5): 730~ 736. Fang S, Chen X L. Influence of atmospheric precipitation on soil leaching and desalinization in the North China Plain (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* 2005, 42(5): 730~ 736
- [18] 泰勒 S A 著. 华孟, 等译. 物理的土壤学. 北京: 农业出版社, 1983. 142~ 145. Taylor S A. Hua M, *et al* trans *Physical Soil* (In Chinese). Beijing Agriculture Press 1983 142~ 145

RELATIONSHIP BETWEEN ENVIRONMENT FACTORS AND TOPSOIL SALT ACCUMULATION IN SEMI-ARID REGIONS IN CHINA

Guo Quanen^{1, 2} Wang Yijuan^{1†} Guo Tianwen³ Liu Jun¹ Nan Lili⁴

(1 College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

(2 Soil and Fertilizer Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

(3 Dry Land Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

(4 Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract Field experiments were carried out to study relationship between environment factors (evaporation, rainfall, near-ground air temperature and relative humidity of orchards, soil temperature and soil moisture) and salt accumulation in topsoil in semiarid regions of Qin'an County of Gansu. Results indicate that total salt contents in different soil lay-

ers increased with the increase in potential cumulative evaporation amount under the integrated effect of environmental factors showing a positive relationship. With a rising soil temperature, salt accumulation in all the soil layers showed a rising trend. A similar trend was also observed when soil moisture increased in the soil layers of 0~2 cm, 2~5 cm, and 5~10 cm, but a reverse trend appeared with soil moisture rising in the soil layers of 15~20 cm and 20~25 cm. Soil salt accumulation was influenced by many factors. During the growth period of apple from April to August, the soil layer of 15~20 cm was prominent with a good coupling effect of air temperature, soil moisture content and soil salt content, which fits the model $Y(\text{Salt}) = 0.0027 - 0.0002X_1(\text{Air temperature}) + 0.0154X_2(\text{Soil moisture})$, ($p = 0.0047$). Therefore, according to this model, soil salt accumulates when air temperature is low and soil moisture content is high. And the concept "Salt Activity Surface" is thus brought forward.

Key words Semiarid regions Environment factor Topsoil Salt accumulation

第三届土壤污染与修复国际会议通知

由中国科学院主办,中国科学院南京土壤研究所、土壤与农业可持续发展国家重点实验室及国家重点基础研究发展项目(973-2002CB410800)办公室承办,荷兰土壤合作组织、荷兰瓦赫宁根大学 Alterra 研究所、英国洛桑研究所及香港浸会大学协办的"第三届土壤污染与修复国际会议(SoilRem 2008)"将于2008年10月18~21日在南京国际会议中心举行。本届会议旨在讨论土壤污染风险评估以及污染土壤修复的科学、技术与管理新问题,会议有关信息及注册、提交摘要/全文等相关事宜可登录会议网站:<http://159.226.104.139/home/indexFrameset.asp?id=2>。

会议主席: 骆永明 研究员

会议秘书: 宋 静 副研究员

通信地址: 南京市北京东路71号 中国科学院南京土壤研究所, 邮编: 210008

联系电话: 025-86881101(骆永明)、86881130(宋静), 传真: 025-86881128

E-mail ym_luo@issas.ac.cn jingsong@issas.ac.cn

第五届植物技术国际会议通知

由国际植物技术协会主办,中国科学院南京土壤研究所、土壤与农业可持续发展国家重点实验室承办的"第五届植物技术国际会议(Phytotech 2008)"将于2008年10月22~25日在南京国际会议中心举行。本届会议旨在讨论植物修复污染环境的科学理论及实际应用,会议有关信息及注册、提交摘要/全文等相关事宜可登录会议网站:<http://159.226.104.139/home/indexFrameset.asp?id=1>。

会议主席: 骆永明 研究员

会议秘书: 宋 静 副研究员

通信地址: 南京市北京东路71号 中国科学院南京土壤研究所, 邮编: 210008

联系电话: 025-86881101(骆永明)、86881130(宋静), 传真: 025-86881128

E-mail ym_luo@issas.ac.cn jingsong@issas.ac.cn