

黑龙江省安达市草地碱化后土壤物理性状变化

王 力^{1,3}, 石滨嘉夫², 关胜寿², 宫崎毅²

(1. 西北农林科技大学水保所, 陕西 杨凌 712100; 2. 东京大学农学院, 日本 东京 113 - 8657;

3. 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)

摘要: 调查了安达市盐碱地生物资源环境研究中心试验区羊草 *Leymus chinensis* 地土壤物理性状, 包括土壤硬度、含水量、饱和导水率、粒径分布、剖面特征和土壤温度等。阐明土地碱化对土壤物理性质的影响, 为安达市以及松嫩平原生态环境的修复和土地资源的永续利用提供科学依据。同时, 讨论了地下水化学成分和土壤冻融变化对碱化的可能影响, 认为在没有植被覆盖的条件下, 冻融变化会加剧土壤的碱化程度。

关键词: 安达市; 碱化; 土壤物理性状; 粒径分布; 地下水

中图分类号: S155.4⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2007)10-0019-07

安达市地处黑龙江省西南部松嫩平原腹地, 土地总面积 $358.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 其中草原面积 $181.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 约占总面积的 50.6%, 年产优质牧草 2 亿 kg, 为世界三大优质草场之一(另 2 个分别位于澳大利亚的墨尔本和美国的德克萨斯州), 以培育了中国黑白花奶牛而闻名。植被构成以羊草 *Leymus chinensis* 为主, 是亚洲东部特有的建群植物种。和整个松嫩平原一样^[1-3], 安达市亦面临着较严重的土地盐碱化问题。目前盐碱地面积达 $157.0 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 占土地总面积的 43.7%, 其中轻度盐碱化地为 27.8%(碱斑率 < 30%), 中度为 13.7%(碱斑率 30%~50%), 重度为 58.5%(碱斑率 > 50%)^[4]。自 20 世纪下半叶以来, 安达市的农、牧业有了很大的发展, 人口也成倍增长。由于水、土、生物资源被过量开发、利用以及气候日趋干旱化等原因, 导致土地盐碱化迅速发展, 生态环境受到严重破坏。特别是近年来, 由于大力发展养殖业, 超载过牧现象十分普遍, 引起草地加速退化和盐碱化。因此, 针对土地盐碱化问题开展研究, 遏制土地退化的趋势, 对区域内生态环境的建设和农牧业持续发展具有重要意义。对松嫩平原, 有关土地盐碱化问题的研究较多, 但研究地区大多集中在吉林省西部以通榆、前郭、长岭、大安、白城等为主的县(市)^[5-11], 有关安达市盐碱化土地的研究, 特别对该区土地碱化后土壤基本物理性质的报道还不多见。项目以安

达市为调查区, 研究草地碱化后土壤物理性状及其与土地碱化的内在关系, 为安达市以及松嫩平原生态农牧业的建设和可持续发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 试验区概况

试验区为东北林业大学盐碱地生物资源环境研究中心, 距安达城区东北方向约 5 km。位于松嫩中部低平原, 雨季来临后, 由于降水入渗差, 地表长时间处于积水状态, 长达 2~3 个月, 积水深度 10~70 cm。安达市地处中纬度亚欧大陆内, 气候干旱, 属于北温带大陆性半干旱季风气候。冬季寒冷、干燥, 延续时间 200 d 以上; 夏季雨热同期, 时间短, 约 120 d, 年降水量少, 蒸发量大, 比值为 1:3.7。年均温为 3.2 °C, 年际间气温差异不大。近 50 年来, 平均气温上升 0.8 °C, 平均最高气温上升 0.6 °C, 平均最低气温上升 1.1 °C。多年平均降水量为 419.7 mm, 年降水量最大为 680.5 mm(1960 年), 最小为 248.2 mm(1989 年)。年内降水量分配不均, 集中在 6-9 月。受季风环流和狭管效应影响, 全年风向季节性变化明显。春秋两季西北和西南风交替, 出现频率最高, 风速最大; 夏季西南风, 冬季多西北风, 是黑龙江省多风地带。年平均风速为 3.8

* 收稿日期: 2007-01-31

基金项目: 中国科学院“百人计划”(2004109); 国家留基金委资助项目(2003861065)

作者简介: 王力(1973-), 男, 山西临县人, 副研究员, 博士, 主要从事土壤物理方面的研究。

E-mail: wangli5208@163.com

m/s(3.2~5.2 m/s)^[12]。地带性土壤有草甸黑钙土,低平地有石灰性草甸土、苏打草甸盐土、苏打草甸碱土,盐化和碱化草甸土呈复区分布^[13]。试验区内的植被种类主要是羊草,其次是碱茅 *Puccinellia distans*、角碱蓬 *Suaeda corniculata* 和盐蒿 *Artemisia halodendron* 等。

1.2 样地选择 试验区内选择有碱斑分布、面积为 30 m×30 m 的样地 1 块,样地内设计 1 m×1 m 的样方 2 个(相距 24 m),一个为植被(建群种为羊草)分布区(pit A),表土层没有明显的盐分聚集,另一个位于碱斑内(pit B),表土层盐分明显聚集(图 1)。在样方内,进行土壤剖面调查。在 30 m×30 m 的研究样地外,挖掘水井 2 个,用于地下水的采集和监测,命名为 Well - C(距 pit A 约 13 m)和 Well - D(距 pit B 约 13 m),地下水埋深均为 2.1 m。采样时间为 2006 年 8 月 27 日 - 9 月 3 日。

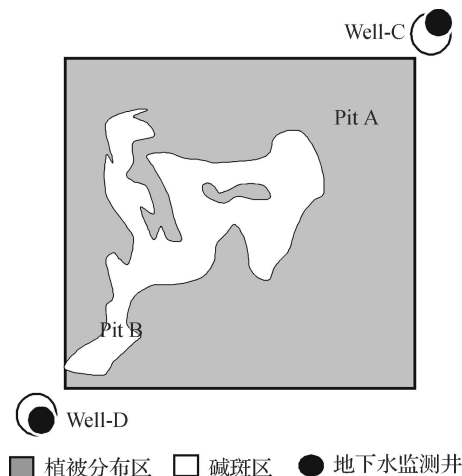


图 1 试验样地位置示意图

1.3 测定项目

1.3.1 土壤硬度 日本制山中式 51 型(标准型)土壤硬度计在野外现场测定^[14],重复 5 次。用前端锥状的圆柱探测器插入土壤中的深度表示,单位为 mm。

1.3.2 含水量 105 °C 烘干法测定。土壤样品 5 次重复处理,环刀封存带回实验室,搅拌混匀测定含水量。取样深度为 120 cm,每 20 cm 为一层次。

1.3.3 粒径分布 鲍氏比重计测定^[15]。

1.3.4 饱和导水率 土样在蒸馏水中充分饱和 24 h 后,利用恒定水头法测定^[16]。在试验过程中用马氏瓶供水,以维持水头恒定为 10 cm,并且每隔 10 min 记录出流量,直至出流量保持稳定。

1.3.5 地下水水质分析 委托日本工业用水协会分析中心测定。

2 结果与分析

2.1 碱斑区和非碱斑区地下水化学成分

表 1 显示安达市地下水有较复杂的化学成分。其潜水化学类型以 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ 、 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+$ 和 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 为主,同时包含 $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}$ 和 $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$,这种水化学类型反应了水循环交替的速度和水化学作用特征。阴离子均以重碳酸型(HCO_3^-)为主,Well - C 和 Well - D 含量相近,约为 460 mg/L。阳离子则以钠、钙为主,其中钠离子含量最高,Well - C 和 Well - D 含量均高达 129 mg/L;钙离子 Well - C 含量比 Well - D 高 17 mg/L,差异较明显,而其他成分则基本接近,甚至没有差异。电导率(EC 值)分别为 1 120 和 1 040 $\mu\text{s/cm}$,远高于天然水的 EC 值(50~500 $\mu\text{s/cm}$),也高于一般矿化水(500~1 000 $\mu\text{s/cm}$)。Well - C 矿化度约 800 mg/L,Well - D 约 750 mg/L,属于中矿化度微咸水。氟离子含量 Well - C 达 1.25 mg/L,Well - D 达 1.35 mg/L,均高于松嫩平原的平均含量(1.06 mg/L)。氯离子含量在 Well - C 和 Well - D 分别为 41.3 和 19.4 mg/L。pH 值 Well - C 为 7.5,Well - D 为 7.6。

表 1 地下水各离子含量 mg/L

离子种类	Well - C	Well - D
钠离子	129.00	130.00
钙离子	104.00	87.10
镁离子	40.30	36.90
钾离子	1.40	1.40
铁离子	0.12	0.13
铵离子	0	0
碳酸氢根离子	460.00	464.00
氯离子	41.30	19.40
氟离子	1.25	1.35
磷酸根离子	0.71	0.76

2.2 碱化后土壤物理性质的改变

2.2.1 土壤硬度 土壤硬度的大小会影响植物根系的生长,是一个重要的土壤物理特性指标^[17]。适宜的土壤硬度可为植物增产增收奠定基础。土壤硬度的降低有利于根系生长发育,形成强大的根系,为植物吸收养分、水分创造条件。安达试区土壤硬度如图2所示,pit A在0~5 cm硬度值较小,向下逐渐升高,在10 cm左右达到最大,然后逐步递减。在深度40 cm层次上,硬度值达到最小;之后又升高,整个曲线变化呈倒S型。pit B土壤硬度值变化呈波浪型,没有明确的规律;在整个剖面上,比pit A平均高1.0 mm。

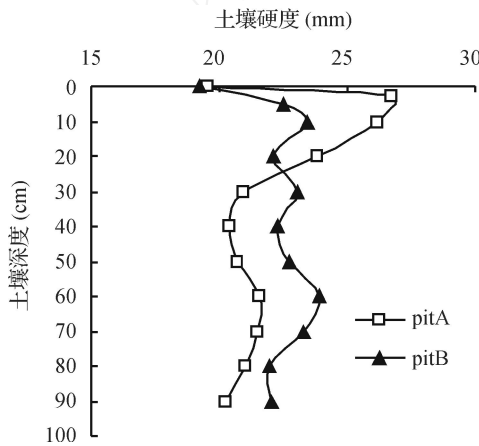


图2 100 cm 土层土壤硬度

2.2.2 土壤水分和饱和导水率 据报道,松嫩平原生长季节农田土壤的正常含水量应为15%~25%,含水量低于15%为缺水状态,含水量高于25%为水分过剩状态^[18]。以此为标准,试区土壤含水量均在正常范围之内。pit A在0~20 cm土层含水量超过30%,在25~100 cm层次,含水量稳定在21%左右。pit B土壤含水量变化较为剧烈,0~40 cm土层含水量较高,稳定在23%左右;在40~50 cm层次最低,只有18%;在60~80 cm层次最高,为28%;之后明显下降,变化曲线呈波浪型(图3)。总体讲,调查点各层次土壤含水量没有低于18%,处于较高状态,说明土壤水分不是试区植物生长发育的限制因子。

饱和导水率综合反映了土壤基质对水流的阻碍作用^[19]。对于一定的土壤而言,其饱和导水率是一个常数。pit A各土层的饱和导水率变化于

$1.45 \times 10^{-3} \sim 8.69 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$, pit B各土层的饱和导水率变化于 $1.11 \times 10^{-5} \sim 9.74 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ (图4),均属低透水强度范围内。二者比较可以看出,pit A饱和导水率的变化明显大于pit B,说明有无植被分布对土壤导水率有显著影响,可能是因为植物根系的生长发育改变了土壤孔隙结构。

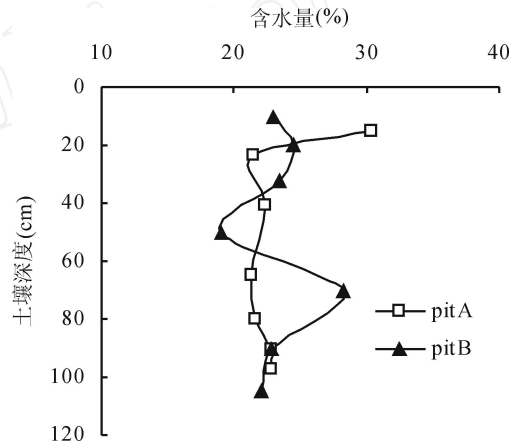


图3 100 cm 土层土壤水分状况
饱和导水率 (cm/s)

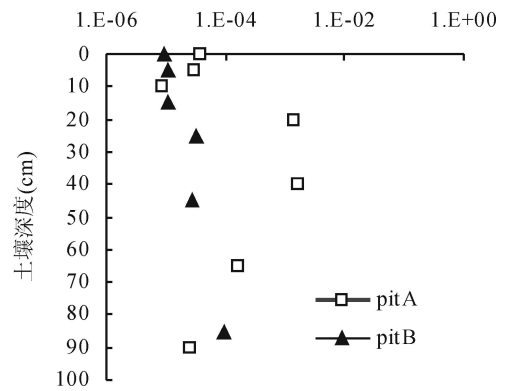


图4 100 cm 土层土壤饱和导水率

2.2.3 土壤剖面 and 粒径分布 由表2可以看出,pit A土壤剖面比pit B有更加明显的分层特征。pit A可分为4个层次(0~5, 5~10, 10~20和20~100 cm),分层特征主要发生在表层(0~20 cm)。pit B土壤剖面可分为3个层次(0~10, 10~90和90~100 cm),分层特征不明显,第1层次与第2层次的颜色区别不显著,表明植物的生长影响了表层土壤层次的发育。在5~10 cm层次,pit A颜色(黑色)明显较pit B(茶褐色)暗,说明

表 2 pit A 和 pit B 土壤剖面特征

土壤深度 (cm)	pit A		pit B	
	剖面特征	<0.01 mm 的 颗粒含量 (%)	剖面特征	<0.01 mm 的 颗粒含量 (%)
0~5	灰褐色 (10 YR6/2) ,干燥		灰褐色 (5 YR5/1) ,粘土质 ,略湿	62
5~10	黑色 (2.5 Y2/1) ,潮湿	64		
10~20	灰褐色 (10 YR5/2) ,有浅黑色条纹	58	茶褐色 (5 YR5/3) ,粘土质 ,稍干 ,有浅黑色条纹	69
20~40	褐色 (10 YR5/4) ,有浅黑色条纹	51	同上	64
40~60	同上	50	同上	62
60~80	褐色 (10 YR5/4) ,有白色斑块	48	同上	61
80~90	同上	48	同上	61
90~100	同上	46	褐色 (10 YR5/4) ,有白色斑块	-

pit A 表层土壤含有更多的有机质。在 20~60 cm 层次,不管是 pit A 还是 pit B,剖面中有明显的浅黑色条纹分布,可能是由于雨季长期淹水条件下,铁锰元素发生还原反应,由高价位变成低价位,排水水后剖面中形成锈纹和锈斑。在 60 cm 以下,剖面中有白色斑块分布,是由于地下潜水上升过程中在某处积水,积水消失之后形成的碱斑。

土壤粒径分布 (Particle - size distribution, PSD) 是指土壤固相中不同粗细级别的土粒所占的比数,常用某一粒径及其对应的累积百分含量曲线来表示。粒径分布是最基本的土壤物理性质之一,强烈影响水力性质等其他土壤物理特性^[20]。粒径分布的测定方法比较成熟、简便,精度也较高^[21],而且常规调查资料就可以获得详细的粒径分析数据。与之相比,土壤水力性质(即水分特征曲线和非饱和水力传导率函数)的测定则比较费时、昂贵。因此,根据土壤粒径分布来估计水力性质是土壤物理学中的研究热点^[22,23]。图 5、6 是 pit A、pit B 土壤剖面粒径分布曲线,可以看出 pit B 土壤细颗粒含量整体高于 pit A, pit B 小于 0.01 mm 的颗粒含量平均为 63.2%,比 pit A 高 10.4%(表 2)。pit A 表层土壤(0~10 和 10~20 cm)细颗粒含量明显高于其他层次,而 20 cm 以下,各层次间各级粒径含量相差不大,呈弱变异性。而 pit B 土壤各层次间各级粒径含量相差更小,只有 10~20 cm 层次略高于其他层次。

3 讨论

3.1 地下水化学成分与土壤剖面物理性质

松嫩平原在东部高平原和山前倾斜平原,水化

学作用以淋溶为主,元素不易富集,因此形成低矿化度、水化学类型 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 为主的地下水。向中部低平原,水循环交替由积极变为迟缓,水化

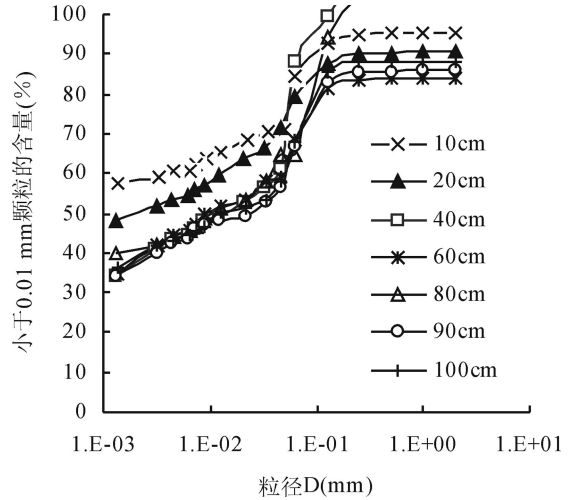


图 5 pit A 土壤各层次粒径分布

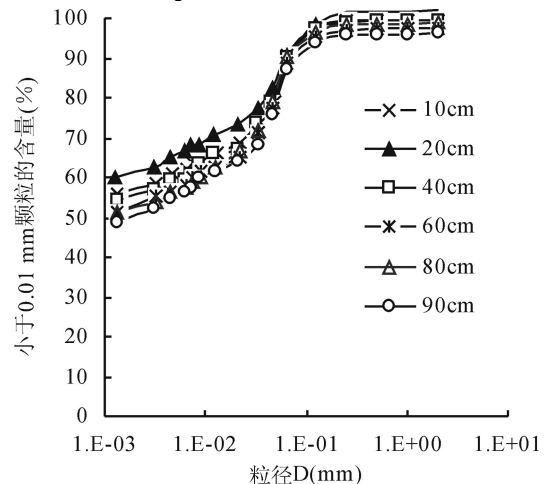


图 6 pit B 土壤各层次粒径分布

学作用由以溶滤作用为主过渡为以蒸发浓缩和阳离子交替吸附为主,水中元素的迁移和积累由容易分散过渡到不易分散和聚集,从而形成中高矿化度(最高达 5 150 mg/L)和以 $\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 型为主的地下水^[24]。安达市处于松嫩中部低平原,其地下水化学类型正符合此规律。此外,在松嫩平原特殊的水文地球化学环境条件下,形成了含氟高、含氯高、对人体健康有害的天然劣质水体^[25],这也是安达市地下水的—个显著特征。由于试区距安达城区仅 5 km,受人为活动的影响,潜水受到相当程度的污染,氟离子含量超过 1.25 mg/L,而国家饮用水卫生标准为 0.5~1.0 mg/L;氯离子含量也明显升高,出现重碳酸氯型水。

试区地下水埋深仅为 2.1 m,在干旱条件下,水中的矿质离子($\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)极易因蒸散拉动作用聚集在土壤中,并最终随毛细管上升汇聚到土壤表面,导致土壤碱化,恶化土壤物理性质。在 pit B,由于植被受到破坏,土壤表层碱化严重,0~100 cm 土层饱和导水率低于 1.11×10^{-5} cm/s,透水性能极差,说明 pit B 土壤孔隙度小,缺少团粒结构,是紧实致密的土壤。土壤剖面中,不管是 pit A 还是 pit B,饱和导水率均呈现出表土层低、中间土层高、底土层又降低的趋势。对 pit A,可能是表土层植物根茎形成致密紧实的根茎层^[26],导致土壤孔隙度减小所致;对 pit B,可能是因为土壤碱化后盐分聚集,导致物理性状恶化,大孔隙减少,从而引起表层土壤透水能力更弱。在 25 cm 以下层次,土壤硬度值 pit A 小于 pit B (图 2)。说明在植被分布区,植物根系生长改善了深层土壤的结构,降低了深层土壤的紧实度。另外, pit B 小于 0.01 mm 的细颗粒含量高于 pit A (表 2),说明表层土壤的碱化促进了细颗粒的形成。土壤细颗粒含量对土壤的物理性质有显著的影响,在土壤质地中它是颗粒小但表面积大的粒级。因此,它在土壤大孔隙的形成和分布中有重要作用。研究表明二者之间存在着显著的负相关关系^[27],即土壤大孔隙的数量随着细颗粒含量的减少而增加,这也导致 pit B 土壤饱和导水率明显低于 pit A 的重要原因。

3.2 冻融变化对土壤碱化影响 图 7、8 为 pit A、pit B 年温度变化状况。试验区土壤从 10 月下旬冻结,从 3 月下旬开始自表层起逐渐消融,直至 5 月底或 6 月初完全解冻。总的来说,10 cm 以上土层温度变化明显。和 pit A 比, pit B (盐分聚集区)土壤温度日变化和年变化更剧烈;在 40 和 80 cm 深度, pit B 在 3 月初开始消融,早于 pit A,可能是由于土地碱化后没有植被覆盖造成的。有学者认为土壤冻结和融化形成了本区特有的水盐运动规律,造成冬季土壤“隐蔽性”积盐现象^[28]。图 9 为土壤冻融变化示意图,土壤冻结过程中,冻层与非冻层的地温产生差异,形成温度梯度,引起毛管水分由底层向冻层移动,盐分也随之上升累积在冻层中。冻层以下土壤水分和盐分含量的下降,由地下水不断借毛管作用上升补给。随着冻

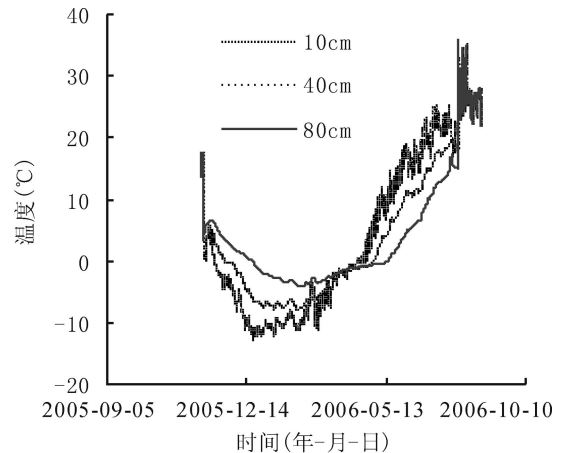


图 7 pit A 土壤不同层次温度变化

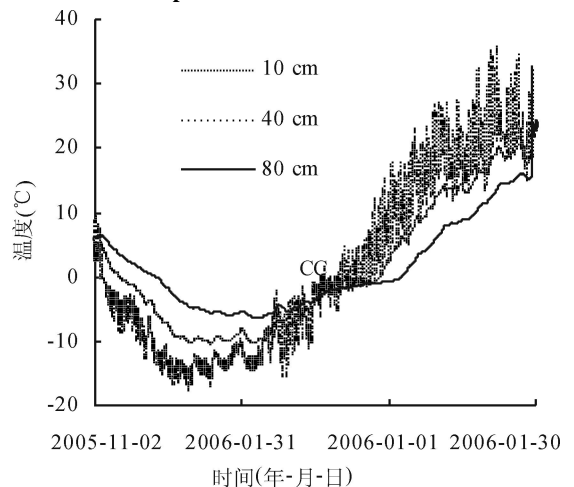


图 8 pit B 土壤不同层次温度变化

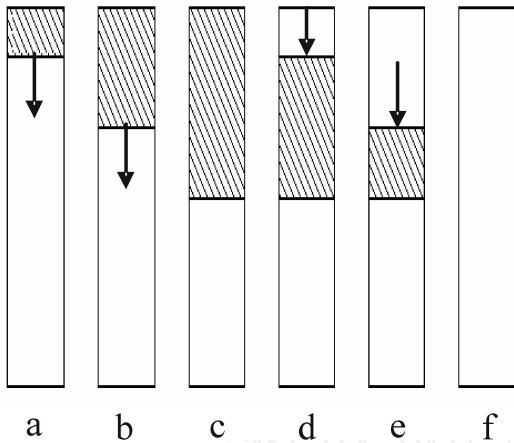


图9 冻融变化示意图

注:阴影部分代表土壤冻层;a表示冻层在每年10月底或11月初开始形成;b表示冻层逐渐向下发展(箭头方向);c表示冻层在每年1月达到最大厚度;d表示冻层从每年3月底开始由表层向下消融:e表示冻层逐渐变薄:f表示冻层在5月底完全消融。

层的增厚,并逐渐向下发展,潜水位处于下降状态,所以造成水盐在冻层中大量累积。春季到来后,气温回升,地表蒸发逐渐强烈,使冬季累积于冻层中的盐分转而向地表强烈聚集,其强烈程度近乎“爆发式”,这种过程直至冻层完全消融为止。pit B由于没有植被覆盖,冻融变化更为剧烈,这可能也是导致其碱化程度比pit A更为严重的原因之一。目前,这一理论还属于假定性的描述,还没有学者对其进行定量研究,如伴随冻层增厚的过程,多大程度上盐分会聚集到冻层中;由此而引起的盐分聚集对该区土壤盐碱化的影响也缺少精确的描述。因此,有关冻融过程对土壤盐碱化的影响,还需要更深入的量化研究。

4 小结

安达市试验区草地土壤碱化后物理性质发生了明显变异,植被退化和碱斑的形成显著恶化了试区的土壤物理性状。

4.1 在碱斑区(pit B),深层(20 cm以下)土壤硬度增大,比植被分布区(pit A)平均高1.6 mm。

4.2 由于没有植被覆盖,pit B土壤含水量在垂直剖面上变异更为剧烈。

4.3 碱斑的形成破坏了土壤的结构,导致pit B剖面细颗粒(<0.01mm)含量增多,饱和导水率极低。

4.4 表层植被退化加剧了土壤剖面的冻融变化,可能是导致pit B碱化程度更为严重的原因之一。

土壤物理性状的恶化以及地下水质量的下降,反应了试区土地处于退化之中。土地退化是生态环境恶化的表现形式,是脆弱的自然因素叠加人类不合理利用的结果^[29,30]。因此,防止土地退化,修复恶化了的生态环境是当前试区农牧业可持续发展首先面临的课题。

致谢:参加本项目野外工作的日方研究人员还有东京大学博士生常田岳志(Takeshi Tokida)和硕士生滨本昌一郎(Shoichiro Hamamoto)。室内分析试验中,得到了东京大学井本博美(Hiromi Imoto)实验师的指导;野外调查试验中,得到了东北林业大学盐碱地生物资源环境研究中心柳参奎教授、管清杰先生、张东滨先生和博士研究生石伟女士的大力帮助,特此致谢。

参考文献

- [1] 林年丰,汤洁.松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析[J].第四纪研究,2005,25(4):474-483.
- [2] 林年丰,汤洁,卞建民.农业生态环境数字信息系统的建立及应用[J].地理科学,2003,23(5):597-603.
- [3] 李取生,李秀军,李晓军,等.松嫩平原苏打盐碱地治理与利用[J].资源科学,2003,25(1):15-19.
- [4] 姚荣江,杨劲松,刘广明.东北地区盐碱土特征及其农业生物治理[J].土壤,2006,38(3):256-262.
- [5] 阎鸿,赵光宇,马文超.吉林省西部盐碱化研究[J].中国环境管理,2006,(2):15-17.
- [6] 李秀军.松嫩平原西部土地盐碱化与农业可持续发展[J].地理科学,2000,20(1):51-55.
- [7] 胡金龙,赵明清,齐宝林,等.吉林省西部草原的保护与利用[J].吉林农业科学,2001,26(2):43-45.
- [8] 李取生,宋玉祥,赵春生.吉林西部草地盐碱化治理对策研究[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(4):304-306,309.
- [9] 杜崇,林年丰,汤洁,等.吉林西部平原土地利用动态变化的RS-GIS集成研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2005,35(3):366-372.
- [10] 王跃邦,李秋梅,代全厚.吉林省西部荒漠化成因及其防治对策[J].中国水土保持,2000,(7):16-18.

- [11] 刘兴土. 松嫩平原西部生态保育策略探讨[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(4): 282-285, 289.
- [12] 张伟, 王福林, 汪春, 等. 残茬覆盖对土壤风蚀影响的试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(2): 45-48.
- [13] 杜金龙, 邢茂娟, 王春芳. 安达市干旱灾害成因与治理对策[J]. 黑龙江水专学报, 2004, 31(2): 65-66, 68.
- [14] 赵德林, 金景. 白浆土土体构型改造的研究[J]. 中国农业科学, 1989, 22(5): 47-55.
- [15] Gee G W, Bauder J W. In method of soil analysis: Part I physical and mineralogical method, 2nd ed [M]. Chapter, 1986. 383-411.
- [16] Kammar R S, Rizvi H A, Ahmed M, et al. Measurement of field - saturated hydraulic conductivity by using Guelph and velocity permeameters[J]. Transactions of the ASAE, 1989, 32(6): 1885-1890.
- [17] 高玉山, 朱知运, 毕业莉, 等. 石膏改良苏打盐碱土田间定位试验研究[J]. 吉林农业科学, 2003, 28(6): 26-31.
- [18] 张元林. 吉林省中西部农田防护林土壤特征的研究[J]. 吉林林业科技, 2006, 35(4): 15-18.
- [19] 白冰, 陈效民, 秦淑平. 黄河三角洲滨海盐渍土饱和导水率的研究[J]. 土壤通报, 2006, 36(3): 321-323.
- [20] Sumner M E. Handbook of Soil Science [M]. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- [21] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. 土壤物理性质测定法[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [22] van Genuchten M T, Leij F J. On estimating the hydraulic properties of unsaturated soils[A]. on Indirect Methods of Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils[C]. California: University of California, Riverside, CA, 1992. 1-141.
- [23] 刘建立, 徐绍辉, 刘慧. 几种土壤累积粒径分布模型的对比研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(5): 588-592.
- [24] 苑丽华. 松嫩平原地下水化学特征[J]. 地质与资源, 2006, 15(2): 122-124, 132.
- [25] 张博, 洪梅, 赵勇胜. GIS支持下吉林省西部地下水特征组分分布特征研究[J]. 世界地质, 2001, 20(2): 176-182.
- [26] 布乐, 哈斯布和. 火烧对羊草草原土壤物理性状的影响及其与群落特征的关系[J]. 内蒙古林业调查设计, 2004, (6): 56-60.
- [27] 陈效民, 黄德安, 吴华山. 太湖地区主要水稻土的大孔隙特征及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 509-512.
- [28] 张殿发, 王世杰. 吉林西部土地盐碱化的生态地质环境研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(2): 90-93.
- [29] 刘满仓. 盐池县草原沙漠化的现状成因与对策[J]. 草业科学, 2002, 19(6): 61.
- [30] 赵立祥. 草原荒漠化的物理过程[J]. 草业科学, 2004, 21(11): 7-10.

The variation of soil physical properties on alkali grasslands in Anda City of Heilongjiang Province

WANG Li^{1,3}, Yoshio Ishihama², Katsutoshi Seki², Tsuyoshi Miyazaki²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. Department of Biological & Environmental Engineering, University of Tokyo, Tokyo 113 - 8657 Japan; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science, Yangling 712100, China)

Abstract: The soil physical properties on *Leymus* grassland in research site of Anda Alkali Soil Natural Environmental Research Centre was tested in terms of soil hardness, water content, saturated hydraulic conductivity, particle-size distribution, soil profile characteristics and soil temperature. The effects of soil alkalization on soil physical properties was elucidated, which provided scientific basis for ecological rehabilitation of Anda and Sunnen plain, as well as sustainable utilization of land resource. Meanwhile, the possible effect of underground water components and soil freezing and thawing on land alkalization was also discussed, and the latter would strengthen alkalization in the land without vegetation coverage.

Key words: Anda City; alkalization; physical properties; particles distribution; groundwater