

东北地区芦苇—土壤系统中氯离子、硝酸根和硫酸根空间变异初探

卢美娇, 介冬梅, 高贵在, 高 卓

(东北师范大学地理科学学院, 吉林 长春 130024)

摘要:土壤中适量的无机阴离子可促进植物的生长,而过量的无机阴离子则会造成土壤盐渍化,因此探讨土壤中无机阴离子的空间变异规律对盐渍化的治理和生态恢复具有重要意义。本研究用离子色谱分析的方法,测验出东北地区 12 个样点 6—10 月土壤和芦苇(*Phragmites communis*)中的 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 含量,初步分析了东北地区芦苇—土壤系统中 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 空间变异规律及其成因。结果表明,东北地区土壤中 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 平均含量分别为 292.67、297.14 和 367.49 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。3 种阴离子总量空间分布受海水入侵、土壤理化性质和水热条件的影响,表现为有海水入侵的丹东、盘锦和内陆盐渍区的大庆含量较多。土壤中 Cl^- 含量的空间分异主要受海水入侵、土壤盐渍化程度和人为活动的影响,盘锦、丹东和大庆较高,长春、讷河和长岭次之,受人为活动影响较少的内陆非盐渍区最低;土壤中 NO_3^- 含量的空间分异受植物需求量和水分条件的控制,牡丹江、通遆、丹东、龙湾、讷河等生物固氮量多和水分条件偏暖湿的样点 NO_3^- 含量偏高;土壤中 SO_4^{2-} 含量的空间分异主要受降水量的影响,降水量较少的讷河、大庆等地土壤中 SO_4^{2-} 含量较高。芦苇对土壤中 3 种阴离子的吸收形式以主动运输为主。

关键词:东北地区;芦苇—土壤系统;阴离子;空间变异

中图分类号:S564⁺.206

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2014)11-2042-08*

Spatial variation characteristics of chloride, nitrate and sulfate in *Phragmites communis* soil system, Northeast China

LU Mei-jiao, JIE Dong-mei, GAO Gui-zai, GAO Zhuo

(School of geographical sciences of Northeast Normal University Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: The appropriate amount of inorganic anions in soil could promote the growth of plant, while the excess amount of anions could lead to soil salinization. The research about the spatial variation characteristics of inorganic anions in soil was of great significance to salinization control and ecological restoration. The present research analyzed the contents of the chloride (Cl^-), nitrate (NO_3^-) and sulfate (SO_4^{2-}) by ion chromatography in soil of *Phragmites communis* from sampling sites in Northeast China of 12, from June to October in 2011. The results showed that the average contents of chloride, nitrate and sulfate were 292.67, 297.14 and 367.49 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The space distribution of the total content of the three tested anions was affected by seawater intrusion, physico-chemical property of soil and hydrothermal conditions. Dandong and Panjin where soil affected by seawater intrusion had higher contents of anions in soil compared with Daqing which heavier soil salinization. The distribution of the total content of the three ani-

* 收稿日期:2014-04-11 接受日期:2014-09-04

基金项目:环保行业公益项目(201109067);国家自然科学基金项目(40971116);高校基本业务费前瞻性基金项目(10JCXK010)

第一作者:卢美娇(1990-),女,黑龙江五常人,在读硕士生,研究方向为自然地理。E-mail:lumj723@nenu.edu.cn

通信作者:介冬梅(1969-),女,吉林长春人,教授,博士,研究方向为第四纪地质与地貌。E-mail:jiedongmei@nenu.edu.cn

ons from June to October was affected by hydrothermal condition and the requirement of *P. communis* from June to October. The content of anion was the highest in June which decreased from July with the change of hydrothermal conditions and growth period. The content of chloride in soil was influenced by seawater intrusion, degree of soil salinization and human activities. All of Dandong and Panjin in which soil affected by seawater intrusion, Daqing and Changling in which soil salinization was heavier, and Changchun and Nehe in which soil affected by human activities had higher content of chloride in soil. Nitrate content in soil was influenced by hydrothermal conditions and the requirement of *P. communis*. Mudanjiang, Tongliao, Dandong, Longwan and Nehe which had warmer and wetter hydrothermal conditions had higher nitrate in soil. The space distribution of sulfate content was affected by precipitation. There were higher sulfate contents in soil in the areas with fewer precipitation such as Nehe and Daqing. The transportation of the three anions in *P. communis* was active.

Key words: northeast China; *Phragmites communis* -soil system; anion; spatial variation characters;

Corresponding author: JIE Dong-mei E-mail: jiedongmei@nenu.edu.cn

土壤中阴离子如硫酸根(SO_4^{2-})、氯离子(Cl^-)和硝酸根(NO_3^-)的存在对植物的生长具有重要作用,早在 1755 年,Home 用盆栽试验法证明了无机盐和有机物对植物的影响,发现至少有两种阴离子(NO_3^- 和 SO_4^{2-})无机盐对植物的生长有促进作用^[1]。植物体内的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 与 NO_3^- 被认为是植物细胞胞质和液泡中的主要矿质阴离子^[2]。植物对矿质元素的吸收,主要是通过兼有主动和被动两种方式的共质体和只有被动方式的质外体两条途径进入根细胞并向木质部运输,其中共质体途径占主导地位^[3]。植物对土壤中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 NO_3^- 的吸收也是以共质体途径为主的主动运输过程^[1],植物体内的 SO_4^{2-} 可以参与蛋白质和脂类合成、光合作用、呼吸作用、氮的固定等过程,并可以增加植物耐受性,提高作物产量及品质^[4]。植物体内 Cl^- 可以参与希尔反应、促进膨压形成和电解质平衡、有助于细胞生长、调节细胞渗透压及气孔开放并刺激酶活性等^[5]。植物体内 NO_3^- 可以促进植物生长和提高植物的抗病性^[1]。

岩石风化后形成的各种无机盐溶于水,形成土壤中的可溶性无机盐。土壤中可溶性无机盐随水运动并在土壤中重新分配^[6]。影响土壤无机盐离子迁移转化的条件主要有气候条件、地质地貌条件和水文状况等。其中气候是土壤中无机盐离子迁移、聚集、转化的驱动因子;地质条件决定土壤母质的来源,为土壤中阴离子提供了物质基础;地形地貌控制区域内河流和湖泊的分布,进而影

响土壤中无机盐离子的迁移转化方向^[7]。不同地区土壤水盐运移情况不同,形成土壤中无机盐离子的空间分布差异。土壤中 Cl^- 的含量受气候和地势的影响,一般情况下,降水量低,地势低,土壤淋溶性能差的土壤, Cl^- 含量高^[8]。除此之外,沿海和近盐湖地区以及受人类活动影响较大的地区土壤中 Cl^- 含量较高^[5]。土壤中 SO_4^{2-} 含量空间变化主要受大气沉降、母质因素、气候条件和作物吸收的影响^[9]。土壤中的 NO_3^- 的来源主要是将矿化过程的产物 NH_3 形成 NO_3^- 的硝化过程,因而矿化和硝化速率也可能对土壤中 NO_3^- 的含量产生影响,温度和降水量是影响矿化和硝化速率的主要因素之一。

Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等是东北区土壤中的主要阴离子^[10]。目前对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 等阴离子的水盐运移和空间分布的研究主要集中在盐渍化较重的松嫩平原地区^[11],对整个东北地区土壤阴离子的空间变异及其成因的认识还不是很充分。

芦苇(*Phragmites communis*)为禾本科多年生草本植物,广泛分布于东北地区的湿地或浅水中,本研究选择东北地区广泛分布的芦苇土壤群落,探讨东北地区 12 个样点(自北向南依次为洪河、北安、讷河、大庆、哈尔滨、牡丹江、长岭、长春、龙湾、通辽、盘锦、丹东)土壤中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的空间变异规律,开展滨海与内陆盐碱区、内陆盐碱区与非盐碱区土壤阴离子时空运移规律的对比,进一步揭示影响土壤中阴离子迁移转化的因素,以期对东北地区盐

渍化土壤的植被恢复和生态保护提供基础数据,为东北地区土壤水盐运移规律的解译、盐渍土壤改良与利用等提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于我国东北部,地处欧亚大陆东缘,东临日本海,西接内蒙古高原,包括黑、吉、辽三省和内蒙古自治区东部四盟市,介于 $40^{\circ}-48^{\circ}\text{N}$,横跨12个经度。该区地质构造复杂,中部地区为比较稳定的地块,以 43°N 一线为界,以北属东北台块,以南属华北台块,东西两侧的山地多属褶皱带。该区地势的总特征为中部平原,东、北、西三面为山环绕。该区域为寒温带湿润、半湿润气候带,冬季寒冷干

燥,夏季温暖湿润。无霜期130~170 d,全年降水400~800 mm,其中60%集中在7~9月,全区都在东亚季风的影响和控制之下,从东往西因距海洋愈来愈远,且受季风及山脉走向等因素的影响,使降水自东向西递减。该区土壤的分布有明显的纬度和经度地带性,地带性土壤自北而南,可分为棕色森林土、黑土、沼泽土、草甸土以及滨海氯化物盐土等不同类型^[12]。

1.2 试验方法与设计

东北地区自然条件复杂,同时考虑温度和湿度两个因素的影响,在整个区域均匀布设样点,样点选取如图1,试验共设置12个样点,分别是讷河、北安、洪河、大庆、哈尔滨、牡丹江、长岭、长春、龙湾、通辽、盘锦、丹东。

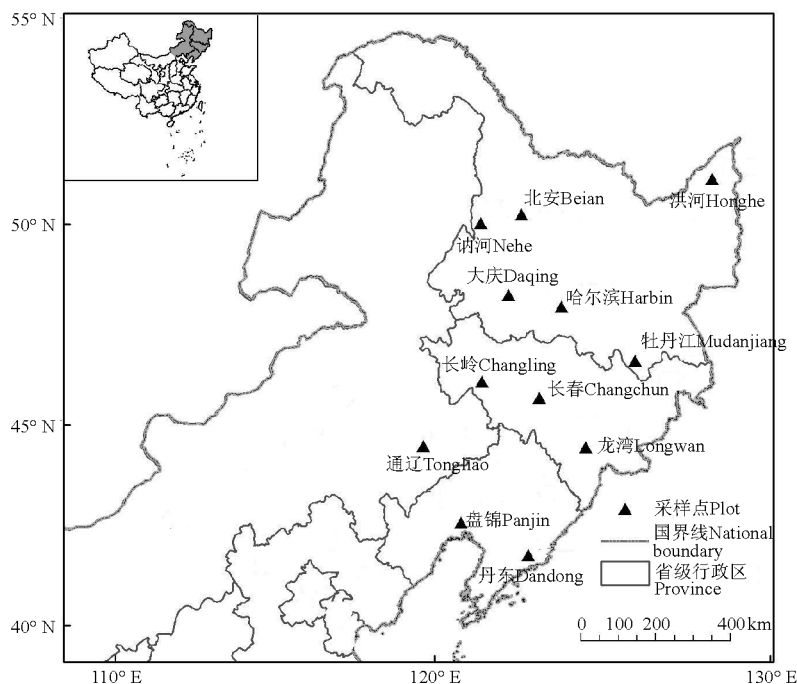


图1 采样点分布图

Fig.1 Distribution of 12 sampling sites

1.3 样品采集和指标测定

1.3.1 样品采集 自2011年6—10月,每月15日从东北地区12个样点T(陆上)、M(中心)、WD(水陆交汇)3个不同生境分别采集植物和土壤样品,每个样点内选取人为干扰小的野生芦苇群落,划定样方,用5点法取样。在芦苇群落中采集芦苇地上部分作为芦苇样品,土壤样品选择芦苇下的连续土壤

剖面。将植物及残体清除,至露出土层,取0—10 cm,10—20 cm深度土壤样品,不同月份土样保持同一地点取样。其中植物样品共计399个,土壤样品共计1195个。样品采集后称重,芦苇和土壤样品均自然风干保存。

1.3.2 样品前处理 对土壤样品进行研磨,过0.85 mm筛,按水土比例5:1配制土壤溶液,振荡3

min, 静置 20 min, 过滤, 按 $9\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 高速离心 15 min, 取上清液。植物样品经粉碎机研磨后, 按植物和水的比例 1:20 配制溶液, 在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水中水浴 2 h 后, 取上层清液。

1.3.3 离子浓度的测定 土壤和植物阴离子 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^{-} 的测定采用美国戴安公司 DX-300 型离子色谱仪 (AS4A-SC 阴离子色谱柱, CDM-II 电导检测器, 淋洗液碳酸钠/碳酸氢钠溶液 $1.7/1.8\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 流速 $2.0\text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$)。

1.4 数据分析

统计和测量的数据使用 Microsoft 2007, Excel 2007, SPSS 和 C2 软件进行处理, 主要方法包括变异系数分析和相关分析等。

2 结果与分析

2.1 土壤 Cl^{-} 、 NO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 3 种阴离子总量空间变异分析

东北地区土壤 3 种阴离子 SO_4^{2-} 、 NO_3^{-} 和 Cl^{-} 中占主导的是 SO_4^{2-} 。12 个样点中 SO_4^{2-} 含量平均值为 $367.49\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Cl^{-} 含量平均值为 $292.67\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, NO_3^{-} 含量平均值为 $297.14\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这可能是由于本研究中测试的土壤主要是 0—20 cm 的较上层土壤, 土壤中淋溶作用较强, SO_4^{2-} 尽管在土壤中有大量累积, 但 SO_4^{2-} 吸附能力较强, 受淋溶作用的影响弱^[13], 向下迁移量较小, NO_3^{-} 和

Cl^{-} 在土壤中向下迁移量则较大。这与京郊 10 年以上蔬菜大棚土壤的阴离子中 SO_4^{2-} 积累最多的测试结果一致^[14]。

丹东、盘锦和大庆这 3 个样点的 3 种阴离子总量相对其他样点高 (图 2)。土壤水分供给状况也影响盐分的补给, 不同地区土壤水分的供给可分为地表水供给区、地下水供给区 (内陆盐碱区)、地表—地下水综合供给区和海水入侵 (滨海盐碱区) 4 个区。丹东和盘锦处于滨海盐碱区, 土壤溶液中存在大量水化半径较大的吸附性钠离子, 能吸收较多的水分, 使土壤具有较强的保水性和吸湿性^[15]。因而土壤中离子向下淋溶强度相对较小, 土壤中可溶性阴离子含量较高。大庆地处闭流区 (内陆盐碱区), 该地春季土壤干旱, 上升水流加强; 夏季土壤过湿, 地表区域流聚集于低平洼地, 形成局部的积水内涝, 地下水位升高^[16]。这种气候条件使该地区土壤以苏打盐碱土为主, 因而土壤阴离子含量较高。而洪河、北安、龙湾的 3 种阴离子总量相对较低。

2.2 土壤 Cl^{-} 空间变异分析

毛知耘等^[17] 将我国土壤含氯量高于 $400\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的土壤定义为含氯特别高的土壤, 而目前我国土壤平均含氯量为 $100\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右^[18]。因此, 本研究根据上述结果将 12 个样点土壤 Cl^{-} 分为 3 组 (图 3)。

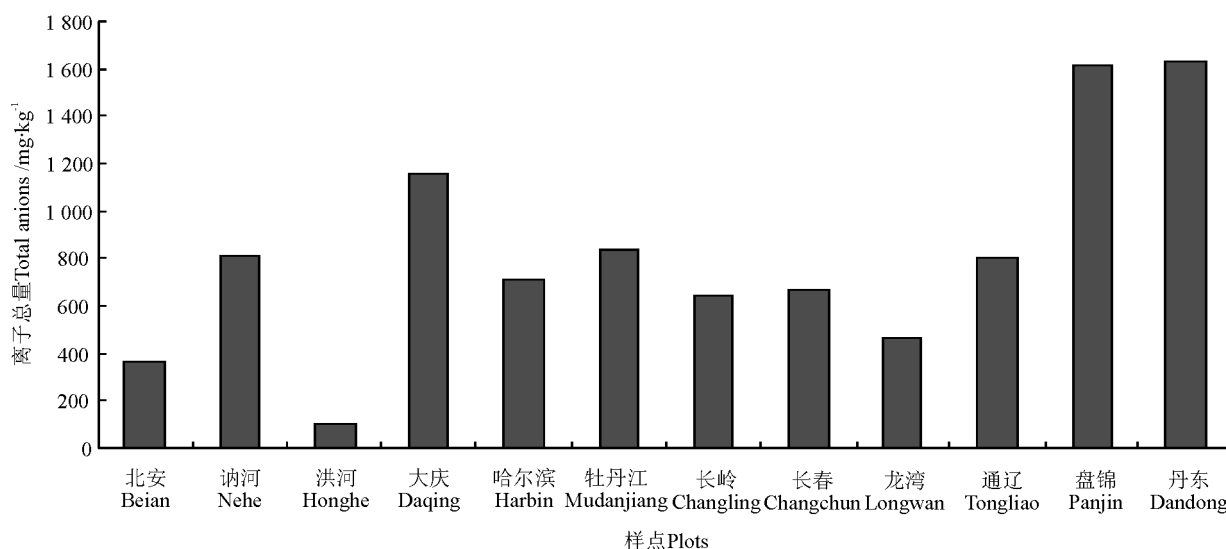


图 2 东北地区土壤中 Cl^{-} 、 NO_3^{-} 和 SO_4^{2-} 3 种阴离子总量空间变异图

Fig.2 The total anions of chloride, nitrate and sulfate in northeast soil of 12 sampling sites

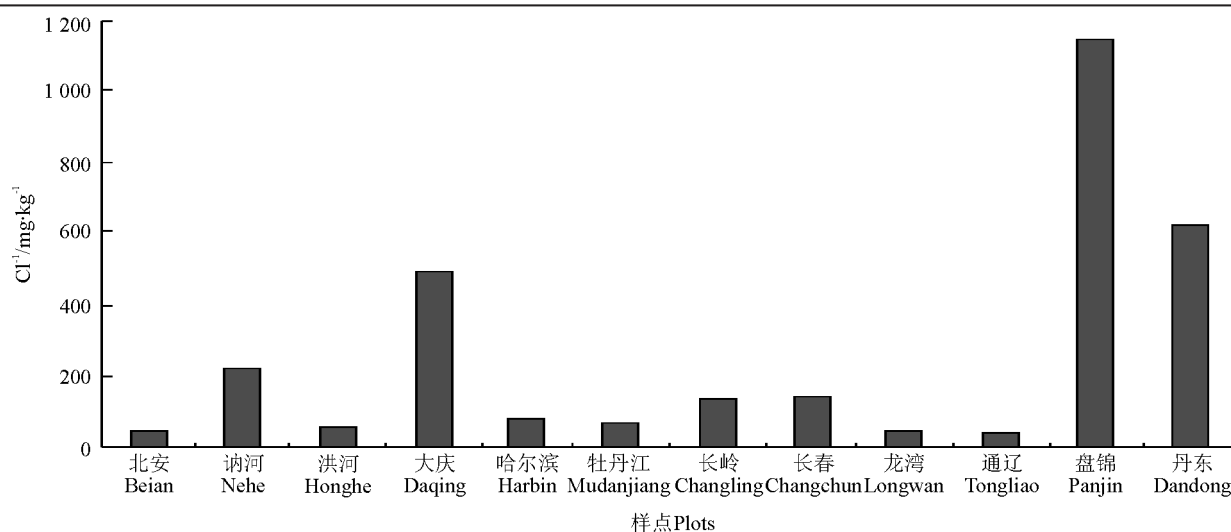


图3 不同样点土壤 Cl⁻ 含量分布表

Fig.3 The distribution of Cl⁻ in 12 sampling sites

盘锦、丹东和大庆 Cl⁻ 平均值含量较高,均大于 400 mg·kg⁻¹,究其原因,丹东和盘锦在地理位置上距海较近,有海水入侵现象。因为海水中主要阴离子表现为 Cl⁻ > SO₄²⁻ > Br⁻ > F⁻ > NO₃⁻ [19], 所以,滨海地区 Cl⁻ 含量较高。大庆主要以苏打盐碱为主,在微酸性至中性条件下,Cl⁻ 以分子力为土壤吸附,当 pH 值 > 7 时,吸附可以忽略,因此,Cl⁻ 在碱性土壤中的移动性大 [1]。大庆平均年蒸发量大于年降水量,土壤中水盐运移方向是由下向上,因此土壤表层有 Cl⁻ 积聚。长岭和大庆均为内陆盐渍区,由于盐渍化作用土壤中可溶性盐分在土壤表面积聚,故长岭 Cl⁻ 含量较内陆非盐渍区高。由于本研究中内陆非盐渍区样品的采集除讷河和长春外,均来自于保护区等人类活动影响较少的地区,从结果可知讷河和长春的土壤 Cl⁻ 含量比其他内陆非盐渍区含量高,这可能与土壤多受人为活动的影响有关,人类生产生活中废水的排放和农田中含氯肥料的使用均可提高土壤中 Cl⁻ 的含量。

2.3 土壤 NO₃⁻ 的空间变异分析

土壤中 NO₃⁻ 含量的空间分布变化范围为 30.38~691.09 mg·kg⁻¹,芦苇中 NO₃⁻ 含量的空间分布变化范围为 187.64~970.57 mg·kg⁻¹,且土壤和芦苇中 NO₃⁻ 含量空间变异较大,土壤中 NO₃⁻ 的含量与芦苇中 NO₃⁻ 的含量有明显的相关关系,经相关性检验,芦苇和土壤中的 NO₃⁻ 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。

芦苇体内 NO₃⁻ 主要来自土壤,绝大部分地区芦苇体内 NO₃⁻ 的含量高于土壤(图 4),这可能是由于芦苇细胞膜上存在 NO₃⁻ 专性运输蛋白,芦苇对 NO₃⁻ 的吸收是耗能的主动运输过程。芦苇根部从土壤中吸收 NO₃⁻,可随蒸腾流由木质部导管输送到地上部,也可在根细胞内还原为 NH₄⁺,进一步同化为氨基酸、蛋白质,以供植株根与地上部在生长过程中的随时调用 [20]。因此,芦苇对 NO₃⁻ 的吸收取决于芦苇对 NO₃⁻ 的需求和可供主动运输的能量,这与芦苇的生长状况和生长阶段有关。芦苇根部对土壤中 NO₃⁻ 的主动吸收可能会引起根周围 NO₃⁻ 聚集效应,因此土壤中 NO₃⁻ 的含量与芦苇的需求量有显著的正相关。

土壤中 NO₃⁻ 含量较高的样点,牡丹江、龙湾、丹东基本上分布在试验区温湿度 [21] 较高的东南部,而 NO₃⁻ 含量较低样点大庆、长岭和洪河主要分布在试验区温湿度较低的中西部(图 5)。Wilson 和 Jefferies [22] 对北极沿海潮间带湿地生态系统土壤氮矿化的研究发现,高温更有利于土壤氮矿化过程的进行,Oorschot 等 [23] 研究发现当含水量降低时,氮素的矿化速度降低。因此推断温湿度较大的样点矿化速率较高。在一定的温度范围内,湿地土壤总硝化速率的变化与温度呈正相关 ($r = 0.55$, $P < 0.05$) [24]。而土壤水分状况通过影响土壤通气状况和氧分压,进而对硝化细菌和反硝化细菌的活性产生重要影响。一般而言,适宜的水分条件可促进硝

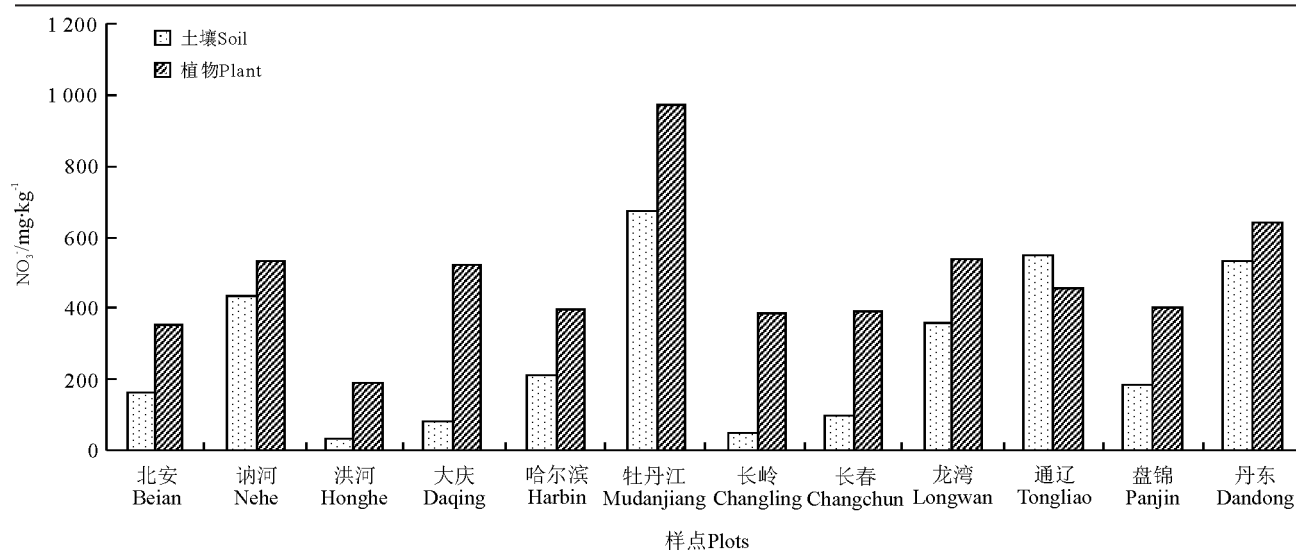
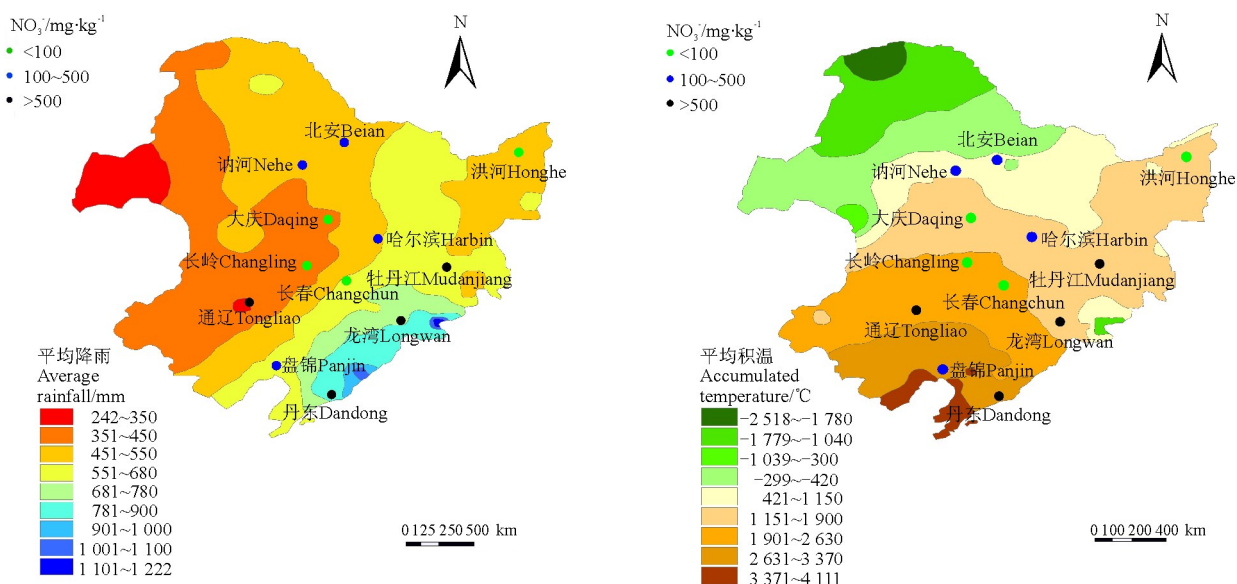


图 4 12 样点芦苇和土壤中硝酸根离子含量空间分布

Fig.4 The distribution of nitrate in phragmites communis and soil of 12 sampling sites

图 5 东北地区硝酸根含量和 1961—2006 平均降雨量^[21]、积温^[21]分布图Fig.5 The content of nitrate in northeastern soil and the distribution of average rainfall^[21], accumulated temperature^[21] from 1961 to 2006

化作用的进行,过高的水分含量又会因通气状况较差而抑制硝化作用的进行。所以,本研究中温湿度较高的样点总硝化速率较大。综上,温湿度较高的条件下,土壤矿化速率和总硝化速率均较大,土壤中 NO_3^- 积累较多;温湿度较低的条件,矿化速率和总硝化速率均较小,土壤中 NO_3^- 积累较少。

在 12 个样点中,通辽土壤中 NO_3^- 比芦苇中 NO_3^- 含量多,这可能是因为通辽的年平均积温较高,在 12 个样点中通辽的年降雨量最少,特殊的水

热组合可能使其土壤中 NO_3^- 含量比芦苇体内 NO_3^- 含量高。由此可见,影响东北地区土壤中 NO_3^- 含量空间变异的主导因素是芦苇的需求量,此外,试验区的水热条件也对 NO_3^- 的空间分布产生影响。

2.4 土壤 SO_4^{2-} 的空间分异

结合不同地区降雨量^[21]和土壤 SO_4^{2-} 含量分布,绘制东北地区平均降雨量和土壤 SO_4^{2-} 含量分布图(图 6), SO_4^{2-} 含量小于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的样点

除长岭外主要分布在降雨量较高的湿润地区,而 SO_4^{2-} 含量较高的样点,除丹东和盘锦外,均分布在降雨量相对较低的半湿润和半干旱地区。这是由于 SO_4^{2-} 在土壤中以可溶性状态存在,并受淋溶作用影响自上而下淋溶,较湿润地区的土壤受淋溶作用较强,表层土中 SO_4^{2-} 含量相对较低。不同样点上、下层土壤 SO_4^{2-} 浓度对比分析发现(图7),除丹东和盘锦外,其他地点的 SO_4^{2-} 含量均是上层低于下层,这也为土壤中 SO_4^{2-} 易淋溶提供佐证。丹东和盘锦地区上层 SO_4^{2-} 含量比下层多可能是因为受海水入侵的影响。长岭地处内陆盐碱区,干燥度为1.4~1.6,年蒸发量远大于降水量,水盐运动方向应以向上为主,土壤中 SO_4^{2-} 随土壤水分蒸发而自下而上移动,在土壤表面积聚^[25],长岭 SO_4^{2-} 含量应该较高,但本研究中长岭 SO_4^{2-} 含量较低,可能是由于本试验中长岭的采样点旁有防火水渠的存在,渠内常年有流水,流水的冲蚀作用使采样点的 SO_4^{2-} 向下淋滤,故本试验中长岭 SO_4^{2-} 含量较低。

把不同月份的芦苇与土壤 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量做比值,发现芦苇 SO_4^{2-} 和 Cl^- 含量几乎是土壤中的10倍,这验证了芦苇对 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的吸收是主

动吸收的过程。陈铭^[1]研究表明,根系对 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的吸收是受代谢控制的主动耗能过程,该结果与本研究相一致。

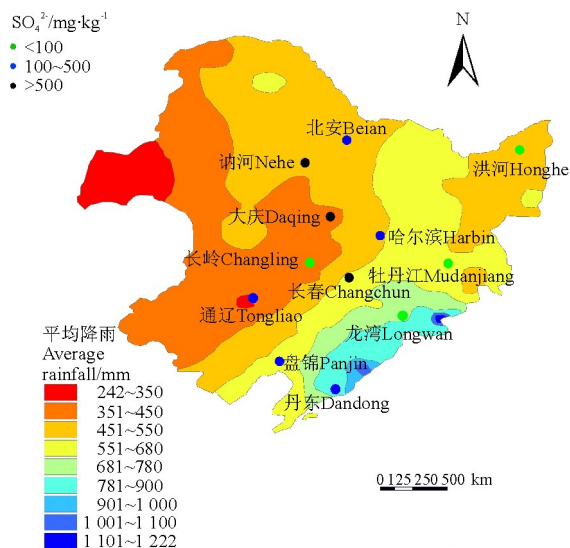


图6 1961—2006东北地区平均降雨量^[21]和硫酸根离子含量分布图

Fig.6 The content of sulfate in northeastern soil and the distribution of average rainfall^[21] from 1961 to 2006

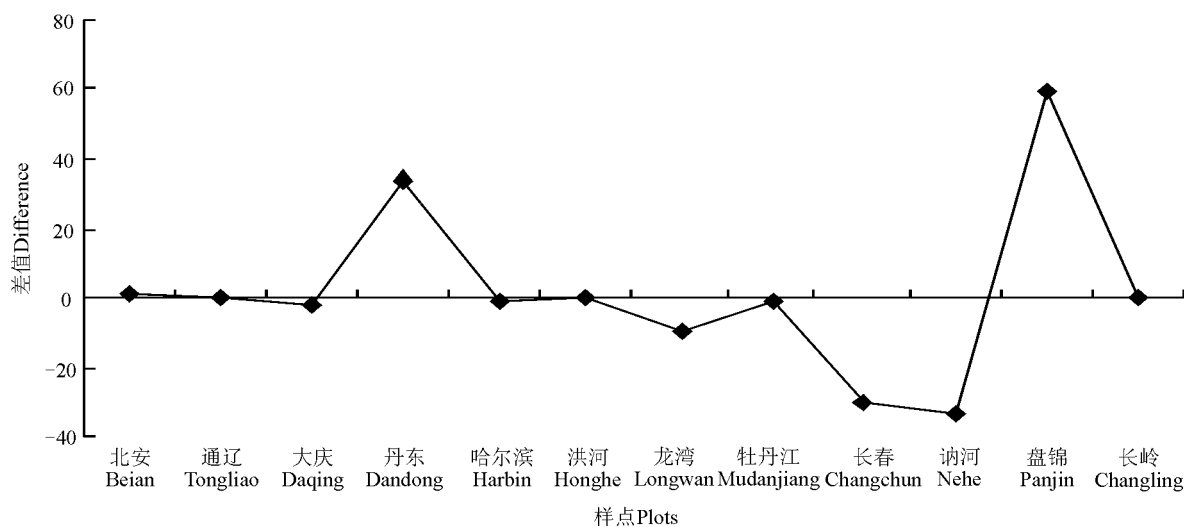


图7 12样点硫酸根离子含量上下层差值曲线图

Fig.7 The difference of sulfate radical content in upper and lower soil

3 结论

土壤阴离子空间分布受气候、母质、土壤理化性质等因素的综合影响,在本研究区内,其中阴离子的空间分布主要受海水入侵、土壤理化性质和水热条

件的影响。

针对东北地区土壤盐渍化问题突出的现状,从本研究的结果中可以得到如下结论: Cl^- 含量主要受人为活动影响,因而建立沼泽湿地保护区可以减少人为活动对 Cl^- 的影响,进而改善土壤盐渍化问

题。土壤中 SO_4^{2-} 含量的空间分异主要受降雨量的影响,降雨量较小的地区土壤中 SO_4^{2-} 向下淋溶强度小,土壤表层硫酸根离子含量较高。所以,针对硫酸盐引起的盐渍化问题,可通过改善地表植被,缓解盐渍化问题。

参考文献

- [1] 陈铭.植物无机阴离子营养研究[J].土壤通报,1993,24(2):95-96.
- [2] Barbier-Brygoo H, Vinauger M, Colcombet J, Ephritikhine G, Frachisse J M, Maurel C. Anion channels in higher plants: Functional characterization, molecular structure and physiological role[J]. Acta Biochimica et Biophysica Sinica, 2000, 1465(1-2):199-218.
- [3] 於丙军,刘友良.植物中的氯、氯通道和耐氯性[J].植物学通报,2004,21(4):402-410.
- [4] Bloem E, Riemenschneider A, Volker J, Papenbrock J, Schmidt A, Salac I, Haneklaus S, Schnug E. Sulphur supply and infection with *Pyrenopeziza brassicae* influence L-cysteine desulphydrase activity in *Brassica napus* L[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55:2305-2312.
- [5] 孙慧敏.农田土壤氯离子累积与迁移机理[D].杨凌:西北农林科技大学,2004.
- [6] 吴乐知,李取生.松嫩平原西部盐渍化荒漠化机理研究[J].水土保持学报,2003,17(4):12.
- [7] 姜岩.盐碱地土壤改良[M].长春:吉林人民出版社,1978:1-9.
- [8] 宁运旺,张永春,吴金贵,李庆康.土壤-植物系统中的氯及施用含氯肥料的几个问题[J].土壤通报,2001,32(5):222-224.
- [9] Tabatabai M A, Payne A L, Freney J R, Miller R H. Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological properties. Agronomy Series[M]. 2nd Edit. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1982:501-538.
- [10] 王春裕,王汝镛,张素君,张岫岚,田林杰.东北苏打盐渍土的性质与改良[J].土壤通报,1987(2):57-59.
- [11] 马喆.吉林西部低平原盐渍化水盐运移影响因素研究[D].长春:吉林大学,2006.
- [12] 张新荣.东北地区晚全新世泥炭沉积的植硅体气候指示意义研究[D].长春:吉林大学,2006:1-246.
- [13] 王凡,朱云集,路玲.土壤中的硫素及其转化研究综述[J].中国农学通报,2007,23(5):249-253.
- [14] 李先珍,王耀林,张志斌.京郊蔬菜大棚土壤盐离子积累状况的研究初报[J].中国蔬菜,1993(4):15-17.
- [15] 柴寿喜,杨宝珠,王晓燕,魏丽,王沛,仲晓梅.渤海湾西岸滨海盐渍土的盐渍化特征分析[J].岩土力学,2008,29(5):1217-1226.
- [16] 张杰.大庆地区土壤理化特征及盐碱化特征评价[D].哈尔滨:东北林业大学,2010:1-61.
- [17] 毛知耘,周则芳,石孝均,刘洪斌.植物氯素营养与含氯化肥科学施用[J].中国工程科学,2000,2(6):64-66.
- [18] 涂书新,郭智芬,孙锦荷.土壤氯研究的进展[J].土壤,1998(3):125-130.
- [19] 郭莹莹,叶明立,施青红.离子色谱-抑制电导法分别测定海水中阴离子和阳离子[J].理化检验,2006,42(3):185-188.
- [20] 安慧,上官周平.植物氮素循环过程及其根域调控机制[J].水土保持研究,2006,13(1):83-88.
- [21] 路亚洲,宋广树,孙蕾,杨春刚,张俊国,陈一昊,陈莫军,高玲,刘妍.东北地区主要气象要素分布特征分析[J].中国农学通报,2012,28(14):290-294.
- [22] Wilson D J, Jefferies R L. Nitrogen mineralization, plant growth and goose herbivory in an arctic coastal ecosystem[J]. Journal of Ecology, 1996, 84:841-851.
- [23] Oorschot M V, Gaalena N V, Maltby E, Mocklerb N, Spink A, Verhoevena J A. Experimental manipulation of water levels in two French riverine grassland soils[J]. Acta Oecologica, 2000, 21(1):49-62.
- [24] Corre M D, Schnabe R R, Stout W L. Spatial and seasonal variation of gross nitrogen transformations and microbial biomass in Northeastern US grassland[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34:445-457.
- [25] 罗金明.松嫩平原盐碱土水盐运移的热力学机制研究[D].长春:东北师范大学,2005:1-2.

(责任编辑 武艳培)