

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0327

范富,张庆国,马玉露,孙德智,萨如拉,苏雅乐其其格,孙海岩.不同植被覆盖盐碱地碱化特征及养分状况.草业科学,2017,34(5):932-942.

Fan F.Zhang Q G, Ma Y L, Sun D Z, Sarula, Suyaleqiqige, Sun H Y. Alkalization characteristics and nutrient status of different vegetation. Pratacultural Science, 2017, 34(5):932-942.

不同植被覆盖盐碱地碱化特征及养分状况

范富,张庆国,马玉露,孙德智,萨如拉,苏雅乐其其格,孙海岩

(内蒙古民族大学农学院,内蒙古 通辽 028000)

摘要:为进行区域耕地保护和提升,增加耕地数量,合理开发利用长期处于荒废状态的盐碱地势在必行。本研究采用常规经典的测试方法,对西辽河流域8种植被覆盖盐碱地土壤0-5、5-15、15-30和30-50 cm剖面层的土壤有机质、速效养分、碱化特征及离子组成进行了分析。结果表明,不同植被覆盖盐碱地养分含量均不同,玉米(*Zea mays*)地、羊草(*Leymus chinensis*)+狗尾草(*Setaria viridis*)草地的有机质、速效养分含量较高;虎尾草(*Chloris virgata*)草地、裸地、碱蓬(*Suaeda glauca*)地的养分含量相近且极显著低于玉米地和羊草+狗尾草草地的养分含量($P < 0.01$)。各生态景观的碱化特征在4个剖面层间均差异极显著($P < 0.01$),羊草+狗尾草的pH、碱化度(ESP)和含盐量在4个剖面层中均低于其它生态景观的;裸地、碱蓬地、芦苇地(*Phragmites australis*)和芦苇苔草(*Carex dariuscula*)草地在4个剖面层的pH、ESP和含盐量均较高;碱蓬地与裸地在0-5 cm剖面层的 Na^+ 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 含量较高,玉米地、羊草+狗尾草的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 较低。各植被覆盖地间的离子组成基本呈极显著性差异($P < 0.01$)。由于盐碱化土壤退化到一定程度会变成裸地,不利于改良利用,因此,本研究通过比较不同植被覆盖盐碱地4个剖面层的养分状况和碱化特征,认为羊草+狗尾草覆盖有利于盐碱化土壤的改良。

关键词:植被;盐碱地;剖面;速效养分;碱化度;离子组成;西辽河流域

中图分类号:S151.9⁺5 文献标志码:A 文章编号:1001-0629(2017)05-0932-11*

Alkalization characteristics and nutrient status of different vegetation

Fan Fu, Zhang Qing-guo, Ma Yu-lu, Sun De-zhi, Sarula, Suyaleqiqige, Sun Hai-yan

(College of Agriculture, Inner Mongolia University for the Nationalities, Tongliao 028000, China)

Abstract: It is important to develop and utilise saline-alkali land for protecting, improving the quality, and increasing the area of cultivated land. This research adopts the conventional analytical method for estimating organic matter and available nutrient content, alkalization, and ion composition in the soil of West Liaohe Basin at depths of 0-5, 5-15, 15-30, and 30-50 cm, across eight vegetation. Nutrient content in saline-alkali soil differed among the eight ecological landscapes studied. Organic phosphorus content was higher in saline-alkali land growing corn, and *Leymus chinensis* and *Setaria viridis*. Similar or relatively low nutrient content, but significant difference among the soil profile layers was found in *Chloris virgata* and *Suaeda glauca* landscapes, and in bare land ($P < 0.01$). The characteristics differed significantly among the four soil layers ($P < 0.01$). The pH, ESP, and salinity were generally low in the four soil layers of areas growing *L. chinensis* and *S. viridis*. Na^+ , CO_3^{2-} , and HCO_3^- content were very high within a depth of 0-5 cm *S. glauca* covered and bare land-

* 收稿日期:2016-06-17 接受日期:2017-01-03

基金项目:内蒙古自然科学基金项目(2013MS0605);内蒙古自治区科技创新引导项目;内蒙古民族大学重点项目(NMDGP1410)

通信作者:范富(1963-),男,内蒙古化德人,教授,本科,主要从事植物营养调控和土壤改良方面的研究。E-mail:fanfu63@163.com

scapes. CO_3^{2-} and HCO_3^- content were lower on saline-alkali land that grew corn, *L. chinensis* and *S. viridis*. There were significant differences in the ion composition among four soil layers of same ecological landscape ($P < 0.01$). Bare landscapes develop when the salinity of soil reaches a certain level. In conclusion, the present study can provide a theoretical basis for reasonable restoring salinized land.

Key words: vegetation; saline-alkali soil; profile; available nutrient; alkalization; ion composition; West Liaohe Basin

Corresponding author: Fan Fu E-mail: fanfu63@163.com

西辽河流域地处松辽平原西端,由于受半干旱季风气候、地下水以及矿质元素迁移的地球化学过程和人为因素等的影响,形成了大面积的盐碱土。通辽市大片的盐碱地长期处于荒废状态,农作物单产低下,产草量下降,使得人民生活水平的提高和农牧业生产受到严重制约^[1]。该区域碱土属于苏打碱土,0—50 cm 含盐量一般为 0.1%~1.0%, pH 8.5~10.6, 碱土碱化度为 45%~90%, 碱化土层深度一般大于 30 cm^[2]。常见的植物生态景观有以羊草(*Leymus chinensis*)、狗尾草草(*Setaria viridis*)、芦苇地(*Phragmites australis*)、芦苇苔草草(*Carex duriuscula*)、虎尾草草(*Chloris virgata*)、马莲地(*Iris ensata*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)等为主的草地及裸地^[3]。由于不同植物耐盐碱程度的差异,不同植被覆盖地的碱化特征和养分状况必然异同。目前,国内外关于盐碱地改良的研究较多,而研究盐碱地碱化特性和养分状况的较少。关于玉米(*Zea mays*)秸秆造夹层对盐碱地碱化特征及养分状况影响的研究^[4]表明,秸秆造夹层使盐碱地土壤养分都有不同程度的增加,碱化特征指标趋于良性改善;运用主成分分析对大庆市不同土壤类型盐碱化特征进行评价,发现不同土壤类型的全盐量与各阴离子的相关性有显著差异^[5];盐碱地土壤性质随耕作、灌溉及施肥管理等方式的不同而具有很大差异^[6];深施、多施有机肥结合深翻及洗盐、排盐等措施对盐碱地土壤理化性质的改善均有很大作用^[7]。有关不同植被覆盖下的碱化特征的研究甚少,研究者对苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤理化性质间相互关系进行了探讨^[8];吉林西部退化草原 6 种常见植被类型下土壤(0—20 cm)盐渍化特征分析^[9]表明,植被类型对土壤盐度具有很好的指示作用。尽管不同地区盐碱地的形成及盐碱化程度有很大差异,但土壤与植物之间存在着相互密切的依存关系,研究分析了不同植被覆盖下盐碱地剖面碱化特性和养分状况含量分布与变化,旨在为修复盐碱地和合理开发利用盐碱地提供

理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古科尔沁左翼中旗北部,居科尔沁草原腹地,土壤以风沙土、草甸土、盐碱土为主。全镇年平均气温 5 °C, 年降水量在 300~450 mm, ≥ 10 °C 年积温 3 100 °C · d, 无霜期平均 150 d, 最热月平均气温 24 °C, 最冷月平均气温 -16.2 °C, 年平均日照 2 906 h, 相对湿度在 55%~61%^[10]。

1.2 供试土样

取样点位于内蒙古通辽市科尔沁左翼中旗代力吉镇(44°10′—44°13′ N, 122°47′—122°52′ E), 海拔高度为 156.5~158.5 m, 取样时间 2014 年 6 月 25 日。采样前 15 d 无降水, 采集自然盐碱土, 尽量避免人为扰动的影响[玉米(*Zea mays*)地有人为施肥, 但无灌溉]。选择羊草+狗尾草草、芦苇地、芦苇苔草草、虎尾草草、马莲地、碱蓬地、裸地、玉米地 8 种植被覆盖地采集土样。由于盐碱地空间变异性大, 每个景观选 4 个点共 32 个取样点, 本试验区盐碱地多为苏打碱土, 碱化层厚度约 30 cm, 盐渍化严重的裸地有 0—0.5 cm 厚的结皮层, 5—15 cm 为灰黄色沙壤土柱块状结构, 30—50 cm 为无结构少根系灰黄色沙壤土; 每个取样点挖取土壤剖面之后按照 0—5、5—15、15—30、30—50 cm 划剖面层, 由下而上取土样。在景观相同的 4 个取样点, 把相同剖面层次土样混合, 组成该景观不同层次的混合土样。四分法取样 1 kg 封存于自封袋, 土样带回实验室及时进行风干处理, 风干后磨细全部过 1 mm 筛, 封存于广口玻璃瓶或塑料瓶中用于测试分析。

1.3 测定项目和分析方法

测定项目: 土壤 pH、碱化度(ESP)、含盐量、离子组成(阳离子 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} , 阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 和 HCO_3^-)、有机质、碱解氮、速效磷和

速效钾。

测定方法:采用电位法测定 pH(1:5 土液比);采用残渣烘干法测定含盐量(1:5 土液比);采用乙酸钠法测定阳离子交换量;采用醋酸铵—氨水火焰光度法测定交换性钠;采用 EDTA 容量法测定其中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量;采用火焰光度法测定 Na^{+} 、 K^{+} 含量;采用硝酸银滴定法测定 Cl^{-} 含量;采用 EDTA 间接络合滴定法测 SO_4^{2-} 含量;采用双指示剂—中和滴定法测定 CO_3^{2-} 和 HCO_3^{-} 含量;采用重铬酸钾容量法—外加热法测定有机质含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 浸提法测定速效磷含量;采用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提—火焰光度法测定土壤速效钾含量^[11];碱化度(ESP)=(交换性钠/阳离子交换量)×100%。

1.4 数据处理与分析

数据处理采用 Excel 2003 软件,数据统计分析采用 DPS (Data Processing System) 3.01 软件。

2 结果与分析

2.1 有机质含量分析

2.1.1 同一剖面层不同植被覆盖地有机质含量比较
不同植被覆盖盐碱地在 0—5 cm 剖面层有机质含量呈极显著性差异($P < 0.01$),其中虎尾草草地的有机质含量最低,玉米地有机质含量最高(表 1);5—15 cm 剖面层有机质含量除了碱蓬地、芦苇苔草草地和裸地

间无极显著差异外($P > 0.01$),其它样地间差异极显著,其中玉米地有机质含量最高,虎尾草草地有机质含量最低。15—30 cm 剖面层有机质含量羊草+狗尾草草地和玉米地有机质含量较高且无极显著差异,但极显著高于其它样地。30—50 cm 剖面层有机质含量表现为羊草+狗尾草草地与玉米地有机质含量较高。

2.1.2 同一植被覆盖地不同剖面层有机质含量比较

不同剖面层有机质含量除了芦苇苔草草地无极显著差异外($P > 0.01$),其它样地不同剖面层有机质含量差异极显著($P < 0.01$)(表 1)。主要表现为羊草+狗尾草草地、玉米地、马莲地在 5—15 cm 剖面层有机质含量较高,其它样地大多在表层含量最高,其中玉米地在 5—15 cm 剖面层有机质含量最高,为 $28.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,虎尾草草地在 5—15 cm 有机质含量最低,为 $2.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2 碱解氮含量分析

2.2.1 同一剖面层不同植被覆盖地碱解氮含量比较

不同植被覆盖盐碱地在 0—5 cm 剖面层碱解氮含量除芦苇地、碱蓬和裸地无极显著差异($P > 0.01$)外,其它样地间均差异极显著($P < 0.01$)。5—15 cm 剖面层羊草+狗尾草草地和玉米地均极显著高于其它样地($P < 0.01$)。15—30 cm 剖面层羊草+狗尾草草地和玉米地间无极显著差异,但极显著高于其它几个样地。30—50 cm 剖面层芦苇地和芦苇苔草草地无极显著差异,其它样地间差异极显著(表 2)。

表 1 不同植被覆盖盐碱地土壤有机质含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 1 Organic matter content in saline-alkali land of different vegetation ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaria viridis</i> | 11.51±0.11dB | 23.81±2.24aB | 19.15±1.23bA | 14.37±1.23cA |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 7.80±0.22aD | 4.67±1.04bE | 4.49±0.28cC | 3.25±0.45dF |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 5.02±0.48aG | 5.78±1.02aD | 5.56±1.04aBC | 3.39±0.14aE |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 3.46±0.92cH | 2.79±0.12dF | 4.16±0.58bC | 4.66±0.13aD |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 9.05±1.02bC | 14.90±3.02aC | 4.96±0.34cBC | 3.67±0.14dD |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 7.04±0.52aF | 5.49±1.01cD | 6.97±0.57bB | 4.75±0.45dC |
| 裸地 Bare land | 7.31±0.62aE | 5.55±0.91bD | 4.82±1.01cC | 3.56±0.34dF |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 24.88±6.01bA | 28.22±4.03aA | 19.49±5.23cA | 12.35±3.14dB |

注:同行不同小写字母表示同一植被覆盖地不同土层间差异极显著($P < 0.01$),同列不同大写字母表示同一土层不同植被覆盖地间差异极显著($P < 0.01$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference among different layers of the same vegetation and capital letters in the same row indicate significant difference among different vegetation in the same soil layer at the 0.01 level; similar for the following tables.

表 2 不同植被覆盖盐碱地碱解氮含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 2 Alkaline N content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in saline-alkali soils of different vegetation

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|--|---------------|----------------|---------------|--------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaira viridis</i> | 54.80±14.01bB | 117.70±32.01aA | 73.80±9.05aA | 68.40±7.36aA |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 14.90±4.12aC | 10.30±3.20bC | 8.03±2.45cB | 7.29±2.14dD |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 11.50±4.05bD | 14.30±5.02aC | 7.28±1.35dB | 7.46±1.65cD |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 9.00±3.01cE | 9.72±2.12bC | 8.04±1.78dB | 9.97±2.68aC |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 6.20±2.02bfC | 9.00±2.02aC | 5.47±1.56bB | 4.50±1.08bG |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 15.30±5.02aC | 6.47±2.13bC | 3.33±1.05bB | 5.94±0.65bF |
| 裸地 Bare land | 15.20±4.31aC | 11.20±3.14bC | 6.28±2.14dB | 6.64±1.08cE |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 89.90±20.35bA | 101.00±26.31aB | 64.70±12.08cA | 20.60±5.36dB |

2.2.2 同一植被覆盖地不同剖面层碱解氮含量比较

各剖面层中芦苇地、芦苇苔草草地、虎尾草草地、玉米地和裸地间碱解氮含量均差异极显著 ($P < 0.01$), 而羊草+狗尾草草地在 5—15 cm 剖面层含量最高, 为 $117.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱蓬地在 15—30 cm 剖面层含量最低, 为 $3.33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 2)。

2.3 速效磷含量分析

2.3.1 同一剖面层不同植被覆盖地速效磷含量比较

各植被覆盖地在 0—5 cm 剖面层速效磷含量呈极显著差异 ($P < 0.01$), 碱蓬地最大, 极显著高于其余样地; 各样地 5—15 cm 剖面层速效磷含量多为差异不明显; 15—30 cm 剖面层中碱蓬地、玉米地和裸地间无显著差异 ($P > 0.01$), 但极显著高于其它样地, 且其它样地间均差异极显著; 30—50 cm 各样地间差异极显著 (表 3)。

2.3.2 同一植被覆盖地不同剖面层速效磷含量比较

不同剖面层中速效磷含量除了芦苇苔草草地无显著差异以外 ($P > 0.01$), 其它各样地间均差异极显著 ($P < 0.01$), 多表现为表层土壤的速效磷含量比较高, 其中碱蓬地 0—5 cm 剖面层速效磷含量最高, 为 $33.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 玉米地在 30—50 cm 剖面层速效磷含量最低, 为 $1.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 3)。

2.4 速效钾含量分析

2.4.1 同一剖面层次不同植被覆盖地速效钾含量比较 在 0—5 cm 剖面层, 除芦苇苔草草地与裸地外, 其余各植被覆盖地的速效钾含量均差异极显著 ($P < 0.01$), 玉米地最大; 5—15 cm 剖面层中仅羊草+狗尾草草地与芦苇地间无显著差异 ($P > 0.01$), 且二者极显著高于其它样地, 其它样地间均差异极显著; 15—30 cm 剖面层各样地均差异极显著, 芦苇地最大; 30—50 cm 剖面层各样地间差异极显著, 虎尾草草地最大 (表 4)。

表 3 不同植被覆盖盐碱地速效磷含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 3 Available P content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in saline-alkali soil of different vegetation

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|--|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaira viridis</i> | 14.50±0.14aF | 8.76±1.02cD | 2.19±0.04dF | 10.60±0.34bD |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 19.20±0.13aD | 13.40±0.23bCD | 8.94±0.06dD | 10.20±0.02cE |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 23.40±0.45aC | 10.80±0.47aD | 10.90±0.43aC | 12.20±0.13aB |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 14.00±0.31bF | 16.90±0.24aC | 12.60±0.43cB | 9.38±0.43dF |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 15.20±0.45bE | 17.20±0.53aC | 8.56±0.42dE | 14.10±0.42cA |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 33.90±2.01aA | 24.70±0.43bA | 14.70±0.36cA | 8.63±0.34dG |
| 裸地 Bare land | 8.60±0.43cG | 2.25±0.05dE | 14.80±0.43aA | 11.70±0.03bC |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 30.70±1.56aB | 18.40±3.10bBC | 15.00±0.45cA | 1.59±0.01dH |

表4 不同植被覆盖盐碱地速效钾含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)Table 4 Available K content($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) of saline-alkali soil in different vegetation

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|--|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaria viridis</i> | 178.0±4.0aC | 194.0±7.3aA | 126.0±4.3aD | 125.0±5.2aD |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 203.0±3.1aB | 194.0±5.2bA | 156.0±3.1cA | 97.6±5.0dF |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 138.0±5.0aE | 114.0±3.3dE | 124.0±4.2bE | 122.0±3.2cE |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 92.0±2.1cG | 65.3±2.1dG | 130.0±2.5bC | 148.0±5.0aA |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 121.0±4.2aF | 95.6±4.2bF | 83.0±4.5cH | 69.3±2.3dH |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 173.0±5.3aD | 147.0±5.2cB | 152.0±5.6bB | 140.0±4.3dC |
| 裸地 Bare land | 141.0±4.3aE | 132.0±5.4bD | 97.0±4.2cG | 89.5±5.0dG |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 232.8±7.0aA | 137.0±8.0cC | 109.0±4.6dF | 145.0±4.4bB |

2.4.2 同一植被覆盖地不同剖面层速效钾含量比较

不同剖面层中除了羊草+狗尾草草地速效钾含量差异不极显著之外($P>0.01$),其它各样地间差异极显著($P<0.01$),多表现为表层速效钾含量最高,其中玉米地在0—5 cm剖面层含量最高,为232.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,虎尾草草地在5—15 cm剖面层含量最低,为65.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表4)。

2.5 碱化特征分析

2.5.1 pH比较 0—5 cm剖面层各样地土壤pH除芦苇地和光地板差异不极显著外($P>0.01$),其它样地间均差异极显著($P<0.01$)。pH在10以上的样地为芦苇苔草草地>芦苇地>裸地>碱蓬地,玉米地和羊草+狗尾草草地pH较低,在9以下。5—15 cm剖面层pH为碱蓬>芦苇地>马莲地>芦苇苔草草地>裸地>虎尾草草地>玉米地>羊草+狗尾草

草地。15—30 cm剖面层仅碱蓬和芦苇苔草草地pH在10以上,羊草+狗尾草草地最低。30—50 cm剖面层碱蓬地最高,为10.03;羊草最低,为8.72(表5)。

羊草+狗尾草草地和裸地的pH在前3个剖面层间差异极显著($P<0.01$)其中0—5 cm表层土壤pH最高;芦苇地和玉米地的pH在中间两个剖面层间无极显著差异($P>0.01$),但芦苇地的pH在0—5 cm土层最高,而玉米地在30—50 cm土层最高;芦苇苔草草地和马莲地的pH在不同剖面层间均差异极显著;虎尾草草地30—50 cm剖面层的pH极显著高于其它3个剖面层的;碱蓬在30—50 cm剖面层极显著低于其它3个剖面层;除了羊草+狗尾草草地和玉米地,其它植被覆盖地的pH在9以上,高者超过10,这是该区域苏打碱化盐渍土壤所致。

表5 不同植被覆盖盐碱地pH

Table 5 The pH of saline-alkali soil of different vegetation

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaria viridis</i> | 8.76±0.02aF | 8.70±0.11cF | 8.64±0.11cG | 8.72±0.16bE |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 10.21±0.01aB | 9.97±0.42bB | 9.99±0.18bB | 9.73±0.43cB |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 10.35±0.01aA | 9.84±0.29cBC | 10.01±0.21bB | 9.17±0.24dD |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 9.38±0.11bE | 9.41±0.19bD | 9.45±0.31bE | 9.76±0.52aB |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 9.52±0.04cD | 9.94±0.14aB | 9.67±0.42bD | 9.17±0.41dD |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 10.05±0.03aC | 10.21±0.29aA | 10.16±0.22aA | 10.03±0.61bA |
| 裸地 Bare land | 10.17±0.01aB | 9.75±0.41cD | 9.83±0.33bC | 9.77±0.82cB |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 8.27±0.01cG | 9.10±0.13bE | 9.25±0.41bF | 9.64±2.02aC |

2.5.2 ESP 比较 0—5 cm 剖面层芦苇地与裸地的 ESP 超过 90%,碱蓬地和芦苇苔草草地间差异不极显著($P>0.01$),虎尾草草地与马莲地间差异不极显著;5—15 cm 剖面层羊草+狗尾草草地极显著低于其它样地($P<0.01$),15—30 cm 剖面层各样地间差异极显

著,表现为玉米地>虎尾草草地>碱蓬>芦苇地>马莲地>裸地>芦苇苔草草地>羊草+狗尾草草地,羊草+狗尾草草地的 ESP 值最小,在 20%以下;30—50 cm 剖面层虎尾草草地与芦苇地间及裸地与玉米地间均差异不极显著,其它样地之间差异极显著(表 6)。

表 6 不同植被覆盖盐碱地 ESP(%)
Table 6 ESP content(%) of saline-alkali soil in different vegetation

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|---|---------------|----------------|--------------|--------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis+Setaira viridis</i> | 18.43±1.23bE | 26.30±1.02aE | 17.37±2.45cH | 17.70±2.12bF |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 91.67±5.12aA | 80.77±2.31bABC | 72.87±5.13cD | 55.03±2.35dC |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 78.03±4.12aB | 65.67±2.13bD | 58.67±4.01cG | 24.17±2.13dE |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 69.33±2.14cC | 74.07±4.25bBCD | 78.20±2.56aB | 51.93±5.12dC |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 66.87±4.02aC | 72.3±5.01aCD | 71.23±8.21aE | 35.80±2.42bD |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 81.53±4.12bB | 86.83±2.31aA | 77.27±2.35cC | 68.03±2.56dB |
| 裸地 Bare land | 98.17±4.01aA | 83.47±2.41bAB | 70.37±3.56dF | 76.27±5.12cA |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 28.19±2.01cD | 71.28±2.34bCD | 88.52±5.42aA | 78.98±4.12bA |

羊草+狗尾草草地的 ESP 值在前 3 个剖面层间差异极显著($P<0.01$),其中 5—15 cm 最高;芦苇地、芦苇苔草草地、虎尾草草地、碱蓬、裸地不同剖面层间均差异极显著;马莲地在 30—50 cm 剖面层极显著低于与其它 3 个剖面层;玉米地在 5—15 和 30—50 cm 剖面层间无极显著差异($P>0.01$),但与其它两个剖面层差异极显著。裸地和芦苇地在 0—5 cm 时 ESP 值超过了 90%,裸地 0—5 cm 剖面层的 ESP 值最高,达 98.17%。这可能是由于交换钠的含量高以及河流冲积母质为沙性,阳离子交换量低的缘故。

2.5.3 含盐量比较 0—5 cm 剖面层含盐量除了芦苇地与马莲地、虎尾草草地与裸地间无极显著差异之外($P>0.01$),其它各样地间差异极显著($P<0.01$),并且玉米地的含盐量最高,超过了 $9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;5—15 cm 剖面层各样地间差异极显著,表现为芦苇苔草草地>马莲地>芦苇>羊草+狗尾草草地>玉米地>虎尾草草地>碱蓬地>裸地,裸地最小,为 $0.88\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,芦苇苔草草地最大,为 $16.91\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;15—30 cm 剖面层各样地间差异显著,具体表现为芦苇地>裸地>玉米地>芦苇苔草草地>马莲地>虎尾草草地>羊草+狗尾草草地>碱蓬地,碱蓬地最小,为 $1.35\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,芦苇地最大,为 $32.94\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$;30—50 cm 剖面层各样地表现为芦苇地>虎尾草草地>碱蓬地>裸地>马

莲地>玉米地>羊草+狗尾草草地>芦苇苔草草地,芦苇苔草草地最小,为 $0.92\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,芦苇地最大,为 $23.44\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

羊草+狗尾草草地、芦苇地、芦苇苔草草地、虎尾草草地、马莲地、裸地和玉米地含盐量在 4 个剖面层间均呈极显著性差异($P<0.01$);碱蓬含盐量在 30—50 cm 剖面层极显著性高于 0—5 cm(表 7)。

2.6 离子组成分析

2.6.1 阳离子组成含量分析对比 在 0—5 cm 剖面层,各样地间 Ca^{2+} 含量差异极显著($P<0.01$)(表 8); Mg^{2+} 含量,芦苇苔草草地和马莲地极显著低于其它样地; K^{+} 含量,羊草+狗尾草草地、芦苇地、裸地、芦苇苔草草地和虎尾草草地间差异极显著; Na^{+} 含量,羊草+狗尾草草地与芦苇苔草草地、芦苇地和虎尾草草地间无极显著差异($P>0.01$),其它各样地间差异极显著。在 5—15 cm 剖面层,各样地间 Ca^{2+} 含量差异极显著; Mg^{2+} 含量,芦苇苔草草地、马莲地和碱蓬地极显著高于其它各样地; K^{+} 含量,羊草+狗尾草草地、马莲地和裸地极显著高于其它样地; Na^{+} 含量,羊草+狗尾草草地与芦苇苔草草地、芦苇地与虎尾草草地之间无极显著性差异,其它样地间呈极显著性差异。在 15—30 cm 剖面层, Ca^{2+} 含量,碱蓬地与虎尾草草地之间、羊草+狗尾草草地与玉米地之间无极显著性差异,其它

表7 不同植被覆盖盐碱地含盐量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Table 7 Salinity content($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) in saline-alkali soil of different vegetation

| 样地 Sample site | 土层 Soil layer | | | |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0—5 cm | 5—15 cm | 15—30 cm | 30—50 cm |
| 羊草+狗尾草草地 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaira viridis</i> | 0.99±0.02dE | 5.07±0.42aD | 2.07±0.14bG | 1.30±0.01cG |
| 芦苇地 <i>Phragmites australis</i> | 7.41±1.02dB | 10.37±1.02cC | 32.94±2.58aA | 23.44±4.09bA |
| 芦苇苔草草地 <i>Carex duriuscula</i> | 5.65±0.45cC | 16.91±3.47aA | 11.77±3.01bD | 0.92±0.01dH |
| 虎尾草草地 <i>Chloris virgata</i> | 0.60±0.17dF | 2.85±0.37cF | 3.80±1.02bF | 13.51±2.57aB |
| 马莲地 <i>Iris ensata</i> | 7.38±1.36cB | 13.13±1.03aB | 11.61±2.42bE | 6.00±2.04dE |
| 碱蓬地 <i>Suaeda glauca</i> | 3.53±0.45bD | 1.76±0.47bG | 1.35±0.04bH | 10.43±1.45aC |
| 裸地 Bare land | 0.28±0.04dF | 0.88±0.03cH | 15.28±2.36aB | 7.18±3.01bD |
| 玉米地 <i>Zea mays</i> fields | 9.44±1.45bA | 3.73±1.02cE | 12.07±4.02aC | 1.75±0.07dF |

样地间呈极显著性差异; Mg^{2+} 含量, 芦苇地、玉米地、马莲地和芦苇苔草草地与其它各样地间均呈极显著性差异; K^+ 含量, 碱蓬地极显著高于其它各样地; Na^+ 含量, 玉米地与芦苇地、虎尾草草地与裸地、芦苇苔草草地与马莲地之间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著性差异。在 30—50 cm 剖面层, Ca^{2+} 含量和 Mg^{2+} 含量均表现为, 玉米地与羊草+狗尾草草地和虎尾草草地之间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著差异; K^+ 含量, 羊草+狗尾草草地、芦苇苔草草地和马莲地之间无极显著差异, 与其它各样地间均呈极显著性差异; Na^+ 含量, 芦苇地与碱蓬地、芦苇苔草草地和玉米地之间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著性差异。

不同剖面层, 羊草+狗尾草草地、芦苇地、芦苇苔草草地、虎尾草草地、马莲地和裸地的 Ca^{2+} 含量均差异极显著 ($P < 0.01$), 羊草+狗尾草草地、马莲地、碱蓬地和裸地的 K^+ 含量均差异极显著, 芦苇地、芦苇苔草草地、虎尾草草地、马莲地和裸地 Mg^{2+} 含量均差异极显著(表 8)。羊草+狗尾草草地的 Mg^{2+} 含量除了 0—5 cm, Na^+ 含量除了 30—50 cm, 其它剖面层间均差异不极显著 ($P > 0.01$); 芦苇地的 K^+ 含量除了 0—5 和 5—15 cm 之间, 其它剖面层间差异极显著, Na^+ 含量在 0—15 和 15—50 cm 间差异极显著; 芦苇苔草草地 0—15 cm 的 K^+ 含量极显著低于其它 3 个剖面层, Na^+ 含量在 0—15 和 15—50 cm 间差异极显著; 虎尾草草地的 Na^+ 含量在 0—15 和 15—50 cm 间差异极显著, K^+ 含量 15—50 cm 极显著高于其它剖面层; 马莲地的 Na^+ 含量在 30—50 cm 极显著低于其它剖面层; 碱蓬地的 Ca^{2+} 含量在 0—15 和 15—50 cm 间差异极显

著, Na^+ 含量在 0—15 cm 极显著低于 15—30 和 30—50 cm; 裸地的 Na^+ 含量 30—50 cm 极显著高于其它剖面层; 玉米地的 Ca^{2+} 含量在 0—5 cm 极显著低于 5—50 cm, Mg^{2+} 含量在各剖面层间均呈极显著差异, K^+ 含量均无极显著性差异, Na^+ 含量除了 0—15 cm 极显著低于其它剖面层。

2.6.2 阴离子组成含量分析对比 在 0—5 cm 剖面层, 各植物生态景观盐碱地的 CO_3^{2-} 含量与 HCO_3^- 含量均呈极显著差异 ($P < 0.01$) (表 8); Cl^- 含量, 芦苇苔草草地与裸地、玉米地间无极显著性差异 ($P > 0.01$), 其它样地间呈极显著性差异; SO_4^{2-} 含量, 马莲地和碱蓬地之间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著差异。在 5—15 cm 剖面层, CO_3^{2-} 含量均呈极显著差异; HCO_3^- 含量, 玉米地和羊草+狗尾草草地间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著性差异; Cl^- 含量, 芦苇地和芦苇苔草草地、虎尾草草地和玉米地间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著差异 ($P < 0.01$); SO_4^{2-} 含量, 芦苇苔草草地与碱蓬地、羊草+狗尾草草地与裸地间无极显著性差异, 其它样地间均呈极显著差异。在 15—30 cm 剖面层, CO_3^{2-} 含量, 芦苇地和裸地之间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著差异; HCO_3^- 含量, 玉米地、虎尾草草地和羊草+狗尾草草地间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著差异; Cl^- 含量, 碱蓬地极显著高于其它样地; SO_4^{2-} 含量, 虎尾草草地与其它样地间呈极显著差异。在 30—50 cm 剖面层, CO_3^{2-} 含量, 裸地与玉米地间无极显著性差异, 其它样地间呈极显著性差异; HCO_3^- 含量, 各样地间

表 8 不同植被覆盖盐碱地阳离子和阴离子含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 8 The cationic and anion content ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) of the same profile different vegetation in saline-alkali land

| 项目 Item | 土层 Soil layer/ cm | 羊草+狗尾草 <i>Leymus chinensis</i> + <i>Setaria viridis</i> | 芦苇 <i>Phragmites australis</i> | 芦苇苔草 <i>Carex duriscula</i> | 虎尾草 <i>Chloris virgata</i> | 马莲 <i>Iris ensata</i> | 碱蓬 <i>Suaeda glauca</i> | 裸地 Bare land | 玉米地 Cornfields |
|-------------------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|
| Ca ²⁺ | 0-5 | 0.32±0.01aF | 0.83±0.03aB | 0.15±0.04dG | 0.68±0.12aC | 0.49±0.04cD | 0.38±0.03aE | 1.00±0.41aA | 0.07±0.01cH |
| | 5-15 | 0.23±0.01bF | 0.49±0.01cB | 0.52±0.03aG | 0.19±0.04bC | 0.98±0.01aD | 0.37±0.01aE | 0.51±0.01bA | 0.09±0.01bH |
| | 15-30 | 0.10±0.02dF | 0.54±0.04bB | 0.33±0.06bD | 0.16±0.04cE | 0.61±0.03bA | 0.15±0.04bE | 0.44±0.01cC | 0.09±0.01aF |
| | 30-50 | 0.15±0.01cC | 0.12±0.04dC | 0.20±0.01cA | 0.04±0.01dE | 0.11±0.04dD | 0.17±0.03bB | 0.21±0.04dA | 0.12±0.08aC |
| Mg ²⁺ | 0-5 | 0.05±0.01bD | 0.52±0.03bA | 0.01±0.01dE | 0.54±0.02aA | 0.33±0.04cC | 0.50±0.03bAB | 0.50±0.01aAB | 0.06±0.00dD |
| | 5-15 | 0.09±0.01aD | 0.56±0.05aB | 0.64±0.01aA | 0.30±0.01bC | 0.71±0.04aA | 0.88±0.05aA | 0.42±0.01bB | 0.23±0.01bC |
| | 15-30 | 0.08±0.01aG | 0.45±0.03cB | 0.60±0.04bA | 0.11±0.01cFG | 0.38±0.02bC | 0.16±0.04dE | 0.13±0.05eEF | 0.26±0.01aD |
| | 30-50 | 0.08±0.04aF | 0.38±0.09dB | 0.46±0.07cA | 0.07±0.01dG | 0.16±0.04dD | 0.35±0.04cC | 0.10±0.04dE | 0.07±0.01cFG |
| Cl ⁻ | 0-5 | 0.32±0.02aA | 0.13±0.06bD | 0.23±0.04aC | 0.10±0.01bF | 0.12±0.04dDE | 0.11±0.04dF | 0.28±0.04aB | 0.11±0.04aEF |
| | 5-15 | 0.29±0.01bA | 0.13±0.01bB | 0.09±0.01bC | 0.10±0.03bB | 0.29±0.04aA | 0.17±0.01cB | 0.23±0.01bA | 0.10±0.01aC |
| | 15-30 | 0.13±0.01dBCD | 0.06±0.01cD | 0.21±0.01aB | 0.13±0.01aBCD | 0.18±0.01cBC | 0.38±0.04aA | 0.12±0.03dCD | 0.17±0.05aBC |
| | 30-50 | 0.23±0.03cB | 0.19±0.04aCD | 0.22±0.04aB | 0.18±0.10aD | 0.23±0.04bB | 0.27±0.05bA | 0.15±0.04cE | 0.20±0.06aC |
| Na ⁺ | 0-5 | 0.32±0.02aE | 0.20±0.08bF | 0.29±0.09bE | 0.18±0.01bF | 0.48±0.03aC | 0.56±0.01cB | 0.68±0.01bA | 0.44±0.04cD |
| | 5-15 | 0.32±0.02aC | 0.20±0.01bD | 0.29±0.01bC | 0.18±0.01bD | 0.48±0.01aB | 0.56±0.02cA | 0.68±0.01bA | 0.44±0.01cB |
| | 15-30 | 0.28±0.01aE | 0.57±0.03aC | 0.41±0.04aD | 0.68±0.24aB | 0.42±0.24aD | 0.89±0.24aA | 0.70±0.14bB | 0.59±0.42aC |
| | 30-50 | 0.20±0.04bF | 0.68±0.02aB | 0.44±0.01aD | 0.56±0.04aC | 0.27±0.14bE | 0.69±0.07bB | 1.03±0.08aA | 0.46±0.01bD |
| CO ₃ ²⁻ | 0-5 | 0.01±0.01aG | 0.03±0.01dF | 0.08±0.01aC | 0.04±0.11bE | 0.06±0.01dD | 0.11±0.01aB | 0.13±0.04aA | 0.00±0.01dH |
| | 5-15 | 0.00±0.000bH | 0.01±0.01aA | 0.05±0.01bE | 0.04±0.01bF | 0.08±0.02aC | 0.01±0.02bB | 0.07±0.01cD | 0.03±0.01cG |
| | 15-30 | 0.00±0.00bG | 0.08±0.03bC | 0.04±0.01cF | 0.09±0.02aB | 0.08±0.03bD | 0.10±0.05aA | 0.08±0.02bC | 0.04±0.01bE |
| | 30-50 | 0.00±0.00bG | 0.07±0.01cE | 0.01±0.00dF | 0.08±0.02aA | 0.07±0.02cC | 0.08±0.01cB | 0.07±0.01cD | 0.07±0.01aD |
| HCO ₃ ⁻ | 0-5 | 0.01±0.02aG | 0.21±0.12dC | 0.11±0.01dF | 0.15±0.05aE | 0.20±0.03cD | 0.23±0.05aB | 0.30±0.06aA | 0.05±0.02dH |
| | 5-15 | 0.01±0.02aF | 0.31±0.02bB | 0.31±0.02bC | 0.07±0.01bG | 0.41±0.01aA | 0.17±0.01bE | 0.27±0.03bD | 0.09±0.01bF |
| | 15-30 | 0.06±0.01bF | 0.28±0.04cB | 0.36±0.31aA | 0.07±0.01bF | 0.23±0.03bD | 0.17±0.07bE | 0.26±0.20cC | 0.07±0.01cF |
| | 30-50 | 0.06±0.01bG | 0.51±0.02aA | 0.28±0.03cB | 0.03±0.01cH | 0.08±0.01dF | 0.14±0.03cC | 0.13±0.02dD | 0.11±0.02aE |
| Cl ⁻ | 0-5 | 0.02±0.01aG | 0.05±0.01cC | 0.03±0.01dEF | 0.04±0.01aD | 0.05±0.02cB | 0.16±0.02cA | 0.03±0.01dF | 0.03±0.01aE |
| | 5-15 | 0.02±0.01aF | 0.04±0.01dD | 0.04±0.01cD | 0.03±0.01bE | 0.09±0.01aB | 0.22±0.03aA | 0.06±0.01cC | 0.03±0.01bE |
| | 15-30 | 0.02±0.00aD | 0.11±0.02bBC | 0.05±0.01bCD | 0.02±0.01bD | 0.09±0.01bBCD | 0.21±0.05bA | 0.14±0.06bB | 0.02±0.01bD |
| | 30-50 | 0.02±0.01aG | 0.56±0.04aA | 0.05±0.02aD | 0.02±0.00cG | 0.04±0.01dE | 0.22±0.01aC | 0.43±0.02aB | 0.02±0.01bF |
| SO ₄ ²⁻ | 0-5 | 0.04±0.01bE | 0.14±0.03bC | 0.00±0.00dG | 0.26±0.01aA | 0.18±0.05aB | 0.17±0.04aB | 0.07±0.01cD | 0.01±0.00cF |
| | 5-15 | 0.10±0.01aD | 0.12±0.02bC | 0.20±0.01aA | 0.00±0.00cF | 0.15±0.05bB | 0.20±0.05aA | 0.10±0.02bD | 0.09±0.01aE |
| | 15-30 | 0.00±0.00cE | 0.09±0.01cA | 0.06±0.01cC | 0.04±0.01bD | 0.08±0.01cAB | 0.08±0.02bAB | 0.00±0.01dE | 0.07±0.01bBC |
| | 30-50 | 0.05±0.02bD | 0.22±0.02aA | 0.16±0.01bC | 0.00±0.00cE | 0.00±0.00dE | 0.17±0.01aBC | 0.17±0.03aB | 0.00±0.00cE |

注:同行不同大写字母同一指标不同植被覆盖盐碱地间差异极显著 ($P < 0.01$), 同列小写字母表示同一指标不同土层间差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Different capital case letters within same row indicate significant difference among different vegetation of the same index. at 0.01 level, Different lowercase letters within the same column indicate significant difference among different layers of the same index.

均呈极显著性差异;Cl⁻含量,羊草+狗尾草草地与虎尾草草人间无显著性差异,其它样地间呈极显著差异;SO₄²⁻含量,羊草+狗尾草草地、芦苇地和玉米地与其它样地间呈极显著差异。

羊草+狗尾草草地土壤盐分组成以Ca(HCO₃)₂、NaHCO₃、KHCO₃为主;芦苇地浅层土以Ca(HCO₃)₂、Mg(HCO₃)₂为主,深层土以NaCl为主;芦苇苔草草地以Ca(HCO₃)₂、NaHCO₃、Mg(HCO₃)₂为主;虎尾草草地浅层土以CaSO₄、MgSO₄为主,深层土以Na₂CO₃为主;马莲地浅层土以CaSO₄、MgSO₄为主,深层土以NaHCO₃、KHCO₃为主;碱蓬地表层土以NaHCO₃、Mg(HCO₃)₂为主,其余土层NaCl、MgCl₂为主;裸地以浅层土以Ca(HCO₃)₂、Mg(HCO₃)₂、NaHCO₃为主,深层土以氯化盐为主;玉米地以NaHCO₃为主。

羊草+狗尾草草地0—5 cm的CO₃²⁻含量极显著高于其它3个(P<0.01)剖面层(表8);HCO₃⁻含量,在0—15和15—50 cm间差异极显著;SO₄²⁻含量在各剖面层间均极显著差异;Cl⁻含量均无显著差异(P>0.01)。在各剖面层间芦苇地、芦苇苔草草地、虎尾草草地、马莲地、碱蓬地和玉米地的CO₃²⁻含量均呈极显著差异;在各剖面层间芦苇地、芦苇苔草草地、马莲地、裸地和玉米地的HCO₃⁻含量均极显著差异;在各剖面层间芦苇地、芦苇苔草草地和马莲地的Cl⁻含量均极显著差异;在各剖面层间芦苇苔草草地、马莲地和裸地的SO₄²⁻含量均极显著差异。芦苇地的SO₄²⁻含量30—50 cm极显著高于其它剖面层,且0—5和5—15 cm间差异不极显著。虎尾草草地的HCO₃⁻含量在0—5、5—30和30—50 cm间差异极显著;SO₄²⁻含量0—5 cm极显著高于其它剖面层。碱蓬地的HCO₃⁻含量0—5 cm极显著高于其它剖面层;Cl⁻含量5—15和30—50 cm极显著高于其它剖面层;SO₄²⁻含量,15—30 cm极显著高于其它剖面层。裸地CO₃²⁻含量0—5 cm极显著高于其它剖面层,5—15和30—50 cm间无显著性差异;各剖面层间Cl⁻含量均极显著差异。玉米地0—5 cm的Cl⁻含量极显著高于其它剖面层;SO₄²⁻含量除了0—5和30—50 cm间无显著性差异,极显著低于其它剖面层。

3 讨论与结论

影响土壤中碱解氮、速效磷、速效钾含量的因素非

常复杂,有成土母质、施肥、植物的选择性吸收、土壤的酸碱性、养分的移动性、土壤的通气性等因素。盐地碱蓬地有改善土壤孔隙度、容重等物理性质和含水量的功能^[12],碱蓬还地可增加土壤速效氮、磷和钾,使土壤的化学性质均得到一定程度的改善,环境向着良性发展^[13]。虽然一些学者做了相关研究,但是本研究中的8个自然植物生态景观对土壤养分的影响需进一步研究。影响有机质和速效钾的空间变异的因素主要有成土母质、土壤类型、气候条件等,而碱解氮、速效磷、土壤全盐的空间变异性与耕作方式及农业生产中施肥等有关^[14]。8个植物生态景观中,除玉米地养分含量普遍较低,农牧民根据盐碱化草地生境条件把地形较高羊草+狗尾草草地垦殖为玉米地,认为耕种熟化,养分状况好于其它植物景观;其它植物景观是由于人口增加、长时间过度放牧及环境因素导致不同程度的碱化景观。不同生态景观盐碱地4个土层养分含量都偏低,不同盐碱地剖面层次养分状况为羊草+狗尾草草地、玉米地普遍较高,其它样地养分含量普遍不高;玉米地养分状况是人为因素导致的。0—30 cm有机质表现为玉米>羊草+狗尾草草地>马莲地>碱蓬地>裸地>芦苇地>芦苇地草台>虎尾草草地,影响土壤有机质含量的因素是年积累量和年矿化量,同一区域矿化量相差不大,有机质含量主要取决于年生成量,玉米地、羊草+狗尾草草地等植物生态景观有机质的年生成量一定高,裸地有机质的生成量很低,但流经苏打盐渍土地区的雨水,地表径流(和小的溪流水)常因溶有腐殖质而使低洼地成为富含有机质的裸地;碱解氮表现为玉米>地羊草+狗尾草草地>马莲地>芦苇地>芦苇地草台>光板地>虎尾草草地>碱蓬地;速效磷表现为裸地>碱蓬地>玉米地>芦苇地草台>虎尾草草地>芦苇地>马莲地>羊草+狗尾草草地;速效钾表现为芦苇地>羊草+狗尾草草地>玉米地>碱蓬>芦苇地草台>裸地>马莲地>虎尾草草地。

本研究区域属于碱土,含盐量普遍在2~10 g·kg⁻¹,在地势低洼处可能会高一些,这与沙性母质和降水有关,形成面积较大的盐化碱土,这与前人的研究结果基本一致^[5]。研究发现,土壤离子组成中应该包括NO₃⁻和少量的NO₂⁻,否则阴阳离子不平衡^[15]。西辽河流域盐碱地碱化度都高,坚硬的碱化层集中分布在0—30 cm土层内,既影响根系的伸展,又不利于通气透水,一般植物是不能正常生长的。有关碱化层对

植物生长的障碍需深入研究^[16-19]。阳离子以 Na^+ 和 K^+ 为主,阴离子以 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 居多,羊草+狗尾草草地、玉米地 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 较少。碱蓬地、裸地 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 较少。在这种生境下,虎尾草、碱蓬等常作为先锋植物侵入碱斑并定居,虎尾草可形成单优势的盐生植物群落^[12-13]。本研究中 Na^+ 在 30—50 cm 剖面层普遍增加,在银北典型的盐化土和碱化土 0—60 cm 土层也是交换性 Na^+ 的集中分布层,也是盐分的集中分布层^[20]。山东省无棣县不同植被覆盖类型下土壤盐分含量为“裸地>碱蓬地>芦苇地>茅草草地(*Imperata cylindrica*)>棉花(*Gossypium* spp.)地、冬枣>(*Ziziphus juiuba* cv. Dongzao)小麦

(*Triticum aestivum*)—玉米(*Zea mays*)”^[21]。 Mg^{2+} 在 5—15 cm 剖面层普遍增加。不同盐碱地剖面层次,离子组成主要表现为 0—5 cm 剖面层 Ca^{2+} 含量最大,5—15 cm 剖面层 K^+ 、 SO_4^{2-} 含量基本最大,15—30 和 30—50 cm 剖面层的阴离子含量普遍降低,阳离子 Na^+ 、 K^+ 增加, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 减少。不同植被覆盖下盐碱地不同剖面层中羊草+狗尾草草地和玉米地的有机质含量、pH、碱化度、含盐量均相近,都比较低,速效养分含量较高,离子组成中 Na^+ 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 含量比较低。综合各因素可以得出,羊草+狗尾草草地植被有利于盐碱化土地的改良。

参考文献 References:

- [1] 范富,白云山,张庆国,郇继承,舒洋.通辽市碱土景观生态划分及治理对策.内蒙古民族大学学报:自然科学版,2013,28(1):54-58.
Fan F, Bai Y S, Zhang Q G, Tai J C, Shu Y. Landscape ecological planning and countermeasures of alkali soil in Tongliao. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities, 2013, 28(1): 54-58. (in Chinese)
- [2] 范富,孙德智,萨如拉.通辽市盐碱地形成、修复与开发利用.北京:中国农业科学技术出版社,2015.
Fan F, Sun D Z, Sarula. Formation, restoration and development and utilization of saline alkali land in Tongliao City. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House, 2015. (in Chinese)
- [3] 曹勇宏,林长纯,王德利,张宝田.农田—草原景观界面中植被恢复的空间特征.东北师大学报:自然科学版,2003(2):74-79.
Cao Y H, Lin C C, Wang D L, Zhang B T. Spatial characteristics of vegetation rehabilitation in landscape boundary. Journal of Northeast Normal University, 2003(2): 74-79. (in Chinese)
- [4] 范富,张庆国,侯迷红,郇继承,孙德智,刘振伟.玉米秸秆隔离层对西辽河流域盐碱土碱化特征及养分状况的影响.水土保持学报,2013,27(3):131-138.
Fan F, Zhang Q G, Hou M H, Tai J C, Sun D Z, Liu Z W. Effect of straw corn isolation layer on the West Liaohe River basin soil alkalization characteristics and nutrient status. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(3): 131-138. (in Chinese)
- [5] 张杰,陈立新,乔璐,黄兰英,李猛,梁健,张明.大庆市不同土壤类型盐碱化特征及评价.东北林业大学学报,2010,38(7):119-122.
Zhang J, Chen L X, Qiao L, Huang L Y, Li M, Liang J, Zhang M. Characteristics and evaluation of salinization of different types of soils in Daqing City. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(7): 119-122. (in Chinese)
- [6] 沈立铭,张建锋,陈光才,吴灏.不同土地利用方式对盐碱地土壤特性的影响.浙江农业科学,2014(8):1246-1249.
- [7] 宫秀杰,来永才,钱春荣,于洋,姜宇博,郝玉波,李梁,葛选良,刘英杰,李怀庆.耕作方式对松嫩平原北部盐碱地土壤理化性状的影响.作物杂志,2014(1):115-121.
Gong X J, Lai Y C, Qian C R, Yu Y, Jiang Y B, Hao Y B, Li L, Ge X L, Liu Y J, Li H Q. Effects of tillage pattern on soil physical and chemical properties of saline-alkali land in the north of Songnen Plain. Crops, 2014(1): 115-121. (in Chinese)
- [8] 迟春明,王志春.苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤理化性质相互关系.生态学杂志,2013,32(9):2245-2249.
Chi C M, Wang Z C. Interrelationships between grassland plant community distribution and soil physical and chemical properties in soda-saline soil regions of Songnen Plain, Northeast China. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(9): 2245-2249. (in Chinese)
- [9] 迟春明,王志春.吉林西部退化草原土壤盐渍化特征分析.生态环境学报,2013,22(9):1534-1537.
Chi C M, Wang Z C. Soil salinity, sodicity and alkalinity characteristics of degraded grassland in the west of Jinlin Province, China. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(9): 1534-1537. (in Chinese)

- [10] 姜凤岐,曹成有,曹德慧.科尔沁沙地生态系统退化与修复.北京:中国林业出版社,2002.
Jiang F Q, Cao C Y, Cao D H. Degradation and Restoration of Ecosystems in the Horqin Sandy Land. China Forestry Publishing House, 2002. (in Chinese)
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析.北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [12] 邹桂梅,苏德荣,黄明勇,刘虎,蔡飞.人工种植盐地碱蓬改良吹填土的试验研究.草业科学,2010,27(4):51-56.
Zou G M, Su D R, Huang M Y, Liu H, Cai F. Effect of planting *Suaeda salsa* on improvement of dredger filled soil. Pratacultural Science, 2010, 27(4): 51-56. (in Chinese)
- [13] 李超峰,葛宝明,姜森颖,唐伯平.碱蓬对盐碱及污染土壤生物修复的研究进展.土壤通报,2014,45(4):1014-1019.
Li C F, Ge B M, Jiang S H, Tang B P. Review on remedial effect of *Suaeda salsa* on saline and polluted soils. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(4): 1014-1019. (in Chinese)
- [14] 孙涛,马全林,贾志清,李银科,王耀琳,张晓娟,马俊梅.甘肃景电灌区次生盐碱地枸杞土壤有机碳库的动态模拟.草业科学,2015,32(11):1757-1766.
Sun T, Ma Q L, Jia Z Q, Li Y K, Wang Y L, Zhang X J, Ma J M. Dynamic simulation of soil organic carbon pool of wolfberry forest in the secondary saline-alkali land in the arid regions in Jingtai, Gansu—Take Jingtai electricity-powered irrigation zone as a case study. Pratacultural Science, 2015, 32(11): 1757-1766. (in Chinese)
- [15] 吕家强,李长有,杨春武,胡锐.天然盐碱土壤对虎尾草茎叶有机酸积累影响及胁迫因子分析.草业学报,2015,24(4):95-103.
Lyu J Q, Li C Y, Yang C W, Hu R. Effect of natural saline soil on organic acid accumulation in the stem and leaf of *Chloris virgata* and analysis of stress factors. Acta Prataculture Sinica, 2015, 24(4): 95-103. (in Chinese)
- [16] 韩玉静.松嫩平原羊草和虎尾草耐盐碱生理生态特性的比较研究.大庆:黑龙江八一农垦大学硕士学位论文,2010.
Han Y J. Comparative study on the saline-alkali tolerance physiological and ecological character of *Leymus chinensis* and *Chloris virgata* in Songnen plain. Master Thesis. Heilongjiang, Daqing: Bayi Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [17] 梁汉文,周志红.土壤中硝酸根和亚硝酸根的离子色谱法测定.土壤,1998,12(1):51-52.
Liang H W, Zhou Z H. Determination of nitrate and nitrite in soil by ion chromatography. Soil, 1998, 12(1): 51-52. (in Chinese)
- [18] 贾倩民,陈彦云,刘秉儒,陈科元,韩润燕.干旱区盐碱地不同栽培草地土壤理化性质及微生物数量.草业科学,2014,31(7):1218-1225.
Jia Q M, Chen Y Y, Liu B R, Chen K Y, Han R Y. Soils physic-chemical properties and microbial quantities in different pastures in arid area of saline-alkali soil. Pratacultural Science, 2014, 31(7): 1218-1225. (in Chinese)
- [19] 王立艳,潘洁,杨勇,肖辉,程文娟.滨海盐碱地种植耐盐草本植物的肥土效果.草业科学,2014,31(10):1833-1839.
Wang L Y, Pan J, Yang Y, Xiao H, Cheng W J. The fertility effects of salt-tolerant herbaceous plants on coastal saline soil. Pratacultural Science, 2014, 31(10): 1833-1839. (in Chinese)
- [20] 庞晓攀,张静,刘慧霞,宋锐,贾婷婷,肖玉.地膜覆盖对盐碱地紫花苜蓿生长性状及产量的影响.2015,32(9):1482-1488.
Pang X P, Zhang J, Liu H X, Song R, Jia T T, Xiao Y. Effects of plastic-film mulch on growth traits and yield of alfalfa (*Medicago sativa*) in saline-alkaline fields. Pratacultural Science, 2015, 32(9): 1482-1488. (in Chinese)
- [21] 巩腾飞.盐碱地植被覆盖度与土壤盐分含量时空耦合关系研究——以山东省无棣县为例.泰安:山东农业大学硕士学位论文,2016.
Kong T F. Spatin-temporal coupling relationship between fractional vegetation cover and soil salinity on saline-alkali land—A case study of Wudi County, Shandong Province. Master Thesis. Taian: Shandong Agricultural University, 2016. (in Chinese)

(责任编辑 苟燕妮)