

景电灌区次生盐渍化土壤冻融特征*

张立新^{1,2} 徐学祖²

(1 北京师范大学遥感与 GIS 研究中心,资源与环境科学系,北京 100875 2 中科院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室,兰州 730000)

韩文玉

(甘肃省景泰县水利局,景泰 730400)

摘 要 通过对景电灌区一个冻融周期的现场观测,发现盐渍化土壤冻结期缩短,冻结深度减小,冻结起始位置不是地表,而是位于地表以下某个深度,这导致在冻结发展期间有两个冻结锋面出现,使水热盐动态更为复杂。

关键词 盐渍化,土壤,冻融过程

中图分类号 S155.2+93

了解土壤中水盐运动的机理和过程是认识土壤盐渍化发育的关键。经过多年的研究和实践,已取得了丰富的成果,确定土壤次生盐渍化的发育主要是因为地表强烈的蒸发作用促使矿化度较高的地下水沿土壤毛细管道上升至地表,水去盐留,造成盐分过度表聚的结果。中国西北地区盐渍化的广泛发育,与循环不畅的地下水矿化度较高和干旱、半干旱气候背景直接相关^[1~3]。此外,受大陆性季风气候影响的中国内陆地区,四季分明,土壤每年都要经受一次冻融过程,这显然是一种不可忽视的作用。室内外的研究工作反映了冻融过程对土壤盐渍化发育的影响^[4~5]。

新的观测表明,对于表聚强烈的盐渍化土壤,其冻结融化过程与不含盐冻土有所不同。受含盐量和含水量垂直分布的差异影响,土壤表层冻结温度大幅度降低。当气温下降土壤发生冻结时,不是从地表开始冻结,而是从地表以下某一深度处发生冻结,并同时向上下两个方向发展。其中向下的冻结过程与开放系统正冻土中的冻结过程类似,但向上的冻结过程,则由于冻结锋面的温度高于位于其上部的未冻土的温度,即处于一种逆温状态,且同时受到地表强蒸发作用的影响,因此,该部分的热质迁移比较复杂。由于垂直尺度较小,依据现场观测结果只能对此现象形成一个定性的认识,有待进一步的试验研究。

1 研究区状况和研究方法

景电灌区位于中国西北部的甘肃省境内,地处黄河上游沿岸,灌区面积 200 km²,年灌溉用水 1.2 亿

* 中国科学院院长基金特别支持项目

收稿日期:2000-07-07;收到修改稿日期:2001-08-15

m³左右。该灌区受干旱气候控制。据1990年至1997年的气象资料统计,年平均降水量为191.6 mm,年均蒸发量为2202.0 mm,平均相对湿度为47.3%,多年平均气温为8.2℃,冻结期从每年12月份开始至翌年4月份结束,土壤最大冻结深度为85 cm。在此气候背景下,除强蒸发作用外,该区还广泛遭受季节冻融作用的影响。

冻融工程试验观测场地位于景电灌区草窝滩盆地的中心地带,海拔1572 m,地势平坦,场地面积为120×90 m²,周围400 m范围内无植被,地下水位在距地面100 cm和140 cm之间波动。土壤层厚为4至7 m,以粉质亚粘土为主,下垫层为胶接完好不透水第三纪红砂岩。现场设定的观测内容包括地下水位、地温、土壤冻融状态及空间分布;供室内分析用样品采集包括土壤盐分分析样品、土壤含水量分析样品及地下水化学成分分析样品等。其中,地下水位是通过现场设置的观测井获得,每5天观测一次,灌溉或降雨期间增加观测次数。观测水位时,提取地下水样;地温采用埋设热敏电阻的方法测得,从地表开始,埋设的间隔为20 cm,最大深度达到180 cm,每天分早、中、晚共量测三次,取平均值;采用钻孔的方法,分层采集样品,样品代表的深度分别为1.5、5、15、25、35、45、60、80、100、125 cm,同时观测各层冻融状态;采用烘干法现场测试土壤含水量,土壤和水样的盐分分析在室内进行,采用离子色谱仪对主要离子K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻和CO₃²⁻进行了含量测试。为了确定盐渍化土壤冻结前的冻结温度,采用NMR(核磁共振)技术,测定了不同含盐量和含水量土层样品在不同负温状态下的未冻水含量。

2 结果分析

观测期间地下水化学特征如表1所列;不同深度地温变化、观测场地下水位埋深变化分别如图1和图2所示。

表1 地下水化学特征

Table 1 The chemical characteristics of groundwater

主要离子成分(g L ⁻¹) Ions						矿化度 Degree of mineralization (g L ⁻¹)	pH 值 pH value	
K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			
0.022	2.51	0.91	0.25	1.57	2.85	0.13	8.24	7.88

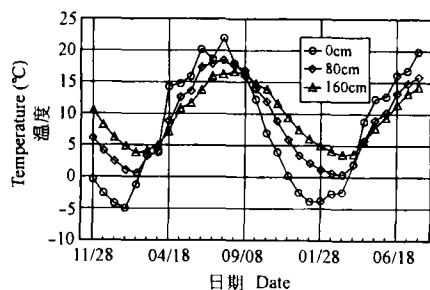


图1 不同深度地温随时间的变化(1997~1999年)

Fig.1 Change in ground temperature at different depths

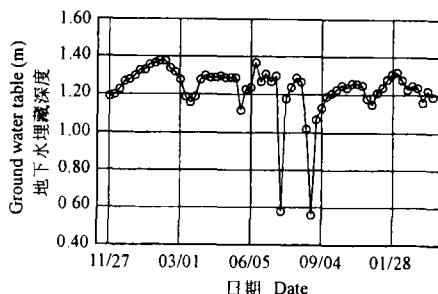


图2 观测期间地下水位变化(1997~1999年)

Fig.2 Change in groundwater table

2.1 土壤冻结前的水、盐剖面特征

从图3可见,景电灌区盐渍化土壤的一个显著特点是盐分的表聚性,即土壤表层0~10 cm范围内含盐量极高,所测资料显示最大值可达6%以上,随深度增加而呈迅速减小的趋势,80 cm以下土层含盐量一般不大于0.5%。同时由于地表蒸发作用,表层水分散失强烈,含水量剖面呈现为随深度增加而迅速增加的趋势,至地下水位附近时达到饱和。

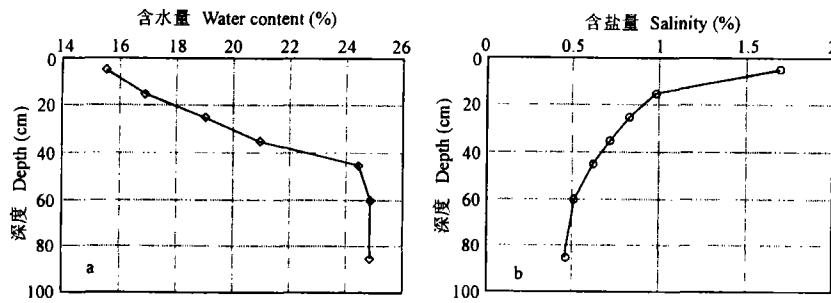


图3 冻结前土壤水分(a)和盐分(b)剖面(1998年12月1日)

Fig.3 Water-salt profile in soil before freezing (December 1, 1998)

2.2 土壤水、盐含量与冻结特征

土壤冻结特性与其含盐量和含水量密切相关,高的含盐量和低的含水量都将导致土壤冻结温度的降低。由于盐渍化土壤盐分和含水量沿垂直方向分布的不均匀性,导致了其冻结温度在垂直方向上的差异,因此盐渍化土壤表现出一种不同于普通土壤的冻融特征。

依据气温资料,该地区的非含盐土壤冻结一般发生于12月初,而完全融化则在次年4月上旬前后。土壤的冻结除了与气温有关外,还决定于其不同深度的冻结温度。图4所示为针对图3中水盐剖面所测得的各层样品未冻水含量随温度的变化曲线。基于土中未冻水含量与温度之间的通用经验表达式

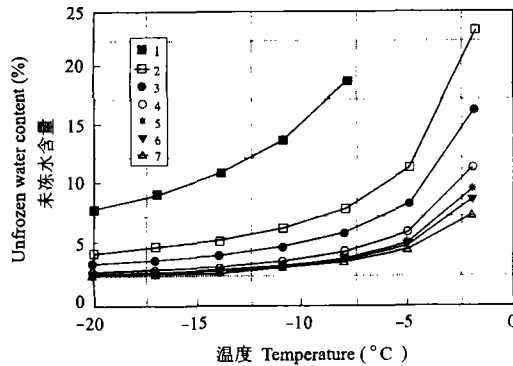


图4 不同温度时未冻水含量

Fig.4 Unfrozen water content at different temperatures

$W_u = B \cdot |T|^A$, 针对每条曲线回归计算综合参数 A 、 B 值。式中 W_u 为未冻水含量(%); T 为负温值($^{\circ}\text{C}$)。表2列出了各样品的 Cl^- 含量和含水量以及对应的 A 、 B 值。

表2 样品未冻水含量参数 A 、 B 计算结果Table 2 Parameters A and B of unfrozen water

样品号 Sample No.	深度 Depth (cm)	含水量 Water content (%)	Cl^- 含量 Cl^- content (%)	A	B
1	5	15.55	0.39	-0.99	149.29
2	15	16.90	0.22	-0.72	34.62
3	25	19.00	0.18	-0.75	32.76
4	35	20.92	0.14	-0.70	21.52
5	45	24.42	0.10	-0.67	16.30
6	60	24.87	0.08	-0.63	14.55
7	85	24.84	0.08	-0.64	15.48

基于兰州黄土的冻结试验表明,在各阴离子中, Cl^- 对冻结温度的影响最大,随着土中溶液浓度的增大,冻结温度以线性形式降低;而 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 在低温下存在的浓度很小,即使初始浓度不同,随着温度的降低,其浓度都将趋于一致,最终达到饱和浓度,因此,

它们对土壤冻结温度的影响较小,可以忽略不计^[6]。含水量对冻结温度有明显影响,而土的容重对冻结温度的影响也可以忽略^[6],因此,计算中只考虑冻结温度与含水量和 Cl^- 含量的关系。用总含水量 W_0 代替未冻水含量 W_u ,建立求解冻结温度的关系式如下:

$$T_f = (W_0/B)^{1/4} \quad (1)$$

$$A = -1.66Sc^2 - 0.32Sc - 0.61 \quad (2)$$

$$B = 1.50 \times 10^3 Sc^2 - 2.73 \times 10^2 Sc + 28.37 \quad (3)$$

式中 T_f 为冻结温度, ($^{\circ}\text{C}$); W_0 初始含水量, (%); A 和 B 为与土壤有关的综合参数; Sc 为土中 Cl^- 含量(%).

取 1998 年 12 月 1 日的盐分和水分含量实测剖面(图 3)作为依据,推测冻结前土壤冻结温度的垂直分布特征。依据冻结温度与氯离子含量和含水量的相关关系,计算了在相应含盐量和含水量剖面中冻结温度沿深度的分布情况,如图 5 所示。

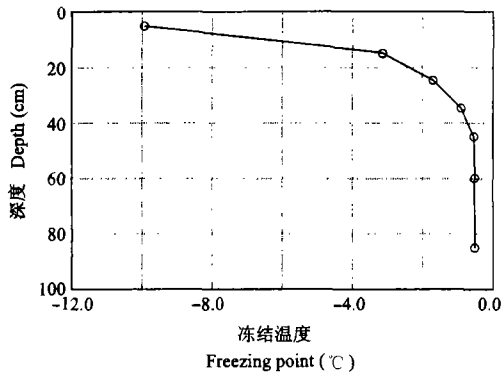


图 5 土壤冻结温度剖面

Fig. 5 Freezing point profile in soil

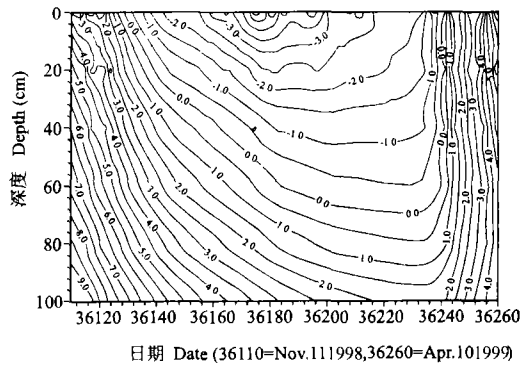


图 6 地温等值线图

Fig. 6 Isotherms of ground temperature

2.3 地温分布

通过观测土壤温度场的分布状况,同时结合计算所得冻结温度剖面,就可以大致了解土壤的冻结融化过程。依据图 1 中数据,绘制冻结时段内地温等值线如图 6 所示。

2.4 土壤冻结融化过程推断与实测

非含盐土壤的冻结温度的高低主要由含水量决定。对于上述所选冻前水盐剖面,单就含水量来讲,其冻结温度应接近于 0°C ,理想状态下,冻融过程锋面沿 0°C 等温线发育。当有盐分介入以后,冻结温度大幅度降低,且由于水盐分布在空间呈现一定的特殊性,即土壤表层盐分含量大,水分含量小,向下含盐量减小,含水量增大。这种水盐分布导致土壤冻结温度如图 6 所示,表层低、深部高,而且差别显著。由此推断,盐渍化土壤的冻结有一定的特殊性,结合温度场,可以断定土壤冻结发生于土壤内部,最大冻结范围在深度 20~60 cm 范围内。

为获得土壤沿深度的含水量和含盐量剖面以及其冻融发育过程,每周通过钻孔取样一次,对样品进行含水量和含盐量分析。进入 11 月中旬,开始关注样品冻结状况,方法是采用肉眼和放大镜观察土粒间冰晶的发育情况,直到 1 月初,在深度 30 cm 处,发现有微小冰晶出现,以此为标准,推断土壤发生冻结。在以后的取样过程中,观测到两个冻结锋

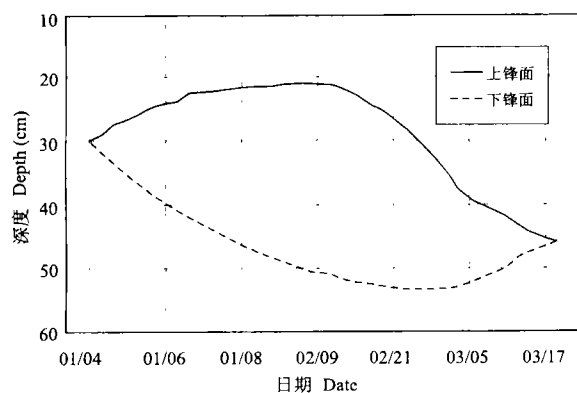


图7 盐渍化土壤冻结融化过程(1998年)

Fig.7 Freezing and thawing processes of salinized soil(1998)

面的存在,上冻结锋面逐渐向上发展,但发展缓慢,到2月中旬左右,锋面开始向下回落,回落速度随天气变暖而加快。下锋面向下发展速度较快,且延续时间较长,直到2月下旬才开始向上融化。至3月18日左右,土壤全部融化。冻结锋面的发展过程如图7所示。由于有两个冻结锋面的存在,且上部锋面的温度高于土壤表层温度,因此,在此范围内形成冻结过程中奇特的逆温度梯度现象,它使水盐迁移变得更为复杂,有待继续研究。

参 考 文 献

1. 王伦平,陈亚新,曾国芳等编著.内蒙古河套灌区灌溉排水与盐碱化防治.北京:水利电力出版社,1993.1~57
2. 徐学祖,张立新,刘勇智等.甘肃盐渍土及土壤水分改良三环节探讨.冰川冻土,1998,20(2):101~107
3. 王遵亲等著.中国盐渍土.北京:科学出版社,1993.350
4. 邱国庆等著.甘肃河西走廊季节冻结盐渍土及其改良利用.兰州:兰州大学出版社,1996.62~72
5. 徐学祖,邓友生.冻土中水分迁移的试验研究.北京:科学出版社,1991.95~113
6. 邱国庆,王雅卿等.兰州地区黄土的冻结温度.冰川冻土,1990,12(2):105~116

THE FREEZING-THAWING CHARACTERISTICS OF SALINIZED SOIL IN JINGTAI IRRIGATED AREA OF CHINA

Zhang Li-xin^{1,2} Xu Xue-zu²

(1 Research center for remote sensing and GIS, Department of Geography, Beijing Normal university, Beijing 100875

2 State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Lanzhou, 730000)

Han Wen-yu

(Water Conservation Department of Jingtai Local Government, Jingtai 730400)

Summary

The Jingtai Irrigation Zone with an acreage of 200km² is located alongside the upper reaches of the Yellow River, in Gansu Province, Northwest China. Under the control of arid and semiarid climate, besides the influence of strong evaporation it is subject to strong effects of seasonally freezing and thawing processes as well. The uneven distribution of salt and water makes the freezing point of soil different from one depth layer to another. It is found based on the field investigation that the frozen period of salinized soil was shorter and the maximum frozen depth shallower. The starting position of soil freezing is from a certain depth below the soil surface other than from the soil surface. The freezing characteristic makes the salt-water-heat dynamic more complex due to two freezing fronts occurring during freezing.

Key words Soil salinization, Soil, Freezing-thawing action