

# 苏打盐渍土地区芦苇地土壤盐分离子 空间变异与群落关系研究\*

杨帆<sup>1,4</sup> 邓伟<sup>2</sup> 章光新<sup>1</sup> 杨建锋<sup>3</sup> 李秀军<sup>1</sup>

(1 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

(2 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

(3 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100083)

(4 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 对松嫩平原西部苏打盐渍土地区芦苇小区土壤盐分离子和植被群落进行了分析, 结果表明土壤盐分离子空间变异显著, 四种阳离子 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ ) 变异系数为 0.60 ~ 1.22, 四种阴离子 ( $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ) 变异系数为 0.35 ~ 1.41。离子中,  $\text{Na}^+$  在阳离子中含量最高,  $\text{HCO}_3^-$  在阴离子中含量最高。群落间比较, 碱茅 + 芦苇群落八大离子浓度均大于芦苇群落 ( $p < 0.05$ )。且土壤电导率、pH, 以及株高、生物量、覆盖度也高于芦苇群落 ( $p < 0.01$ )。因此随着土壤电导率、离子浓度的增加, 芦苇小区土壤碱化程度加重, 植被生长指标减小, 植被群落也由芦苇群落向含有碱地植被的碱茅 + 芦苇群落过渡。

**关键词** 盐分离子; 芦苇; 群落分布; 苏打盐渍土

中图分类号 S156.4 文献标识码 A

松嫩平原西部是世界上三大片苏打盐渍土集中分布区之一, 生态环境脆弱, 是我国北方土地荒漠化最严重的地区之一。土壤盐渍化是松嫩平原存在的主要生态环境问题。根据最新卫星图像解译, 仅吉林省西部区域就存在盐碱化土地面积  $1.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 占区域土地总面积的 34%, 而且重度盐碱化面积仍以每年 1.4% 的速度扩展<sup>[1,2]</sup>, 盐碱化程度不断加剧, 造成了大片粮田产量下降和草地退化。因此该地区生态恢复和环境建设尤为重要。

芦苇 (*Phragmites communis*) 是该地区主要植被群落之一。以往对芦苇的研究中, 包括个体生物、生态学特性<sup>[3]</sup>, 生理生化特征<sup>[4,5]</sup>, 水分生理代谢<sup>[6]</sup>, 种群特征及其与环境因子的相互关系<sup>[7]</sup>进行了大量研究, 以及芦苇在盐碱地改良的作用也做了一些研究<sup>[8]</sup>, 而对土壤盐分离子组成及种群耦合研究相对较少<sup>[9,10]</sup>。本文选择松嫩平原西部低洼盐碱地作为样地, 研究芦苇小区土壤盐分离子组成及空间变异, 并分析了土壤盐分离子与群落分布的关系, 为松嫩平原西部盐碱地植被恢复和环境建设提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验在大安碱地试验站进行, 该站坐落在洮儿河流域下游低平原上, 位于吉林省大安市安广镇红岗子乡。地理坐标为东经  $123^\circ 50' 27'' \sim 123^\circ 51' 31''$ , 北纬  $45^\circ 35' 58'' \sim 45^\circ 36' 28''$ 。该区多年平均降水量 395.5 mm, 年均气温 4.3℃, 无霜期约 140 d。试验站周围地区属嫩江古河道低漫滩, 盐渍土广泛分布, 是松嫩平原中度和重度盐渍化典型区域。

### 1.2 试验方法与设计

选择低洼芦苇地为研究样地。芦苇试验小区面积为  $5000 \text{ m}^2$ , 南北长 100 m, 东西宽 50 m, 将小区分成  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  的网格, 从中随机选取 20 个点, 作为测量点。小区内地形平坦, 微有起伏。试验在自然条件下进行。具体样点布置如图 1。试验从 2005 年 5 月开始至 2006 年 10 月结束。土壤样品采集和植被生长指标测定均于 9 月下旬分 2 次进行。而土壤含水量测定在以上采样基础上于 2006 年 8

\* 国家自然科学基金项目 (40501010) 和中国科学院知识创新项目 (KZCX2 - YW - 126) 资助  
作者简介: 杨帆 (1972 ~), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事水盐运移与生态研究  
收稿日期: 2007 - 04 - 31; 收到修改稿日期: 2007 - 08 - 08

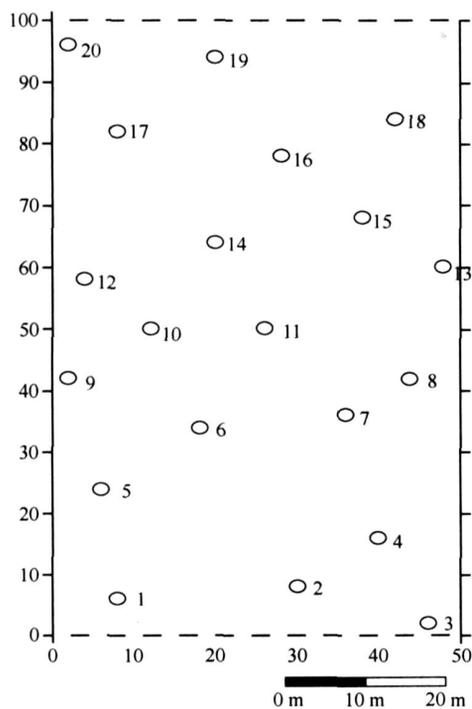


图1 测量点布置

Fig. 1 Distribution of measuring points in the experiment site

月中旬增加采样1次,共3次。试验小区土壤物理性状见表1,整个小区以芦苇群落为主,而1点、3点、5点地势略高,为碱茅+芦苇群落,芦苇相对盖度分别为38%、25%、48%。芦苇小区中,芦苇群落

积水时间长,两年平均积水时间为45 d。而碱茅+芦苇群落相对积水时间短,而且为间断性积水,平均积水时间为18 d。

### 1.3 数据采集

**1.3.1 土壤水溶性盐测定** 芦苇试验小区各测点分别取样,取样深度为0~10 cm,每个样点取3个土样,将其混合,作为待试样品。土样在室内自然风干,过1 mm筛后,采用1.5土水比例浸提水溶性盐。浸提液进行水溶性盐分析,分析项目包括pH、电导率(EC)及 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等主要离子含量。 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 采用原子吸收分光光度法测定, $\text{CO}_3^{2-}$ 和 $\text{HCO}_3^-$ 采用双指示剂中和滴定法测定, $\text{Cl}^-$ 采用硝酸银滴定法测定, $\text{SO}_4^{2-}$ 采用硫酸钡比浊法测定。

**1.3.2 芦苇生长指标测定** 覆盖度采用网格法测定,用1 m×1 m的样方,其中样方中有10 cm×10 cm的方格100个,将其水平对正摆放在试验地上方(不压试验植被),由上而下数方格。方格中植被占1/2以上即为有1,否则为0。将1累加,除以100,即为该试验区植被覆盖度(百分数);生物量鲜重,每个样点选面积为1 m×1 m的小样方,齐地面剪割,称鲜重;然后置于80℃烘干箱中烘干,称量干重。

**1.3.3 土壤含水量测定** 用烘干法测定土壤剖面0~10 cm、10~30 cm、30~60 cm、60~100 cm土层土壤含水量。

表1 试验小区土壤物理特性

Table 1 Soil physical properties of experiment site

土层 Soil layer (cm)	颗粒组成 Particle composition ( $\text{g kg}^{-1}$ )				容重 Bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ )
	2~0.2 mm	0.2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	
0~10	23	659	154	164	1.56
10~20	25	665	160	210	1.63
20~30	19	611	160	210	1.57
30~50	26	572	202	200	1.64

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤盐分离子空间变异

由表2可知,芦苇小区土壤盐分离子具有明显的空间变异性,变异系数为0.35~1.41。其中土壤阳离子含量变异系数为0.60~1.22;阴离子含量变异系数为0.35~1.41。土壤盐分离子中 $\text{CO}_3^{2-}$ 变异系数最大为1.41, $\text{SO}_4^{2-}$ 变异系数最小为0.35。小区

中土壤电导率也具有空间变异性,最大值为最小值的4倍,变异系数为0.47。整个小区pH较高,均值为9.36,变异系数较小仅为0.07,整个小区碱化程度较高。因此土壤电导率、土壤盐分离子、pH具有明显的空间变异性。通过方差分析,芦苇小区土壤各离子间含量变化显著,阳离子中, $\text{Na}^+$ 含量为26.32  $\text{mmol kg}^{-1}$ ,远高于其他阳离子( $p < 0.05$ )。阴离子中, $\text{HCO}_3^-$ 含量最高( $p < 0.01$ ),为36.72  $\text{mmol kg}^{-1}$ 。

表 2 芦苇小区 0~10 cm 土壤水溶性盐测定值统计参数

Table 2 Descriptive statistics of ion contents and associated properties of soils in 0~10 cm depth of *Phragmites communis* zone

项目 Items	测点数 Number of points	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Mean	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
阳离子含量 Cation content ( $\text{mmol kg}^{-1}$ )						
$\text{Na}^+$	20	11.00	74.14	26.32	15.72	0.60
$\text{K}^+$	20	0.14	1.52	0.52	0.41	0.78
$\text{Mg}^{2+}$	20	0.28	11.33	2.83	3.45	1.22
$\text{Ca}^{2+}$	20	1.02	34.35	8.11	9.66	1.20
阴离子含量 Anion content ( $\text{mmol kg}^{-1}$ )						
$\text{CO}_3^{2-}$	20	0.00	8.05	1.67	2.35	1.41
$\text{HCO}_3^-$	20	5.37	121.4	36.72	32.37	0.88
$\text{Cl}^-$	20	1.86	7.48	3.80	1.45	0.38
$\text{SO}_4^{2-}$	20	0.05	0.17	0.10	0.035	0.35
EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	20	0.15	0.67	0.31	0.14	0.47
pH	20	8.58	10.40	9.36	0.51	0.07

## 2.2 土壤浸提液电导率与土壤盐分离子浓度、pH 之间的关系

土壤电导率 (EC) 与土壤盐分含量之间具有密切的关系<sup>[11]</sup>。土壤电导率易于田间实地测定, 测量成本低, 所以其常被作为反映土壤盐分含量高低的

指标, 然而它反映的是离子总量, 并不能反映某些离子的变化<sup>[12]</sup>。因此建立 EC 与其他化学参数间的关系, 用 EC 反映土壤离子变化, 并反映盐化与碱化程度, 对于指导苏打盐渍土改良和开发具有重要的作用。从图 2a~图 2c 可知, EC 与  $\text{Na}^+$  浓度、 $\text{Ca}^{2+}$

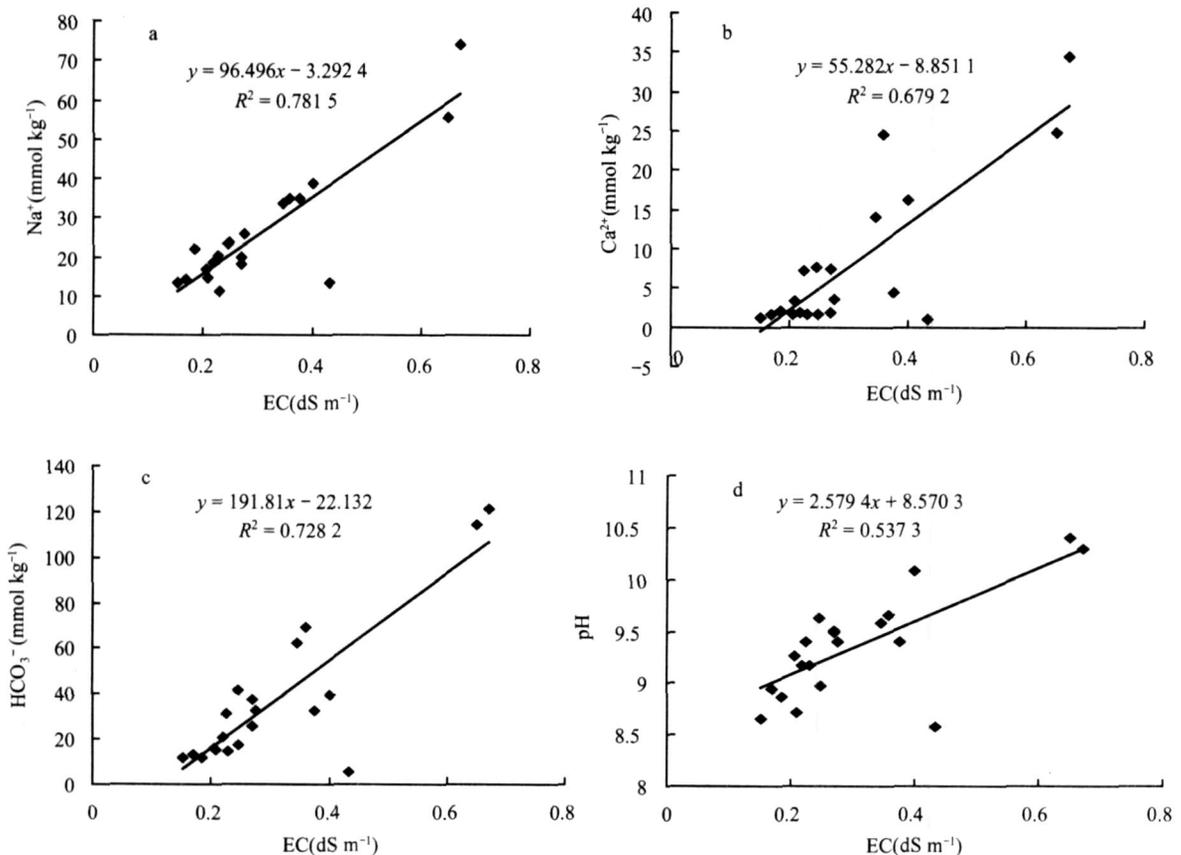


图 2 土壤 1:5 浸提液电导率与主要离子浓度和 pH 的关系

Fig. 2 Relations of EC with pH and concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , in 1:5 soil extract

浓度、 $\text{HCO}_3^-$  浓度呈极显著正相关 ( $p < 0.01$ )。说明主要离子变化趋势与电导率相一致。由图 2d 可知,土壤电导率与 pH 呈极显著正相关 ( $p < 0.01$ ),随着土壤盐分的增加,土壤碱化程度加重,在芦苇小区内土壤盐化的同时伴随着碱化,分析原因,可能由于土壤在积盐和脱盐的交替过程中,促进了土壤溶液中盐类离子和土壤胶体表面所吸附的阳离子之间的交换,加快了土壤碱化过程的速度,并增加了土壤碱化强度<sup>[13]</sup>。

### 2.3 土壤盐分离子与植被群落分布的关系

经方差分析,碱茅+芦苇群落土壤离子含量均高于芦苇群落(表 3)。分析原因,芦苇群落生长旺盛,根系纵横交错,土壤通透性大大增加,又因其地势较低,雨季地表积水时间长,地下水位高,使地下水与地表水发生水力联系,盐分溶于水,并随水分

向下迁移,因此地表盐分离子含量较低。碱茅+芦苇群落地势微高,相对芦苇群落,雨季地表积水时间短,在降雨后的强烈蒸发下,盐分表聚,盐碱化较重,土壤渗透性极差,土壤饱和渗透系数仅为  $0.133 \text{ mm d}^{-1}$ <sup>(1)</sup>。而且碱茅+芦苇群落植株矮小,盐生植物(碱茅)根系较浅,约在 10 cm 以内,而植株较矮的芦苇,也表现为水平根系多,土壤通透性差,离子含量高。

表 4 中碱茅+芦苇群落土壤浸提液电导率为芦苇群落的 2 倍,且 pH 也大于芦苇群落,植被种群指标株高、覆盖度、生物量均表现为芦苇群落大于碱茅+芦苇群落。因此随着盐分和 pH 的升高,湿地芦苇植被正向盐碱化植被退化,表现为植被类型由芦苇群落向碱茅+芦苇群落退化。生长指标随着盐碱化程度加重,呈逐渐减少趋势。

表 3 不同植被群落土壤盐分离子分布特征<sup>1)</sup>

Table 3 Salt ion contents ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ) in soils with different vegetation community

群落类型 Community type	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
碱茅+芦苇群落	1.27 ±0.18a	56.20 ±10.18a	25.12 ±5.25a	8.83 ±2.08a
芦苇群落	0.39 ±0.06b	21.04 ±1.84b	5.11 ±1.47b	1.77 ±0.52b
群落类型 Community type	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
碱茅+芦苇群落	6.72 ±0.76a	91.75 ±26.16a	6.50 ±0.90a	0.14 ±0.02a
芦苇群落	0.78 ±0.21b	27.01 ±4.34b	3.33 ±0.19b	0.09 ±0.01b

1)同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平 ( $p < 0.05$ ) Different letters in a column indicate significant difference at  $p < 0.05$  level. *Puccinellia tenuiflora* + *Phragmites communis* community; *Phragmites communis* community

表 4 不同植被群落生长特征及土壤盐分特征<sup>1)</sup>

Table 4 Vegetation growth of different vegetation communities and soil salinity therein

群落类型 Community type	pH	电导率 EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	生物量 Biomass (g)	株高 Height (cm)	覆盖度 Coverage (%)
碱茅+芦苇群落	10.26 ±0.09a	0.57 ±0.09a	45.17 ±6.49a	45.50 ±7.65a	47.17 ±5.45a
芦苇群落	9.20 ±0.09b	0.26 ±0.02b	255.0 ±17.1b	159.7 ±8.3b	82.21 ±3.40b

1)同一列中标有不同字母的数据间差异达到显著水平 ( $p < 0.05$ ) Different letters in a column indicate significant difference at  $p < 0.05$  level. *Puccinellia tenuiflora* + *Phragmites communis* community; *Phragmites communis* community

$\text{Na}^+$  与植被生长指标的株高、覆盖度、生物量均呈负相关(表 5),因此随着  $\text{Na}^+$  浓度的增加,植被生长三项指标均受到抑制, $\text{Na}^+$  浓度的增高对芦苇的种群特征具有很大的影响。而其他三种阳离子仅仅影响一至两项生长指标,表明其他三种离子较  $\text{Na}^+$  对芦苇种群特征影响要小。由表 5 可知,阴离子中, $\text{CO}_3^{2-}$  对芦苇生长指标的株高、覆盖度和生物

量均呈显著相关,因此在阴离子中, $\text{CO}_3^{2-}$  的浓度过高,对芦苇种群特征影响较大。

### 2.4 剖面不同深度土壤含水率空间分布特征

由表 6 可知,土壤剖面含水率由表层到深层变异系数逐渐减小,说明表层土壤含水率空间变异大,深层空间分布稳定,变化小。分析原因,试验小区属低洼地的一部分,低洼地地表不平,坡降平缓的小丘和

(1)杨建锋. 苏打盐渍土盐运移机理与空间变异特征研究. 中国科学院东北地理与农业生态研究所博士后研究报告, 2005. 53~54

浅碟形小洼地相间分布,形态各异。可能是这种微地貌影响了表层土壤含水率的空间分布。随着土壤剖面深度增加,这种变率逐渐减小,直至 60~100 cm 土层的

最低值 0.11,原因可能与地下水位有关,当时的地下水位在 1.1 m 左右,60~100 cm 土层接近于潜层地下水,因此该土层土壤含水率分布均匀,变率最小。

表 5 土壤盐离子与植被生长指标的相关性<sup>1)</sup>

Table 5 Correlation between salt ion and index of vegetation growth

	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
株高 Height	-0.628**	-0.557 <sup>*</sup>	-0.495 <sup>*</sup>	-0.592**	-0.484 <sup>*</sup>	-0.677**	-0.515 <sup>*</sup>	-0.294
覆盖 Coverage	-0.535 <sup>*</sup>	-0.458 <sup>*</sup>	-0.379	-0.401	-0.378	-0.550 <sup>*</sup>	-0.411	-0.207
生物量 Biomass	-0.471 <sup>*</sup>	-0.410	-0.411	-0.449 <sup>*</sup>	-0.360	-0.554 <sup>*</sup>	-0.440 <sup>*</sup>	-0.075

1) \*表示在 0.05 水平下显著相关, \*\*表示在 0.01 水平下显著相关 \* Correlation is significant at the 0.05 level. \*\* Correlation is significant at the 0.01 level

表 6 试验小区土壤含水率测定值统计特征参数

Table 6 Descriptive statistics of soil moisture

土层 Soil layer (cm)	测点数 Number of points	最小值 Minimum (%)	最大值 Maximum (%)	均值 Mean (%)	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
0~10	20	6.7	38.3	17.9	7.9	0.44
10~30	20	20.3	38.3	27.8	5.5	0.20
30~60	20	23.7	35.3	27.6	3.9	0.14
60~100	20	24.0	36.7	30.9	3.4	0.11

## 2.5 土壤含水率与生长指标分析

由表 7 可知,0~10 cm 土层土壤含水率与覆盖度、生物量达到了显著相关 ( $p < 0.05$ ),10~30 cm、30~60 cm 土层土壤含水率与生长指标未达到显著相关。因此芦苇小区表层含水率是决定植物生长的重要因素。表层含水量高,芦苇出芽率高,容易产生分蘖株<sup>[14]</sup>。而分蘖株的大量产生,使芦苇密度增加,由于种内竞争,从而影响了植株的株高。因此 0~10 cm 土层土壤含水率与株高相关性未达到显著水平。而 60~100 cm 土层土壤含水率与芦苇的各项生长指标均达到显著性相关,说明 60~100 cm 土层土壤含水率直接影响芦苇的生长。分析原因,可能与植物的根茎有关,已有研究表明,芦苇垂

直根系具有水力提升能力,可以将地下水位 1.5 m 的土壤水提升至浅层根系,供浅层根系植物吸收利用<sup>[7]</sup>。因此芦苇能吸收深层土壤水来供植株生长。

## 3 小结

松嫩平原苏打盐碱地芦苇小区土壤盐离子空间变率明显,阳离子变异系数为 0.60~1.22,阴离子变异系数为 0.35~1.41。在离子组成中,阳离子中 Na<sup>+</sup> 含量最高 ( $p < 0.05$ ),阴离子中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量最高 ( $p < 0.01$ )。

土壤主要盐离子 (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 浓度与土壤电导率呈显著正相关,因此可用简单的方法来估算土壤中主要盐离子浓度。

芦苇小区碱茅+芦苇群落土壤离子含量均大于芦苇群落 ( $p < 0.05$ )。碱茅+芦苇群落土壤电导率、pH,以及株高、生物量、覆盖度均高于芦苇群落,因此随着盐分、离子浓度的增加,芦苇小区土壤碱化程度加重,植被生长指标减小,植被群落也由芦苇群落向含有碱地植被的碱茅+芦苇群落过渡。

芦苇小区土壤含水量由表层至深层变异系数逐渐减小,且芦苇 0~10 cm 土层与 60~100 cm 土层土壤含水量与植被生长指标呈显著性相关

表 7 芦苇生长指标与土壤水分的关系<sup>1)</sup>

Table 7 Growth index of *Phragmites communis* and soil moisture

土层 Soil layer (cm)	覆盖度 Coverage	株高 Height	生物量 Biomass
0~10	0.448 <sup>*</sup>	0.359	0.451 <sup>*</sup>
10~30	0.066	0.387	0.192
30~60	0.247	0.375	0.334
60~100	0.450 <sup>*</sup>	0.498 <sup>*</sup>	0.522 <sup>*</sup>

1) \*表示在 0.05 水平下显著相关 \* Correlation is significant at the 0.05 level

( $p < 0.05$ ),说明浅层和深层土壤水对芦苇生长影响较大。

## 参考文献

- [1] 李取生,李秀军,李晓军,等.松嫩平原苏打盐碱地治理与利用.资源科学,2003,25(1):15~20. Li Q S, Li X J, Li X J, et al. Sodium bicarbonate soil management and utilization in the Songnen Plain (In Chinese). Resources Science, 2003, 25(1): 15~20
- [2] 李取生,庞治国,宋玉祥.加快立法进程,治理吉林西部盐碱荒漠化.农村生态环境,2000,16(2):53~55. Li Q S, Pang Z G, Song Y X. Accelerating law-enacting on controlling of salinization induced desertification for the improvement of ecological environment in west Jinlin (In Chinese). Rural Eco-Environment, 2000, 16(2): 53~55
- [3] 许祥明,叶和春,李国凤,等.芦苇耐盐变异体与野生型植株某些特性的比较.植物学报,2000,42(2):1126~1130. Xu X M, Ye H C, Li G F, et al. Comparison of some characteristics between *Phragmites communis* and its salt tolerant variant (In Chinese). Acta Botanica Sinica, 2000, 42(2): 1126~1130
- [4] 张承烈,周瑞莲,陈国仓.芦苇耐脱水能力的生理生态学分析.植物生态学与地植物学学报,1992,16(4):311~316. Zhang C L, Zhou R L, Chen G C. Physio-ecological analysis on the capability of dehydration tolerance of *Phragmites communis* (In Chinese). Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 1992, 16(4): 311~316
- [5] 郑文菊,陈国仓,张承烈,等.四种生态型芦苇叶中离子分布对生境的生理适应.植物学报,2002,44(1):82~87. Zheng W J, Chen G C, Zhang C L, et al. Physiological adaptation of habitat by ion distribution in the leaves of four ecotypes of reed (*Phragmites australis*) (In Chinese). Acta Botanica Sinica, 2002, 44(1): 82~87
- [6] 高辉远,李卫军,吐尔逊娜依,等.新疆平原荒漠区不同生长型芦苇叶片水势、蒸腾速率及水分利用效率的研究.中国草地,1995,17(5):60~66. Gao H Y, Li W J, Tursunay, et al. Diurnal course of photosynthesis and respiration in reed leaves of different growth forms in plain desert area of northern Xinjiang (In Chinese). Grassland of China, 1995, 17(5): 60~66
- [7] 赵文智,常学礼,李启森,等.荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系.生态学报,2003,23(6):1138~1146. Zhao W Z, Chang X L, Li Q S, et al. Relationship between structural component biomass of reed population and ground water depth in desert oasis (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(6): 1138~1146
- [8] 李取生,邓伟.松嫩平原西部盐沼的形成与演化.地理科学,2000,20(4):362~367. Li Q S, Deng W. Formation and evolution of salt marsh plain in western Songnen (In Chinese). Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(4): 362~367
- [9] 李昌华,何万云.松嫩平原盐渍土主要类型、性质及其形成过程.土壤学报,1963,11(2):196~208. Li C H, He W Y. The main type, properties and formation of salinity soil in the Songnen Plain (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1963, 11(2): 196~208
- [10] 杨建锋,邓伟,章光新.田块尺度苏打盐渍土盐化和碱化空间变异特征.土壤学报,2006,43(3):500~505. Yang J F, Deng W, Zhang G X. Field-scale spatial variability of soil salinity and alkalinity in a saline-sodic soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(3): 500~505
- [11] Lesch S M, Strauss D J, Rhoades J D. Spatial prediction of soil salinity using electromagnetic induction techniques: 1. Statistical prediction models: A comparison of multiple linear regression and cokriging. Water Resources Research, 1995, 31: 373~386
- [12] Chang C, Sommerfeldt T G, Carefoot J M, et al. Relationships of electrical conductivity with total dissolved salts and cation concentrations of sulfate dominant soil extracts. Canadian Journal of Soil Science, 1983, 63: 79~86
- [13] 王遵亲,等.中国盐渍土.北京:科学出版社,1993. 84~85. Wang Z Q, et al. Salt-affected Soils in China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993. 84~85
- [14] 杨允菲,魏春雁,张宝田,等.松嫩平原碱化草甸旱地生境芦苇种群的芽流和芽库动态.应用生态学报,2005,16(5):854~858. Yang Y F, Wei C Y, Zhang B T, et al. Dynamics of bud flow and bud bank of *Phragmites communis* population in dry land habitat of alkalized meadow in the Songnen Plains of China (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(5): 854~858

## SPATIAL VARIATION OF SOIL SALINE IONS AND ITS RELATIONSHIP WITH VEGETATION COMMUNITY OF PHRAGMITES AUSTRALIS IN A SALINE-SODIC SOIL

Yang Fan<sup>1,4</sup> Deng Wei<sup>2</sup> Zhang Guangxin<sup>1</sup> Yang Jianfeng<sup>3</sup> Li Xiujun<sup>1</sup>

(1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China)

(2 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

(3 Development Investigate Center of Chinese Geologic Research Office, Beijing 100083, China)

(4 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract** Distributions of soil saline ions and vegetation communities were studied in *Phragmites communis* land. Results indicate that spatial variation of soil saline ions was significant, with variation coefficient of the four types of cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) ranging from 0.60 to 1.22, and of the four types of anion ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) from 0.35 to 1.41. Among the eight types of ions,  $\text{Na}^+$  was the highest in content among the four cations, and  $\text{HCO}_3^-$  among the four anions. Comparison between vegetation communities show that *Puccinellia tenuiflora* + *Phragmites communis* community was higher than *Phragmites communis* community in concentrations of the eight ions ( $p < 0.05$ ), and in soil EC, soil pH, plant height, and biomass as well ( $p < 0.01$ ). So with increasing soil electric conductivity and ion concentration, soil alkalinity increases, vegetation growth index decreases, and vegetation community turns from *Phragmites communis* community to *Puccinellia tenuiflora* + *Phragmites communis* community.

**Key words** Salt ions; *Phragmites communis*; Community distribution; Saline-sodic soil