

松嫩平原盐碱化草原土壤理化特性及微生物结构分析

冯玉杰¹, 张巍¹, 陈桥¹, 马程慧²

(1 哈尔滨工业大学环境科学与工程系, 哈尔滨 150090; 2 东北林业大学植物生理与生态系, 哈尔滨 150090)

摘要:以松嫩平原不同程度的典型盐碱化草地及对照土壤为研究对象,考察了土壤的电导率、离子组成、碳素特征及微生物构成等,分析了盐碱地的理化特点及变化规律,并对该地区的盐碱化土壤的分类进行了深入探讨。结果表明,3个区域土壤的理化特征和微生物构成各有其特点,土壤的盐碱化过程伴随着土壤结构和微生物群落的变化;松嫩平原草地是个脆弱的生态系统,必须加强对它的保护和管理。

关键词:盐碱地;松嫩平原;理化性质;微生物

中图分类号:S153

土壤盐碱化是世界性的土壤退化问题,给农业生产造成了极大的损失。由于不合理的灌溉、过度使用化肥和植被破坏,土地盐碱化越来越严重。随着土地资源的紧张,人们尝试着各种方法改良盐碱地,包括工程改良、化学改良^[1-3]和生物改良^[4-7],但效果并不明显。松嫩平原属于干旱-半干旱气候区,区内现有盐碱化土地 373 万 hm^2 ,是世界上三大片苏打盐碱地集中分布区域之一,而且重度盐碱化土地面积仍以每年 1.4% 的速度扩展^[8]。基于对农业、牧业和生态保护的考虑,人们对松嫩平原盐碱地特点、土壤利用的时空变化、土壤盐渍化过程的地下水作用及盐碱地的改良方法等均进行过初步研究^[9-11]。

1986 年到 2000 年间,松嫩平原西部草地大幅减少,面积由 152.93 万 hm^2 减至 107.48 万 hm^2 ,比例从 23.40% 降低到 16.19%^[12]。过度放牧是导致松嫩平原草地次生盐渍化的直接原因^[13-14]。盐碱化草原具有独特的动植物分布和气候条件,对该生态系统的了解有助于我们对盐碱化草地的合理利用和治理,而其土壤和土壤微生物是该生态系统的重要组成部分。由于盐碱化草地植被分布很不均匀,土质变化大,地势坑洼,为了更准确地了解盐碱化草地的特点,本文将松嫩平原典型盐碱化土壤按有无盐碱斑及盐碱斑区域大小、植被覆盖程度、区域内土壤中是否存在可见白色盐粒区块来划分,分别研究 3 种类型的盐碱化区域土壤的理化性质、土壤微生物构成,分析在土壤盐碱化过程中这些性质的变化,探讨松嫩平原盐碱地演化特点。

1 研究区域概况

松嫩平原盐碱化土地主要分布在平原的西部地

区,地处中国北方荒漠化地带的东端,被嫩江和松花江分割成南北两大区:吉林省以镇赉、大安、前郭、长岭、通榆等县市为集中的分布区和黑龙江省以安达、肇源、杜蒙、大庆等市县为集中的分布区(表 1),而安达市是盐碱化程度最为严重的地区之一,盐碱化土地面积 14.76 万 hm^2 ,盐碱地占土地总面积的 41.2%,其中轻度盐碱化的占 27.8%,中度占 13.7%,重度占 58.5%^[1]。实验基地位于安达市,地理位置在东经 124°53'~125°55',北纬 46°01'~47°01',海拔 134~212 m,属于北温带大陆性半干旱季风气候。年平均气温 4.7℃,总日照时间 2660 h,年降水量 380~450 mm,年蒸发量 1100~1500 mm。实验设置两块实验场地,分别标记东区(E)和西区(W)。东区距安达市区大约 5 km,属于盐碱化较严重的草场,地势不平,土质变化较大,有大片的碱斑地,但植物物种丰富。通过采集植物的茎叶,我们对该区主要植物进行了分类,结果见表 2。西区距市区约 30 km,土质较好,植物覆盖率高,以羊草为优势物种,属于原生盐碱化草地,植被未受破坏。

2 研究方法

2.1 土样采集

本研究选取 3 个典型区域作为研究对象。在东区选择 EA、EB 两块 100 m × 100 m 的实验大方地,围栏保护。在每块大方地中选 3 块 9 m × 9 m 的小方地,在 EA 实验地选择的 3 块小方地属于中度盐碱化,在 EB 实验地的 3 块小方地属于重度盐碱化的碱斑地。在西区同样划取 1 个 100 m × 100 m 的实验地,再选取 3 个有代表性的 9 m × 9 m 小方地,其为轻度盐碱化,作为

表 1 松嫩平原盐碱化土地集中分布区域^[1]
Table 1 Spatial distribution of Saline alkali soils in the Songnen Plain

县市	盐碱化土地面积 (万 hm ²)	占总土地面积 (%)	盐碱化程度		
			轻度 (%)	中度 (%)	重度 (%)
镇赉	17.15	31.9	27.2	21.3	51.5
洮南市	5.96	9.5	23.2	27.2	49.6
通榆	34.25	40.4	50.8	27.4	21.8
大安市	28.78	59	20	6	74
前郭	19.33	29.9	49.7	19.7	30.6
扶余	7.7	13.3	58.8	9.2	32
长岭	16.43	28.9	36.6	37.4	26
乾安	18.03	39.7	22.9	34.6	42.5
龙江	6.35	10.3	5.2	91.2	3.6
杜蒙	11.74	19.4		92.8	7.2
大庆市	13.69	28.3	32.1	33.2	34.7
安达市	14.76	41.2	27.8	13.7	58.5
肇源	10.92	26.8	39.5	3.1	57.4
肇州	6.65	27.1	20.3		79.7

表 2 东区生长的主要植物类型
Table 2 Primary plants in the east area

科	植物名称
豆科	野苜蓿 (<i>Medicago falcata</i>)、紫花苜蓿 (<i>Medicago sativa</i>)、草木樨 (<i>Melilotus suaveolens</i>)、山野豌豆 (<i>Vicia amoena</i>)、兴安胡枝子 (<i>Lespedeza davurica</i>) 等
菊科	阿尔泰狗娃花 (<i>Heteropappus altaicus</i> .)、蒙古蒿 (<i>Artemisia mongolica</i>)、线叶蒿 (<i>Artemisia subulata</i>)、猪毛蒿 (<i>Artemisia scoparia</i>)、毛脉山莴苣 (<i>Lactuca raddeana</i>) 等
伞形科	防风 (<i>Saposhnikovia divaricata</i>)
藜科	碱蓬 (<i>Suaeda salsa</i>)
百合科	野韭 (<i>Allium ramosum</i>)
蔷薇科	垂穗粉花地榆 (<i>Sanguisorba tenuifolia</i>)

对照 (CK)。采样时间是 10 月初,采用梅花布点法采集样方 0~15 cm 土层的土样,其中一部分土样在 4℃ 冰箱中保存,另一部分土样经过 20 天风干处理后进行物理化学测定。

2.2 分析方法

烘干法测定土壤的含水量,岛津 TOC-Vcpn-SSM-5000A 测定土壤总 C 和无机 C 含量^[15]。

土壤浸提液制备方法:取过 2 mm 筛的风干土样,按照 1:2.5 的土水(无二氧化碳水)比置于 500 ml 三角瓶中,加入干净的玻璃珠加塞震荡,每隔 30 min 震荡 1 次,每次持续 1 min,共震荡 5 次^[16]。EA 和 W 区的土样直接用定性滤纸抽滤,而 EB 区的土样经滤纸过滤后,再次用砂芯漏斗抽滤,这样就获得了各土样的清亮水浸出液。

浸提液的电导率和 pH 值分别用电导率仪(雷磁 DDS-307)和酸度计(雷磁 PHS-3C)测定^[17-18],NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 浸提液中的 Cl⁻、SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 浓度用离子色谱仪(型号:戴安 DIONEX 4500i;柱:HPIC-AS4SC)测定^[19],Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 K⁺ 浓度用原子吸收分光光度法(岛津 AA-630-01)测定^[20]。

土壤微生物数量用稀释倍数法测定,细菌、放线菌和真菌的分离培养基分别为牛肉膏、高氏一号和马丁琼脂^[21]。

3 结果与分析

3.1 3 个区域土样理化特性及土壤盐碱化分级

3 个区域土样的电导率、pH 值、含水量及阴离子组成如表 3 所示。从表 3 可看出,随着盐碱土植被覆

表 3 3 个区域土样浸提液的电导率、pH 值、含水量和土壤阴离子浓度

Table 3 Conductivity, pH, water content and anion concentration of leaching solutions of the soil samples from the three regions

区域	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	含水量 (g/kg)	Cl^- (cmol/kg)	SO_4^{2-} (cmol/kg)	NO_3^- (cmol/kg)	HCO_3^- (cmol/kg)	CO_3^{2-} (cmol/kg)
轻度盐碱土(W)区	424	8.06	197.1	0.66	0.41	0.06	3.32	0
中度盐碱土(EA) 区	294	9.26	143.1	0.85	0.19	0.14	3.00	0
重度盐碱土(EB)区	1362	10.21	109.2	1.38	0.42	0.68	16.00	0
重度区(EB)表土	914	9.85	—	—	—	—	—	0

盖率逐渐减少，其含水量逐渐降低，这是由于水分蒸发量增加造成的结果。

从表 3 中可以看出，土样的 pH 值都在 8.0 以上，EB 区最高，达到了 10.21。3 个区域土样的电导率值同样为 EB 区最高，其次是 W 和 EA 区，分别为 1362、424 和 294 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。EB 区的电导率和 pH 值同时达到最高水平，说明 EB 区土样的离子组成对土样的碱度有较大的贡献。我们通过测定土样浸提液的 HCO_3^- ，发现 EB 区土样含有最高的 HCO_3^- 浓度，为 16.00 cmol/kg 。作为 CK 的 W 区与 EA 区相比，电导率值虽然升高了，但是 pH 值反而略有降低，同时 W 区的

HCO_3^- 浓度为 3.32 cmol/kg ，也略高于 EA 区的 3.00 cmol/kg 。这一结果表明，仅靠 pH 值或电导率来判断土壤的盐碱化程度是不充分的。同时，考虑到实际上 W 区草原植物生长良好，表现上并没有表现出盐碱化的趋向，也说明我们需要一些其他的指标来衡量评价此地区的土壤盐碱化程度。为此，我们按照文献[22]的报道，对这一地区的盐碱土盐碱化程度的分级又进行了进一步的确认和考察，对所采土样的阳离子交换量（CEC）和交换性 Na^+ 量进行了分析。表 4 是 3 种类型土壤的 CEC 和交换性 Na^+ 量和 3 种类型土壤浸提液中阳离子含量值。

表 4 3 个区域土样的 CEC、交换性 Na^+ 及其他阳离子含量和钠碱化度分析Table 4 Cation exchange capacity, exchangeable Na^+ , and other cation content and ESP of soil samples from the three regions

区域	CEC (cmol/kg)	交换性 Na^+ (cmol/kg)	ESP (%)	K^+ (cmol/kg)	Na^+ (cmol/kg)	Ca^{2+} (cmol/kg)	Mg^{2+} (cmol/kg)	钠吸附比 SAR
轻度盐碱土(W)区	1.79	0.02	1.14	0.2	1.77	1.76	1.07	1.49
中度盐碱土(EA) 区	1.11	0.47	42.61	0.13	34.78	0.35	0.43	55.76
重度盐碱土(EB)区	1.11	0.63	56.93	0.06	10.16	0.065	0.23	26.30
重度区(EB)表土	0.62	0.33	53.48	1.27	46.96	0.16	0.25	104.35

钠吸附比 SAR 值是钠质土和非钠质土判别的常用标准，可以用 SAR15 作为钠质土和非钠质土的标准，同时用 pH 值 8.5 作为碱性和非碱性钠质土的标准。所以，按照这种分类方法，安达地区轻度盐碱土为非碱性钠质土，而其余 3 种类型土壤都属于碱性钠质土。从表 4 可以看出，轻度盐碱土以 Ca^{2+} 和 Na^+ 为主，其余 3 种类型土壤的阳离子都以 Na^+ 为主，即 Na^+ 对土样的电导率贡献较大。与文献[22]进行对比分析，我们认为安达地区盐碱土的分级符合该标准。相对来说，重度盐碱土表土 K^+ 含量比其他 3 种类型的盐碱土 K^+ 含量都高，是轻度盐碱土 K^+ 含量的 10 倍。

值得关注的是，W 区虽然羊草覆盖丰富，但是盐分和碱度已经达到了一个比较高的数值，处于非常脆弱的生态状态，一旦草地被破坏，土壤极易发生盐碱化，这也是过度放牧容易造成安达地区草地盐碱化的

直接原因。

3.2 3 个采样区土壤 C 含量特征

为了进一步考察盐碱地土壤的特点，我们测定了土样的 C 组成。3 个区域的 C 含量如表 5 所示。从实验结果可看出，在盐碱化发展比较成熟的 EB 区，土壤的有机质含量非常低，不到中度盐碱化和 CK 区的 1/3，而中度盐碱化区和 CK 区的总有机 C 含量基本一致，这说明在中度盐碱化土壤中并不缺少有机质。从 3 种土样的总有机 C 含量（TOC）占总 C 的比例来看，随着盐碱化程度的增加而明显呈下降趋势，说明随着土壤盐碱化的加重，不仅土壤的总 C 含量减少了，而且有机质的比重也会随着减少，这和植被面积的减少有直接的联系。

分析表 5 数据还可看到，虽然 EB 区的碳酸盐含量很高，但测定的总无机 C (IC) 含量结果并不高，与

表 5 3 个区域土样中的 C 含量 (g/kg)

Table 5 Carbon content in soil samples from the three regions

区域	TC	IC	TOC	TOC/TC
轻度盐碱土(W)区	38.97	10.9	28.07	7.19
中度盐碱土(EA) 区	34.34	4.17	30.17	8.74
重度盐碱土(EB)区	13.76	4.35	9.41	6.54

注: TC, 总 C 含量; IC, 总无机 C 含量; TOC, 总有机碳含量。

EA 区相当, 而 CK 区的 IC 反而最高。IC 的测定是通过用浓磷酸浸泡土样, 再通过测定 CO₂ 产生量来确定的, 说明在 CK 区可能含有大量的非酸浸出的碳酸盐存在, 可能是一种高度矿化结构的碳酸盐形式。

3.3 3 个区域土壤微生物构成分析

土壤微生物在土壤形成和发育过程中具有重要意义。因其在土壤质量演化过程中具有相对较高的转化能力, 可较早地预测土壤有机质乃至土壤环境的变化过程, 成为反映土壤动态变化以及土壤复退性能的一项重要指标^[11]。盐碱地的特殊环境, 其微生物构成相对其他土质必然有其特殊性, 表 6 列出了 3 个区域土壤的微生物 3 大菌群的数量变化。

表 6 3 个区域土样中微生物的构成 (×10⁴ 个/g 干土)

Table 6 Microbial composition in soil samples from the three regions

区域	细菌	真菌	放线菌	微生物总数
轻度盐碱土(W)区	5800	5.0	3100	8900
轻度盐碱土(EA)区	4000	6.4	2000	6006
重度盐碱土(EB)区	1600	2.5	2500	4102

3 种土样中的微生物以细菌、放线菌为主, 重度盐碱化的 EB 区的细菌总数相对 EA 区和 W 区显著降低。3 个区块的真菌数量都很低, 而且近似相等。一般而言, 土壤中的真菌数量愈大, 则表明土壤环境相对愈好, 微生物类群及数量愈趋均衡, 这一结果说明所研究的 3 个区域的土壤环境都不利于微生物生长。放线菌数量差异性不明显, 说明放线菌具有较强的耐盐碱能力, 对盐碱地的适应性强。微生物总数在 W 区最高, EA 区次之, EB 区最低。盐分和碱度对 EB 区微生物体现出了较强的抑制性, 特别是细菌的数量受到了很大的影响, EB 区细菌总数分别是 EA 区和 W 区的 40% 和 28%。W 区细菌总数的增加, 主要是由于 W 区有机质含量和含水量比较高引起的。

微生物群落结构组成更能体现出土壤微生物在构成上的不同。3 个区域土壤微生物组成如图 1 所示。EA 区和 W 区细菌、真菌和放线菌的比例基本一致, 细菌、真菌、放线菌比重分别是 66.6%、0.1%、33.3% 与 64.8%、0.6%、34.6%, 都以细菌占优势。而 EB 区

土样在微生物组成上发生了很大的变化, 放线菌取代细菌处于优势地位, 占微生物总数的 61%, 细菌只占了 39% 左右。

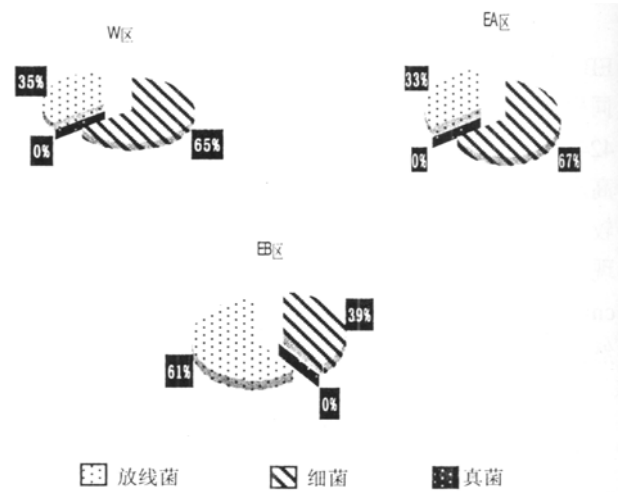


图 1 3 个土壤区域中, 细菌、真菌和放线菌群落结构

Fig. 1 Composition of bacterium, fungus and actinomycete communities in soils of the three regions

生态演替是指物种组成和生物群落结构及功能随时间的变化。草原的盐碱化过程, 伴随着草原生态的演替。EA 区从土壤结构、离子的组成和微生物构成来看类似于 W 区向 EB 区演化的中间阶段。我们考察了该地区的盐碱化进程发现, EA 区和 EB 区在草地破坏以前和 W 区一样也属于以羊草为优势植物的草地, 而当草场植被破坏后, 仅需几年时间就可完成由 W 区到 EB 区的变化。

从以上的分析结果我们可以推测: EA 区和 EB 区草地破坏以后, 首先发生了土壤盐分的积累、微生物数量的改变, 随着土壤盐碱化的加剧, 进而发展为土壤结构的演化和微生物及植物群落结构的变化。

4 结论

(1) 3 个区域土壤的电导率和 pH 值表现出了明显的差异性, 土壤阳离子以 Na⁺ 为主。轻度盐碱化土壤中 Ca²⁺ 含量较高, 为非碱性钠质土。中度和重度盐碱

化区土壤属于碱性钠质土。

(2) 在中度和轻度盐碱化区土壤有较高的有机质含量,而在重度盐碱化区土壤有机质含量很低。

(3) 研究区域中真菌含量均较低。土壤盐碱化过程中,伴随着土壤结构和微生物群落结构的变化。轻度和中度盐碱化区域中细菌、放线菌、真菌比例接近,但重度盐碱化土壤中放线菌数量上升。

(4) 研究区域生态较为脆弱,轻度盐碱化土壤植被破坏后,极易发生盐碱化转化,且转化速度很快。过度放牧及草原破坏易造成草地盐碱化,应该加强对草地的保护和合理利用草原资源。

参考文献:

- [1] 李取生,李秀军,李晓军,王志春,宋长春,章光新. 松嫩平原苏打盐碱地治理与利用. 资源科学, 2003, 25 (1): 15-20
- [2] 王辉,董元华,安琼,孙红霞. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究—以南京市南郊为例. 土壤, 2005, 37 (5): 530-533
- [3] 郑海金,曾峰海,欧立业. 粉煤灰对土壤性质和草坪生长的影响. 土壤, 2005, 37 (2): 205-209
- [4] Shi Z, Huang MX, Li Y. Physico-chemical properties and laboratory hyperspectral reflectance of coastal saline soil in Shangyu city of Zhejiang province. Pedosphere, 2003, 13 (3): 193-198
- [5] 林栖凤,李冠一. 植物耐盐碱性研究进展. 生物工程进展, 2000, 20 (2): 20-25
- [6] Apte SK, Thomas J. Possible amelioration of coastal soil salinity using halotolerant nitrogen-fixing cyanobacteria. Plant and Soil, 1997, 189: 205-211
- [7] 平淑珍,林敏,安道昌. 耐盐联合固氮菌在盐渍化土壤改良中的应用. 高技术通讯, 1999, 9: 60-62
- [8] 李秀军,李取生,王志春,刘兴土. 松嫩平原西部盐碱地特点及合理利用研究. 农业现代化研究, 2002, 23 (5): 361-364
- [9] 牛灵安,郝晋珉,覃莉,孟鹏,李栓怀,隋鹏飞. 盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究. 土壤学报, 2005, 42 (1): 84-90
- [10] Armsrong ASB, Rycroft DW, Tanton TW. Seasonal movement of salts in naturally structured saline-sodic clay soils. Agricultural Water Management, 1996, 32: 15-27
- [11] 蔡晓布,钱成,张元,普琼. 西藏中部地区退化土壤秸秆还田的微生物变化特征及其影响. 应用生态学报, 2004, 15 (3): 463-468
- [12] 李取生,裘善文,邓伟. 松嫩平原土地次生盐碱化研究. 地理科学, 1998, 18 (3): 268-272
- [13] 黄方,刘湘南,叶宝莹,张树文,张养贞. 松嫩平原西部生态脆弱区土地利用时空变化研究. 东北师大学报(自然科学版), 2002, 34 (1): 105-110
- [14] 王凤生,田兆成. 吉林省松嫩平原土壤盐渍化过程中的地下水作用. 吉林地质, 2002, 21 (1/2): 79-88
- [15] 俞益武,徐秋芳. 天然林改为经济林后土壤微生物量的变化. 水土保持学报, 2003, 17 (5): 103-106
- [16] Manoranjan KM, Sadiqul IB, Danielito TF. Soil salinity reduction and prediction of salt dynamics in the coastal ricelands of Bangladesh. Agricultural Water Management, 2001, 47: 9-23
- [17] 林义成,丁能飞,傅庆林,丁炳红,王建红. 土壤溶液电导率的测定及其相关因素的分析. 浙江农业学报, 2005, 17 (2): 83-86
- [18] 盛建东,杨玉玲,陈冰,武红旗. 土壤总盐、pH及总碱度空间变异特征研究. 土壤, 2005, 37 (1): 69-73
- [19] 张树香. 离子色谱测定新疆土壤中 Cl^- , NO_3^- 和 SO_4^{2-} . 现代科学仪器, 2004, 5: 60-61
- [20] 徐立生,蔡裕丰. 原子吸收法测定降水中的钾、钠、钙、镁的改进. 污染防治技术, 2005, 18 (4): 71-72
- [21] 赵斌,何绍江. 微生物学实验. 北京: 科学出版社, 2003
- [22] 李学恒. 土壤化学. 北京: 高等教育出版社, 2003

Physico-Chemical Characteristics and Microbial Composition of Saline-Alkaline Soils in Songnen Plain

FENG Yu-jie¹, ZHANG Wei¹, CHEN Qiao¹, MA Cheng-hui²

(¹ Department of Environmental Science & Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China,

² Department of Botany, Northeast Forest University, Harbin 150090, China)

Abstract: Grasslands typical but different in salinity-alkalinity in the Songnen Plain were selected to study conductivity, ion composition, carbon characteristics and microbial composition of the soils. Results showed that soils in the three different regions varied significantly in physico-chemical characteristics and microbial composition, and that soil structure and microbial communities also varied with the process of salinization of the saline-alkaline soils. It can be concluded that grasslands of the Songnen Plain is a fragile kind of ecosystem that calls for intensive protection and management.

Key words: Saline-alkaline land, Songnen Plain, Physico-chemical characteristics, Microbe