

微域尺度苏打碱土的特征与植被的分布规律

罗金明^{1,3}, 邓伟², 张晓平¹, 杨帆¹, 易富科¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012;

2. 中国科学院 水利部 成都山地灾害研究所, 四川 成都 610041; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 探讨了微域尺度(32 m 长的横剖面)苏打碱土的特征以及植被分布规律。结果表明,沿洼地向高平地土壤表现为盐化草甸土—浅位柱状苏打碱土—白盖苏打碱土—中位柱状苏打碱土的分布格局。植被为圆叶碱毛茛/蒹蓼群落、鹅绒委陵菜群落、羊草/寸草苔群落、裸地以及羊草/星星草/虎尾草群落,其中委陵菜/蒹蓼群落、羊草/苔草群落沿洼地呈环状分布,裸地以及碱茅/虎尾草/羊草群落呈斑状分布。洼地边缘的植被具有最高的物种丰富度和覆盖度,生物量也最高;高平地的植被矮小,生物量较少。裸地的盐分含量较高(可达 3.38%),土体紧实,限制了植被生长。

关键词: 苏打碱土; 微域格局; 盐生植被

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0028-06

中图分类号: Q151, S154.4

Characteristics of Sodic Alkaline Soil and Distribution of Vegetation in Micro Scale

LUO Jir ming¹, DENG Wei², ZHANG Xiaoping¹, YANG Fan¹, YI Fuke¹

(1. Northeast Institution of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun,

Jilin 130012, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences,

Chengdu, Sichuan 610041, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Characteristics of soil profile and vegetation distribution pattern in micro scale (a 32 m long transect) in sodic alkaline soil region were discussed. Results showed that soil distribution patterns along the transect from low land up to upland were sodic saline meadow soil, shallow columnar sodic alkaline soil, white crust sodic alkaline soil, and mid columnar sodic alkaline soil. Vegetation included *Ranunculus cymbalaria* Pursh / *Polygonum aviculare* L community, *Potentilla anserina* L community, *Carex duriuscula* C. A. Mey / *Leymus chinensis* Tzvel community, bare land, and *Leymus chinensis* Tzvel / *Puccinellia tenuiflora* Scrib. Et Merr. / *Chloris virgata* Swarta community. The *Ranunculus cymbalaria* Pursh / *Polygonum aviculare* L community and *Carex duriuscula* C. A. Mey / *Leymus chinensis* Tzvel community were distributed around the shallow basin in ring-like pattern; bare land and *Leymus chinensis* Tzvel / *Puccinellia tenuiflora* Scrib. Et Merr. / *Chloris virgata* Swarta community were distributed in patch pattern. Biodiversity and coverage of vegetation along the margin of shallow basin were maximal and its biomass was highest. Vegetation in micro flat upland was dwarf and with lower biomass. The salinity in bare land could reach as high as 3.38% and soil structure was extremely compacted. Therefore, the production of vegetation was restrained.

Keywords: alkaline soil; micro scale pattern; saline vegetation

松嫩平原西部是世界 3 大苏打碱土分布区之一,也是我国苏打碱土面积最大的地区^[1]。苏打碱土在微域尺度上是十分复杂的土壤系统^[1-3],土壤特征和植被格局都常常表现出明显的微域性特征^[4-5]。然而,以往对苏打碱土地区研究对多集中某点的土壤盐渍化或者植被演替的研究^[1-7],或者大尺度的土壤与

植被的研究,缺乏对微坡面系统(相对完整的苏打碱土微域单元)的土壤和植被进行研究。由于微坡面单元是最基本的景观单元^[3],同时也是盐渍土的恢复和开发最基本的单元,因此有必要对其土壤结构和植被分布规律进行研究。作者在中科院东北地理与农业生态研究所大安碱地实验基地进行了微域尺度苏打

碱土和植被特征的数据采集工作,旨在探讨苏打碱土的微域结构以及植被分布特征。该研究将有助于认识现代苏打碱土—植被相互关系,可为次生盐渍化恢复以及碱土资源的开发利用提供参考。

1 研究区概况与实验方法

1.1 研究区概况

本文选择松嫩平原古河道盐渍化滩地为研究对象,试验区位于吉林省大安市联合乡万福村(45°30′11″N, 124°04′59″E),海拔142~143 m,属于半湿润半干旱季风气候,多年平均降雨量460 mm,

集中在7—8月,蒸发量高达1300 mm^[8]。春季干旱多风,夏季高温多雨,冬季寒冷且漫长,年平均气温4.7℃,区域地带性土壤为黑钙土,在嫩江(古)河道,湖滩地发育苏打盐渍土^[9],地带性植被为羊草草甸草原^[5]。研究区包括洼地、坡地和高平地3种微地貌单元,相对高差65 cm,其中洼地占35%,高平地占10%。浅埋地下水阴离子以HCO₃⁻和CO₃²⁻为主,阳离子以Na⁺为主,矿化度为1.21 g/L, pH为8.08,属于HCO₃⁻-Na型弱矿化度地下水,钠吸附比(SAR)达88.65(表1),水位在为2.0~3.2 m之间波动。

表1 研究区潜水的化学特征

离子浓度/(mg·L ⁻¹)						矿化度/ (g·L ⁻¹)	SAR	pH	水化学类型
Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻				
525.15	56.12	19.29	24.48	42.6	328.4	1.21	88.65	8.08	HCO ₃ ⁻ -Na

1.2 研究方法

在T—T′剖面选择A、B、C和D点(A—D距离为32 m,见图1—2)取土样回室内分析土壤物理特性和化学特征。每10 cm取样,取样深度为0—150 cm。土样在室内用烘干箱在105℃条件下烘24 h,测量土壤含水率。测定pH值的水土比为1:1。取风干土样50 g加入50 g去离子水,用磁力搅拌器搅拌5 min后静置30 min,用玻璃电极测定土壤pH。

钙、镁离子和硫酸根浓度用EDTA滴定法测量,碳酸根和重碳酸根浓度用电位滴定法测量,氯离子浓度用硝酸银滴定法。有机质含量使用重铬酸钾氧化法测定。

阳离子交换量(CEC)用乙酸钠—火焰光度计法测定。交换性钠(Na⁺)用乙酸铵—氢氧化铵—火焰光度计法测定。碱化度(ESP)使用以下等式求得:

$$ESP = (Na^+ / CEC) \times 100$$

粒度分析法测定土壤粒径特征。土壤样品自然风干后,用10%草酸钠分离24 h,对于粒径大于0.063 mm的土样用手工筛选,对于粒径小于0.063 mm部分,用粒度分析仪(SA—CP3,日本)测量。根据国际土壤质地分类标准分为砂砾、粉砂和黏粒。

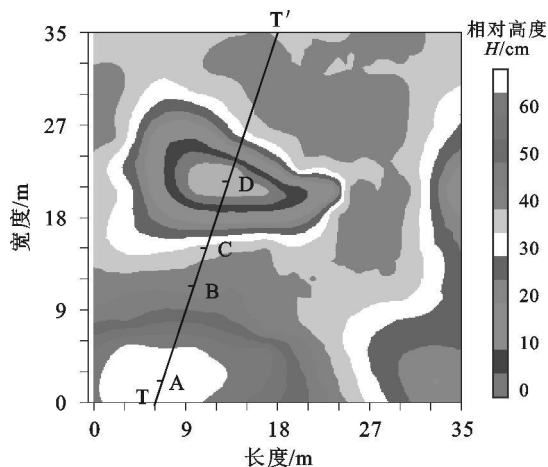


图1 研究区微地貌特征以洼地最低点为参考点

测定土壤总盐分含量的水土比为1:5。取风干土样,配制成1:5的土壤溶液,振荡5 min,用高速离心机以10 000 r/min的速度进行分离10 min,用铂黑电极测定电导率,根据土壤溶液电导率与含盐量关系转换为土壤总盐分含量。土壤可溶性钠离子用原子吸收分光光度计测量(GBC—906AA, 澳大利

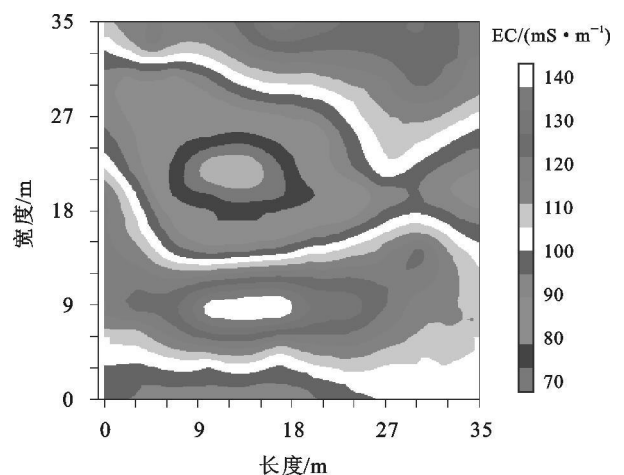


图2 研究区EM-38大地电导测量仪测定的土壤电导率分布特征

土壤电导率以 EM—38 大地电导仪(加拿大)测量。以 4 m×4 m 网格布设测量点,以 EM—38 大地电导仪测定土壤 0—150 cm 的电导率。相对高程和水平距离用水准仪(DSC232,天津)测量。测量时间为 2007 年 6 月 2 日。

沿着 T—T' 截面,从 A—D 每 3 m 做一个 1 m×1 m 的植被样方,共计 10 个样方。以网格法(最小单元为 0.1 m×0.1 m)测定植被的覆盖度和物种的多样性,以卷尺测定株高。测定完毕后,把地上部分取回室内,烘干称重得到每个样方的地表生物量。

2 结果与讨论

2.1 土壤特征

碱土受微地貌的控制,其水、热、盐含量出现差异,形成苏打碱土和盐化草甸土镶嵌的微域景观^[2-3]。由 EM—38 大地电导仪测定结果可见(图 3—4),苏打碱土地区电导率分布表现出明显的异质性特征,洼地的电导率最低,高平地的电导率较高,而微坡地的电导率最高。

室内分析结果表明(图 2),高平地土壤的碱化度(ESP)最高达 50%~70%,总盐分含量为 4.37%,pH 为 9.5~10.21。微坡地土壤的 ESP 表层最大,达 70%,盐分含量为 6%,洼地土壤的总盐分含量 0.5%,pH 为 7.8~8.5,碱化度<10%。根据碱化层出现的位置划分^[10],高平地的土壤类型属于中位柱状苏打碱土,坡面中部为白盖苏打碱土,洼地属于盐化草甸土。沿洼地向高平地土壤分布格局依次为盐化草甸土—浅位柱状苏打碱土—白盖苏打碱土—中位柱状苏打碱土。浅、中位柱状碱土的土体构型为 A—Aa—B—C,草甸土的土体构型为 A—AB—B—C。

室内分析结果表明(图 2),高平地土壤的碱化度(ESP)最高达 50%~70%,总盐分含量为 4.37%,pH 为 9.5~10.21。微坡地土壤的 ESP 表层最大,达 70%,盐分含量为 6%,洼地土壤的总盐分含量 0.5%,pH 为 7.8~8.5,碱化度<10%。根据碱化层出现的位置划分^[10],高平地的土壤类型属于中位柱状苏打碱土,坡面中部为白盖苏打碱土,洼地属于盐化草甸土。沿洼地向高平地土壤分布格局依次为盐化草甸土—浅位柱状苏打碱土—白盖苏打碱土—中位柱状苏打碱土。浅、中位柱状碱土的土体构型为 A—Aa—B—C,草甸土的土体构型为 A—AB—B—C。



图 3 研究区剖面图

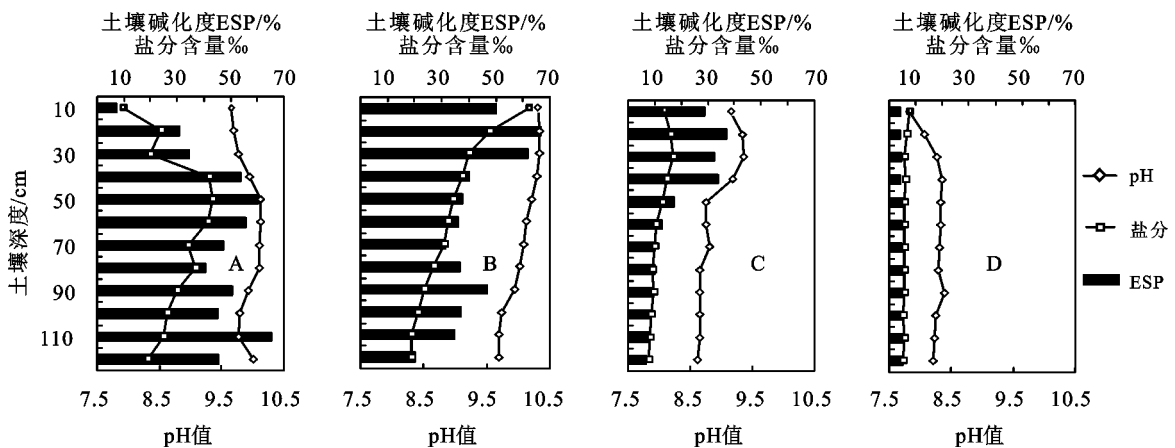


图 4 各样点土壤剖面盐分含量、碱化度和 pH 特征(2006 年 10 月 25 日采样)

(1) 中位柱状苏打碱土的剖面特征。

A 层, 0—12 cm, 轻壤土层, 浅灰棕色, 碎块结构, 干, 根系较多, 微弱石灰反应, 过渡明显。

Aa 层, 12—60 cm, 黏土层, 暗灰色, 强黏持性, 棱块结构, 湿, 石灰反应强烈, 过渡明显。

B 层, 60—190 cm, 黏土层, 暗棕色, 黏持性较强, 柱状结构, 湿, 石灰反应强烈, 含有大量铁锰锈斑, 过渡明显。

C 层, 190—300 cm, 粉砂夹细砂层, 黄棕色, 较强黏持性, 微弱的层状结构, 少量铁锰锈斑。

300—500 cm, 粉砂层夹砂砾, 灰绿色, 没有黏持性, 无明显结构。

(2) 盐化草甸土的剖面特征。

A 层, 0—15 cm, 中壤土层, 灰黑色, 碎块结构, 干, 根系较多, 石灰反应, 过渡明显。

AB 层, 15—60 cm, 黏粒夹粉砂层, 灰黄棕色, 块状结构, 湿, 石灰反应强烈, 过渡明显。

B 层, 60—170 cm, 黏土层, 棕色, 不明显块状结构, 湿, 石灰反应强烈, 过渡明显, 大量铁锰锈斑。

C 层, 170—300 cm, 粉砂夹细砂质层, 黄棕色, 较

强黏持性, 微弱的层状结构。

可见, 柱状苏打碱土质地黏重, 棱柱状结构发育, 土体紧实, 毛管孔隙缺乏, 这种致密的结构必然限制地表降雨的垂直下渗速率和地下水上行^[11]; 苏打盐化草甸土质地松散, 团粒结构发育, 土壤富含毛管孔隙, 利于水分贮存和迁移。这种碱土和盐化草甸土镶嵌的微域格局必然影响植被的分布格局。

2.2 植被分布特征

研究区由委陵菜(*Potentilla anserina* L)、寸草苔(*Carex duriuscula* C. A. Mey)、虎尾草(*Chloris virgata* Swarta)、羊草(*Leymus chinensis* Tzvel)、碱蓬(*Suaeda glauca* Bunge)和星星草(*Puccinellia tenuiflora* Scrib. Et Merr.)等14个属, 9个科的植物组成。洼地向高平地的植被依次为圆叶碱毛茛/ 蒹蓄蓼群落(面积占21%)、鹅绒委陵菜群落(面积占8%)、羊草/ 寸草苔群落(面积占6%)、裸地(面积占47%)以及羊草/ 星星草/ 虎尾草群落(面积占23%), 其中圆叶碱毛茛/ 蒹蓄蓼群落、羊草/ 寸草苔群落沿洼地呈环带状分布, 裸地以及星星草/ 虎尾草/ 羊草群落呈斑状分布。

由表2可知, 分布在洼地和洼地边缘的圆叶碱毛茛/ 蒹蓄蓼群落、鹅绒委陵菜群落、羊草/ 寸草苔群落具有较高的丰富度、覆盖度以及地表生物量, 其中洼地边缘的生物量最大, 干物质达 870 g/m^2 , 高坡地

(中位柱状碱土) 主要以虎尾草为主, 虽然覆盖度较高, 但是物质丰富度较低, 植被矮小且生物量较少(仅 120 g/m^2)。微坡地的土壤类型为白盖苏打碱土, 仅有生长稀疏的碱蓬群落, 物质丰富度极低, 生物量在 10 g/m^2 以下。

植被受土壤环境的制约, 同时也指征土壤类型、水分以及盐分的特征^[12-13]。由图3-4可知, 喜湿群落圆叶碱毛茛/ 蒹蓄蓼分布的微环境为: 地势低洼, 土壤为盐化草甸土, 质地松散, 含水率较高, 达25%~40%, pH为7.5~8.5, SAR<50; 鹅绒委陵菜生长在地势稍高, 土壤为盐化草甸土, 较湿润, pH为8~9.0, 钠吸附比(SAR)为50~100的微环境; 寸草苔群落主要分布在洼地边缘, 土壤环境为碱化盐土或者碱化度较小的碱土, 土壤含水率为20%~25%, pH为<9.5, SAR为200~300; 虎尾草和羊草群落则分布在微坡地和高平地(典型的碱土), 土壤含水率较低(9%~20%), SAR和pH较高, 最高达10以上; 裸地主要分布在微坡地, 植被稀疏(主要为碱蓬群落), 具有很高的pH和SAR, pH可达10.5, SAR为400~700。

综上所述, 植被表现出明显的微域分布格局。喜湿性植被主要分布在洼地或者地势较低的洼地边缘部位, 其中寸草苔群落具有最大的生物量和覆盖度。高平地主要以耐碱性植被虎尾草群落为主, 植株较矮小, 生物量较低。

表2 研究区A-D截面14个物种的多度、样方的覆盖度、地表生物量以及株高

物种名称	样方(1 m × 1 m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
蓄蓼(<i>Polygonum aviculare</i> L)	Cop ³	Sp ⁴	Col ⁵	0	0	0	0	0	0	0
圆叶碱毛茛(<i>Ranunculus cymbalaria</i> Pursh)	Cop ³	Cop ³	Sp ⁴	0	0	0	0	0	0	0
鹅绒委陵菜(<i>Potentilla anserina</i> L)	Col ⁵	Cop ³	Cop ²	Sp ⁴	0	0	0	0	0	0
寸草苔(<i>Carex duriuscula</i> C. A. Mey)	0	un ⁶	Sp ⁴	Cop ²	Col ⁵	0	0	0	0	0
虎尾草(<i>Chloris Virgata</i> Swarta)	0	0	0	un ⁶	Sp ⁴	Sp ⁴	0	0	0	Cop ²
星星草(<i>Puccinellia tenuiflora</i> Scrib. Et Merr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	Col ⁵	0
西伯利亚蓼(<i>Polygonum sibiricum</i> Laxm)	0	0	Col ⁵	Col ⁵	0	0	0	0	0	Col ⁵
华蒲公英(<i>Taraxacum sinicum</i> Kitag)	0	0	Col ⁵	Sp ⁴	Sp ⁴	0	0	0	0	0
羊草(<i>Leymus chinensis</i> Tzvel)	0	0	Cop ³	Cop ²	Sp ⁴	0	0	0	Col ⁵	Col ⁵
荸荠(<i>Eleocharis</i> sp)	0	0	un ⁶	0	0	0	0	0	0	0
野稗(<i>Echinochloa crusgalli</i> L. Beauv)	0	0	un ⁶	un ⁶	0	0	0	0	0	0
银灰旋花(<i>Convolvulus ammannii</i> Desr)	0	0	0	0	0	0	0	0	un ⁶	un ⁶
碱蓬(<i>Suaeda glauca</i> Bunge)	0	0	0	un ⁶	0	un ⁶	un ⁶	0	0	0
芦苇(<i>Phragmites australis</i> (Clay.) Trin.)	0	0	0	0	0	un ⁶	un ⁶	un ⁶	un ⁶	un ⁶
株高/cm	5.5	2.5	7.9	8.5	3.8	4.4	2.4	3	2.7	3.1
地表生物量/g	375	502	720	870	171	340	50	15	25	120
覆盖度/%	86	95	98	100	20	4	8	5	25	70

注: 表中符号为植被多度的专有符号。Cop²代表70%~90%, Cop³代表40%~70%, Sp⁴指10%~40%, Col⁵指5%~10%, un⁶指<5%。

2.3 讨论

局部水文条件的差异促使土壤在微域尺度发育表现出盐化草甸土—浅位柱状碱土—白盖碱土—中位柱状碱土的格局。受局部水文特征和微域土壤格局的影响,植被分布表现出明显的微域性规律:洼地分布着喜湿植被—薹蓼和圆叶碱毛茛;洼地边缘分布鹅绒委陵菜;微坡地边缘生长寸草苔草和羊草群落,与鹅绒委陵菜交错分布;微坡地出现大面积的斑块,土壤类型也由浅层柱状碱土变成白盖苏打碱土;高平地为星星草和虎尾草群落。

洼地土壤富含有机质,发育团粒结构,盐分含量和 pH 都较低,土壤持水性和通透性较好,但在雨季常常受滞水影响,所以植被覆盖度和生物量都比洼地边缘小。洼地边缘地势相对较高,可以免受滞水的影

响,同时由于受到洼地和高平地的水分补给因而水分充足,土壤表层含水率在 20%~30% 之间变化,碱化度较低(30%左右),因此植被丰富度最大,叶面积指数较高,覆盖度最大达 100%,干生物量达 720~870 g/m²。高平地地势较高,质地黏重和孔隙结构缺乏导致水分下渗微弱,降雨主要以侧向径流的形式流失并汇集于洼地。

由图 5—6 可见,高平地 0—30 cm 的平均含水量仅在 9%~15% 左右,植被生长需要的水分只能靠雨季 0—12 cm 土层贮存的少量水分供给。由于缺乏水分,并且 10 cm 以下土壤的具有较高的碱化度、盐分含量以及 pH 限制了植被根系相向延伸和生长,所以高平地的植被虽然覆盖度较大(可达 75%),但是植株矮小,且生物量很少。

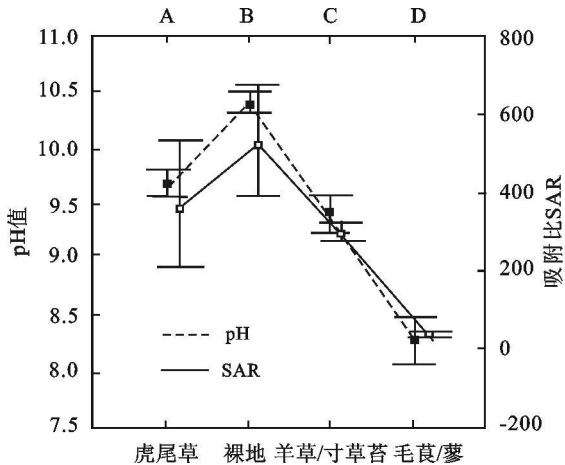


图 5 不同植物群落中土壤钠吸附比(SAR)及 pH 值

微坡地单元受到畜牧啃食和践踏的影响,植被破坏,覆盖度显著降低,甚至变成裸地。缺少植被的保护使土壤表层受到长期的淋溶,导致土壤表层富集交换性钠(6.16~17.74 mg/kg,见表 3),形成棱柱状结

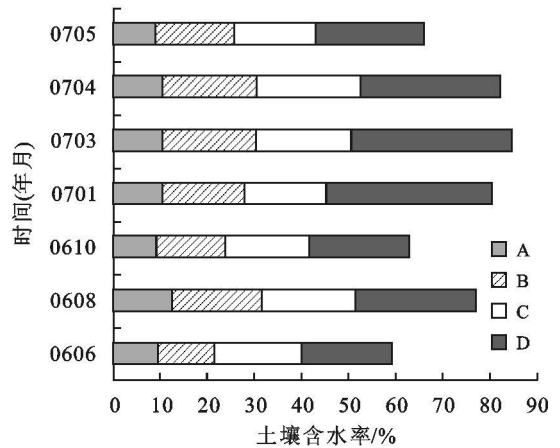


图 6 土壤表层 0—30 cm 含水率的变化(2006—2007)

构的白盖苏打碱土(碱化度高达 70%),致使雨水难以下渗,地表强烈的蒸发导致土壤表层水分大量散失,土体变得紧实、干燥,即使耐盐碱的碱蓬、羊草和虎尾草等植被也难以生存。

表 3 不同群落中土壤的水溶性离子浓度、盐分含量以及交换性钠浓度

项目	深度/cm	有机质/%	1:5 土壤溶液水溶性离子含量/(g·kg ⁻¹)						盐分/%	交换性钠/(mg·10 ⁻² g ⁻¹)
			Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻		
圆叶碱毛茛/薹蓼群落	0—10	2.76	114.62	42.66	42.00	58.95	28.8	96.42	0.58	1.51
	10—20	1.85	125.51	56.99	41.71	50.03	30.4	120.05	0.49	1.23
	20—30	1.51	139.86	64.76	33.6	41.93	21.3	204.68	0.44	1.24
寸草苔草群落	0—10	1.25	1 234.42	94.38	134.9	188.25	29.5	492.80	1.38	6.36
	10—20	0.95	1 386.27	143.94	167.4	518.55	42.6	408.50	1.58	8.59
	20—30	0.45	1 383.78	245.99	161.9	791.63	35.5	648.88	1.71	9.04
裸地	0—10	0.00	1 104.96	239.26	161.2	210.60	42.6	624.95	3.38	6.16
	10—20	0.00	4 407.36	608.74	538.2	160.28	42.6	588.55	3.13	17.74
	20—30	0.00	4 450.42	479.82	754.0	1635.30	56.8	606.20	3.08	15.28
虎尾草群落	0—10	0.46	722.04	29.95	23.72	118.35	27.4	213.6	1.88	19.83
	10—20	0.14	1 933.84	366.40	168.18	439.80	35.5	326.4	2.20	16.21
	20—30	0.04	2 388.76	494.90	209.40	582.50	39.8	603.6	2.09	4.92

洼地和洼地边缘植被干物质较多, 分解后归还土壤使土壤有机质含量较高, 这对表层土壤积盐有明显的制约作用^[13]。由表3可见, 不同群落的土壤溶液离子组成和盐分含量截然不同。洼地表层的有机质含量最高, 可达2.76%, 洼地边缘的寸草苔/羊草群落的土壤表层有机质含量为1.25%, 高平地表层仅含0.46%, 裸地基本上不含有有机质。随着放牧强度的增大, 植被覆盖度降低, 转变成裸地, 地表蒸发增强, 增加了盐分在地表的累积并加快了土壤碱化速度。由表3可见, 裸地的盐分含量最高(达3.38%), 水溶性钠离子含量达4000 g/kg以上。

通过分析可见, 苏打碱土的微域特征和局部水环境影响着植被的分布; 植被能指征和影响土壤的微域特征和局部水环境, 人类放牧等破坏植被是松嫩平原土壤盐渍化程度不断加重的一个重要原因。

3 结论

长期局部水文条件差异促使发育的土壤类型不同, 出现了盐化草甸土—浅位柱状碱土—白盖碱土—中位柱状碱土的微域格局。苏打碱土的微域特征和局部水环境影响着植被的分布。洼地分布着喜湿植被——薹蓼和圆叶碱毛茛, 洼地边缘鹅绒委陵菜生长繁茂, 具有较大的覆盖度和生物量。微坡地边缘生长寸草苔和羊草群落, 与鹅绒委陵菜交错分布。微坡地出现的斑块, 土壤类型也由浅层柱状碱土变成白盖苏打碱土。高坡地为星星草和虎尾草群落。

洼地土壤在雨季常受滞水影响, 植被覆盖度和生物量都比洼地边缘小。洼地边缘地势相对较高, 同时受到洼地和高平地的水分补给, 植被丰富度最大, 覆盖度可达100%, 干生物量达720~870 g/m²。高平地地势较高, 质地黏重和孔隙结构缺乏, 植被生长需要的水分只能靠雨季0—12 cm土层贮存的少量水分供给。受较高的碱化度、盐分含量以及pH限制, 高

平地的植被植株矮小, 生物量在10 g/m²以下。微坡地受到畜牧啃食和践踏的影响, 覆盖度显著降低, 裸地面积增大。

[参 考 文 献]

- [1] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 64—65, 372—374.
- [2] 俞仁培. 碱土的形成与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1984: 4—19.
- [3] 孙广友, 易富科, 罗新正, 等. 内陆盐碱湿地的分布规律与形成机制及其整治利用: 以松嫩平原为例[M]//何岩, 宋玉祥. 东北区域农业综合开发研究. 北京: 科学出版社, 2001: 62—68.
- [4] 李昌华. 松嫩平原地下水和土壤近代积盐过程[J]. 土壤学报, 1964, 12(1): 31—42.
- [5] 易富科. 嫩江大安古河道草地区域生物多样性特点及开发利用[M]//何岩, 宋玉祥. 东北区域农业综合开发研究. 北京: 科学出版社, 2001: 128—132.
- [6] 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.
- [7] 张为政. 草地土壤次生盐渍化: 松嫩平原次生盐碱斑成因的研究[J]. 土壤学报, 1993, 30(2): 182—190.
- [8] 吉林省白城地区普查办公室. 白城土壤[M]. 吉林: 吉林科技出版社, 1988: 14—18.
- [9] 张晓平, 李梁. 吉林省大安地区盐渍土的性质与研究进展[J]. 土壤通报, 2001, 32(S0): 26—30.
- [10] 杨国荣, 孟庆秋, 王海岩. 松嫩平原苏打盐渍土数值分类初步研究[J]. 土壤学报, 1986, 23(4): 291—297.
- [11] 宋新山, 何岩, 邓伟. 松嫩平原盐碱土水分扩散率研究[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 210—214.
- [12] 张为政. 松嫩平原羊草草地植被退化与土壤盐渍化的关系[J]. 植物生态学报, 1994, 18(1): 50—55.
- [13] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草原枯枝落叶分解的研究: 枯枝落叶分解与生态环境的关系[J]. 生态学报, 1993, 13(3): 214—220.