

银川平原草甸湿地盐土及其盐分分布特征^①

夏贵菊¹, 何彤慧^{1*}, 于 骥¹, 吴春燕¹, 赵永全²

(1 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021; 2 湖北医药学院, 湖北十堰 442000)

摘要:通过野外观测和室内分析, 研究银川平原草甸湿地盐土及其盐分的分布特征, 根据土壤表层全盐含量将研究区土壤划分为5个等级, 分别为、 、 、 、 , 不同土壤等级的植被类型不同, 在土壤 中主要分布盐生草本草甸和盐生小灌木草甸, 在土壤 中主要分布盐生草甸和丛生禾草草甸, 在 、 中主要分布根茎禾草草甸, 在 中主要分布杂类草草甸和一些低湿草甸; 研究区草甸土壤全盐含量在垂直方向上表现出明显的表聚现象, 在0~30 cm土层, 随着土壤深度的增加, 土壤全盐含量急剧下降, 在30~70 cm土壤全盐含量的下降则较为平缓; 各盐分离子除了HCO₃⁻以外, 其余各离子均表现出明显的表聚现象, 但在不同的土壤等级中, 只有Na⁺、K⁺、Cl⁻和土壤全盐的表现一致, 均为 > > > > 。草甸湿地植物体中也有一定的盐分累积, 在植物体中, 主要盐分为NaCl、NaHCO₃; 在土壤中主要盐分为NaCl、NaHCO₃、Na₂CO₃。

关键词:草甸湿地; 盐分; 分布特征; 银川平原

中图分类号: Q948

银川平原地处我国西北内陆干旱区, 由于具有特殊的地理位置, 形成了众多的湖泊湿地, 属于典型的绿洲湿地, 目前银川城市湿地面积约5.3万hm², 占全市国土面积的5.65%。其中, 自然湿地近3万hm²[1]。生态功能明显, 生物多样性丰富, 是鸟类水禽的重要栖息地。银川平原的降雨量稀少, 蒸发量大, 水是盐分运动的载体, 遵循“盐随水来, 盐随水去”的规律; 在地下水浅埋深的条件下, 地下水中的盐分很容易通过毛管的作用不断向地表运动, 造成土壤发生不同程度的盐分富集[2], 草甸湿地因为靠水面, 地下水水位高, 处于土壤发生盐渍化的临界水位区间, 因此草甸湿地是最容易发生盐分累积的区域。盐分的积累会使植物的生境发生改变, 促使植物向盐生、荒漠化转变, 进而导致整个生态环境恶化[3], 湿地生态系统植被覆盖度的显著降低, 减少湿地动物生境面积, 进而使湿地的生态价值下降[4]。

本研究以银川平原草甸湿地为研究对象, 旨在厘清研究区土壤盐分的分布情况以及土壤盐分的主要组成成分, 为银川平原湿地的盐分治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

银川平原处于温带干旱地区, 日照充足, 年均日照时数3000h左右, 无霜期约160天。热量资源较丰富, 10℃以上活动积温约3300℃。气温日较差大, 平均达13℃, 有利于作物的生长发育和营养物质积累。银川平原南起青铜峡, 北迄石嘴山, 西倚贺兰山, 东傍鄂尔多斯台地, 宽40~50km, 海拔1100~1200m, 面积7000多km², 是全区地势最低之处。地理坐标为: 105°45′~107°00′E, 37°50′~39°20′N。银川平原属于典型的大陆性气候, 降雨量少、蒸发强烈, 年均降水量为180~200mm, 年均蒸发量为1100~1600mm。

1.2 野外采样

于2014年6—7月在银川平原绿洲共设置样地57个(图1), 每个样地采2~3个重复, 一共完成123个样方。

样方面积大小为1m×1m, 选取干扰较小的植物群落, 然后将样方内的所有植物种类齐地割下, 装入写有编号的袋子带回实验室。每个样地上, 使用钻

基金项目: 国家自然科学基金项目(41361095)资助。

* 通讯作者(hetonghui@163.com)

作者简介: 夏贵菊(1988—), 女, 贵州瓮安人, 硕士研究生, 主要研究方向为恢复生态学。E-mail: guijuxia@163.com

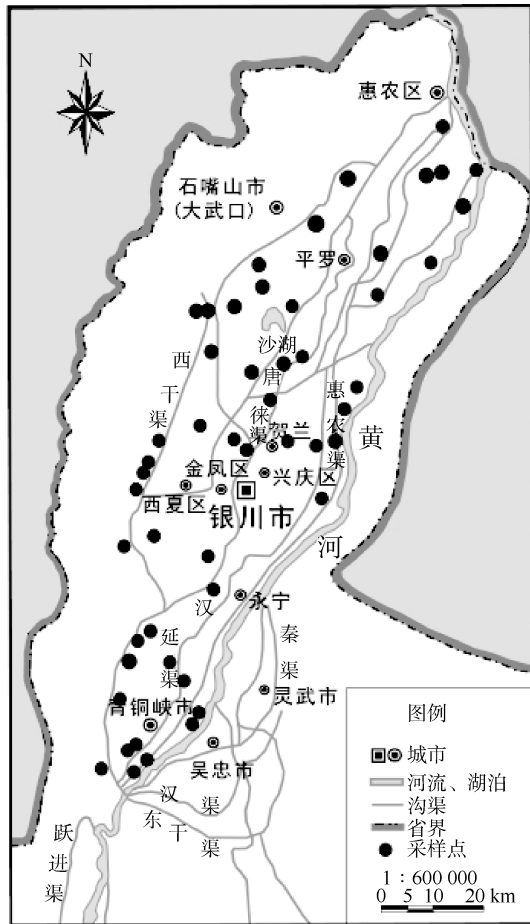


图 1 研究区样地分布图

Fig. 1 Sampling plots in study area

杆长 1 m 钻头为 20 cm 的土钻完成,在垂直方向上分别采取 0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~70、70~80、80~90、90~100 cm 的土样,每个样地采取 2~3 个重复,一共采取 1 230 个土壤样品。

在采样的同时,记录采样点经纬度位置、水深、采样点周围有无农作物种植、环境是否遭到破坏

等信息。

1.3 分析方法

将采集的植物样品分类、称重后,放入 65℃ 的烘箱烘干至恒重再称取干重,每个样地采取 2~3 个重复,将每个样方的植物样烘干后使用粉碎机粉碎并过 0.25 mm 的筛备用。植物体中阳离子(Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})待测液的制备采用三酸消化法,植物体中阴离子(HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-})测定采用沸水法。

土壤样品带回实验室,一部分土壤立即使用铝盒烘干法测定土壤水分,剩下的土样放在通风处自然晾干,风干后过 0.45 mm 筛备用,所有的土样均制备 1:5 土水比浸提液,并测定其电导率。土壤全盐用电导法进行测定;pH 用 pH 计测定;土壤水分含量用铝盒烘干法测定; HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 的测定采用硫酸滴定法; Cl^- 用标准 AgNO_3 滴定法测定; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接滴定法测定; Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 用原子吸收分光光度法测定。

2 结果与分析

2.1 草甸土壤盐分的统计特征

由表 1 可见,研究区表层土壤(0~10 cm)全盐含量的平均值达到了 4.12 g/kg,土壤表层的土壤全盐含量远远超过了其他土壤层,极差最大,为 14.52 g/kg;0~50 cm 土层的全盐含量的变异系数都小于 1,属于中等程度变异;50~100 cm 土壤全盐含量的变异系数大于 1,但都比较靠近 1,因此变异程度也不是那么强。并且它们的平均值、极小值和极大值均表现为随着土层的加深而呈逐渐递减的趋势,这主要是因为干旱少雨并且持续蒸发作用下,深层土壤以及地下水中的可溶性盐类随着水分的蒸发向上运移并在土壤表层积累造成的。

表 1 土壤全盐含量的统计特征

Table 1 Statistical characteristics of soil total salt content

土层深度 (cm)	样地数	分布类型	极小值 (g/kg)	极大值 (g/kg)	均值 (g/kg)	标准差	偏度	峰度	变异系数 CV
0~10	57	偏态	0.47	18.37	4.12	3.89	1.55	2.51	0.94
10~20	56	偏态	0.39	8.82	1.94	1.77	1.71	3.44	0.91
20~30	56	偏态	0.33	6.04	1.37	1.31	2.30	5.32	0.96
30~40	56	偏态	0.30	5.52	1.20	1.09	2.05	4.55	0.91
40~50	56	偏态	0.32	5.12	1.09	1.06	2.37	5.68	0.97
50~60	56	偏态	0.28	5.35	1.01	1.01	2.74	8.12	1.00
60~70	56	偏态	0.30	5.14	0.98	1.04	2.83	8.19	1.06
70~80	55	偏态	0.27	5.19	0.92	0.96	2.98	9.08	1.05
80~90	55	偏态	0.33	4.95	0.92	0.96	2.87	8.28	1.04
90~100	55	偏态	0.30	4.88	0.96	1.03	2.46	5.44	1.07

由表 2 可知,Na⁺ 和 Cl⁻ 的变异系数在 0~100 cm 各土层中都大于 1,表现为强烈的变异性,Ca²⁺ 在表层也表现为较强的变异性。孙文广等^[5]对黄河三角洲新生湿地的 Ca²⁺、Mg²⁺ 含量进行研究发现,Ca²⁺ 在

垂直方向上的变异性也较大;但在 40 cm 以后则表现为中等程度的变异,CO₃²⁻ 和 SO₄²⁻ 只在个别土层表现出较强的变异性,K⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻ 的变异系数在 0.1~1 之间,属于中等程度变异。

表 2 土壤盐分离子的统计特征
Table 2 Statistical characteristics of soil salt ions

土层深度(cm)	统计项目	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻
0~10	均值	1.24	0.22	0.09	0.14	0.39	1.64	0.28	0.59
	标准差	1.47	0.22	0.05	0.13	0.17	1.81	0.21	0.63
	变异系数	1.19	1.01	0.48	0.91	0.45	1.11	0.75	1.07
10~20	均值	0.64	0.14	0.07	0.08	0.41	0.65	0.21	0.39
	标准差	0.63	0.12	0.04	0.07	0.18	0.82	0.20	0.29
	变异系数	0.97	0.87	0.52	0.94	0.45	1.25	0.95	0.74
20~30	均值	0.45	0.10	0.05	0.05	0.43	0.41	0.23	0.33
	标准差	0.49	0.06	0.03	0.03	0.16	0.57	0.15	0.22
	变异系数	1.08	0.65	0.63	0.60	0.37	1.40	0.67	0.65
30~40	均值	0.37	0.11	0.05	0.05	0.45	0.31	0.21	0.36
	标准差	0.46	0.18	0.03	0.04	0.22	0.45	0.11	0.50
	变异系数	1.25	1.54	0.68	0.77	0.48	1.45	0.52	1.40
40~50	均值	0.33	0.09	0.04	0.05	0.45	0.26	0.23	0.30
	标准差	0.44	0.09	0.03	0.04	0.23	0.44	0.26	0.26
	变异系数	1.30	0.93	0.80	0.77	0.51	1.67	1.15	0.87
50~60	均值	0.30	0.09	0.04	0.04	0.43	0.24	0.15	0.29
	标准差	0.40	0.07	0.03	0.03	0.18	0.39	0.15	0.22
	变异系数	1.33	0.72	0.78	0.63	0.42	1.66	1.04	0.74
60~70	均值	0.31	0.09	0.04	0.04	0.45	0.22	0.21	0.29
	标准差	0.48	0.06	0.03	0.03	0.24	0.45	0.23	0.21
	变异系数	1.53	0.67	0.79	0.73	0.54	2.01	1.10	0.70
70~80	均值	0.27	0.09	0.04	0.04	0.44	0.19	0.20	0.24
	标准差	0.40	0.05	0.03	0.02	0.23	0.32	0.11	0.19
	变异系数	1.47	0.58	0.81	0.64	0.51	1.72	0.58	0.80
80~90	均值	0.30	0.09	0.04	0.06	0.46	0.20	0.16	0.32
	标准差	0.44	0.06	0.03	0.10	0.31	0.38	0.10	0.46
	变异系数	1.47	0.68	0.87	1.75	0.66	1.93	0.66	1.43
90~100	均值	0.27	0.09	0.04	0.04	0.45	0.22	0.24	0.26
	标准差	0.37	0.06	0.03	0.05	0.30	0.41	0.04	0.25
	变异系数	1.39	0.72	0.86	1.17	0.67	1.88	0.18	0.96

2.2 草甸土壤盐化等级的划分

研究区土壤总盐含量在一定程度上能反映区域土壤盐化程度的状况,一般采用土壤表层(0~20)cm 的土壤全盐含量来划分。根据土壤全盐量将研究区土壤分为 5 类: 、 、 、 、 ,对应的样地编号如表 3 所示,它们对应的含盐量分别为 ≥10、4~<10、2~<4、1~<2 和 <1 g/kg^[6]。由表可知,研究区样地土壤类型大部分为属于土壤 和土壤 ,所

占比例达到了 53%;土壤 的样地所占比例不大,约占 7%;土壤 所占比例达到 21%,说明研究区已经有很大一部分土壤盐分累积很严重,表层土壤盐分累积含量大于 2 g/kg。

2.3 不同土壤盐化等级下的草甸群落类型

由表 4 可知,土壤 为研究区盐分含量最高的土壤,主要分布盐生草本草甸和盐生小灌木草甸,主要植物种类为小芦苇和盐爪爪,群落结构较为简单,植

表 3 草甸土壤盐化等级的划分
Table 3 Salinization level of meadow soil

土壤盐化等级	划分阈值(g/kg)	样地编号
	10	47、48、49、50
	4 ~ <10	20、22、23、24、26、27、28、30、34、35、36、39、41、43、45
	2 ~ <4	3、7、9、10、11、16、17、18、21、29、31、38、40、44、52
	1 ~ <2	14、15、19、32、33、37、42、46、53、54、56、57
	<1	1、2、4、5、6、8、12、13、25、51、55

表 4 不同土壤盐化等级的草甸群落特征
Table 4 Characteristics of meadow communities under different grades of soil salinization

土壤等级	群落类型	盖度(%)
	盐生草本草甸、盐生小灌木草甸(群落优势种:小芦苇、盐爪爪)	30 ~ 65
	低湿禾草草甸、盐生草本草甸、盐生小灌木草甸、根茎禾草草甸、丛生禾草草甸(群落优势种:小芦苇、白刺、赖草、芦苇、宁夏拂子茅、节节草、拂子茅)	40 ~ 90
	根茎禾草草甸、低湿禾草草甸、典型杂类草草甸、丛生禾草草甸(群落优势种:小芦苇、芦苇、赖草、拂子茅、节节草)	55 ~ 95
	根茎禾草草甸、典型杂类草草甸、低湿莎草草甸(优势种:芦苇、拂子茅、水莎草、长叶碱毛茛)	60 ~ 95
	典型杂类草草甸、低湿莎草草甸、低湿杂类草草甸(优势种:双柱头蔗草、芦苇、蒿蓄、艾蒿、长叶碱毛茛、旋覆花、鹅绒委陵菜、拂子茅)	70 ~ 100

被覆盖度在 30% ~ 65%，偶尔会有盐地碱蓬伴随生长。土壤 为土壤全盐含量较高的土壤，主要分布有低湿禾草草甸、盐生草本草甸、盐生小灌木草甸、根茎禾草草甸、丛生禾草草甸，主要植物种类有小芦苇、白刺、赖草、芦苇、宁夏拂子茅、节节草、拂子茅，盖度在 40% ~ 90%，群落结构比较简单。土壤 的全盐含量为中等程度，分布有根茎禾草草甸、低湿禾草草甸、典型杂类草草甸、丛生禾草草甸，主要植物种类为小芦苇、芦苇、赖草、拂子茅、节节草，群落结构比较稳定，优势种较多，常常具有 2 个以上的优势种或建群种，植物群落盖度 55% ~ 95%。土壤 的全盐含量较少，主要分布根茎禾草草甸、典型杂类草草甸、低湿莎草草甸，主要生长芦苇、拂子茅、水莎草、长叶碱毛茛等植物，群落盖度在 60% ~ 95%。土壤 的全盐含量最少，主要分布典型杂类草草甸、低湿莎草草甸、低湿杂类草草甸，植物种类为双柱头蔗草、芦苇、蒿蓄、艾蒿、长叶碱毛茛、旋覆花、鹅绒委陵菜、拂子茅，群落结构稳定，盖度都较大，在 70% ~ 100%。

综上所述，盐生植物主要生长在土壤类型 I 和 II 上，像小芦苇、盐爪爪、白刺、盐地碱蓬等，禾草草甸主要分布在土壤 IV 至土壤 II 上，分布范围较广，包括根茎禾草草甸、丛生禾草草甸、低湿禾草草甸。典型杂类草草甸主要分布在土壤 III 至土壤 V 上；低湿莎草草甸主要分布在土壤 IV 和土壤 V 上。低湿杂类草草甸分布在土壤 V。金晓媚等^[7]研究表明，植被的生长发育受土壤表层全盐含量的影响很

大，随着全盐含量的增加，植被的 NDVI 指数逐渐减小，植被主要分布在没有盐渍化区域或轻度盐渍化区域，在重度和中度盐渍化区域植被的发育很少。

2.4 土壤全盐的垂直分布特征

由图 2 可知，不同土壤类型的土壤全盐含量在垂直剖面上都表现出一定表聚性，主要积累在 0 ~ 30 cm 土层。土壤类型 I 中，0 ~ 10 cm 层土壤全盐含量平均值达到了 13.58 g/kg，随着土层深度的增加土壤全盐含量呈下降趋势，在 0 ~ 30 cm 层下降急剧，30 cm 以后下降的趋势减缓，在 90 ~ 100 cm 土层的全盐含量仍然比较高，为 3.58 g/kg。土壤 II 的表层(0 ~ 10 cm)土壤的全盐含量平均值达到了 7.32 g/kg，在 0 ~ 30 cm 层土壤全盐含量急剧下降，30 cm 以后下降的趋势减缓，在 90 ~ 100 cm 土层的全盐含

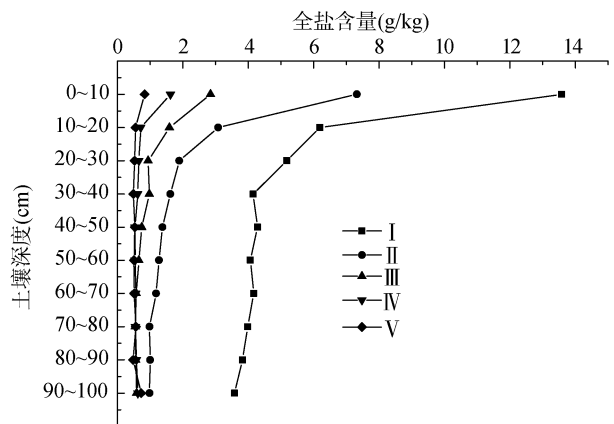


图 2 土壤全盐在垂直方向上的分布特征
Fig. 2 Profile distributions of soil total salt contents

量为 0.98 g/kg。土壤 III、IV、V 的表层全盐含量分别为 2.85、1.63、0.84 g/kg，0~30 cm 急剧下降，30 cm 以下下降趋势变缓；30 cm 土层以下，这 3 种土壤类型的全盐含量相差逐渐变小，在 90~100 cm 层全盐含量分别为 0.59、0.63、0.73 g/kg。土壤全盐含量在土壤类型中表现为土壤 I>土壤 II>土壤 III>土壤 IV>土壤 V。

2.5 土壤盐离子在垂直方向上的分布特征

由图 3 可知，Cl⁻ 在不同等级土壤上的分布和土壤全盐的分布趋势完全一致，表现为 I>II>III>IV>V；在垂直方向上，Cl⁻ 也表现出强烈的表聚性，在 10~30 cm 下降剧烈，30 cm 以后下降缓慢。Na⁺ 的分布趋势和全盐及 Cl⁻ 的分布完全一致，呈现为 I>II>III>IV>V，在垂直剖面上表现出明显的表聚

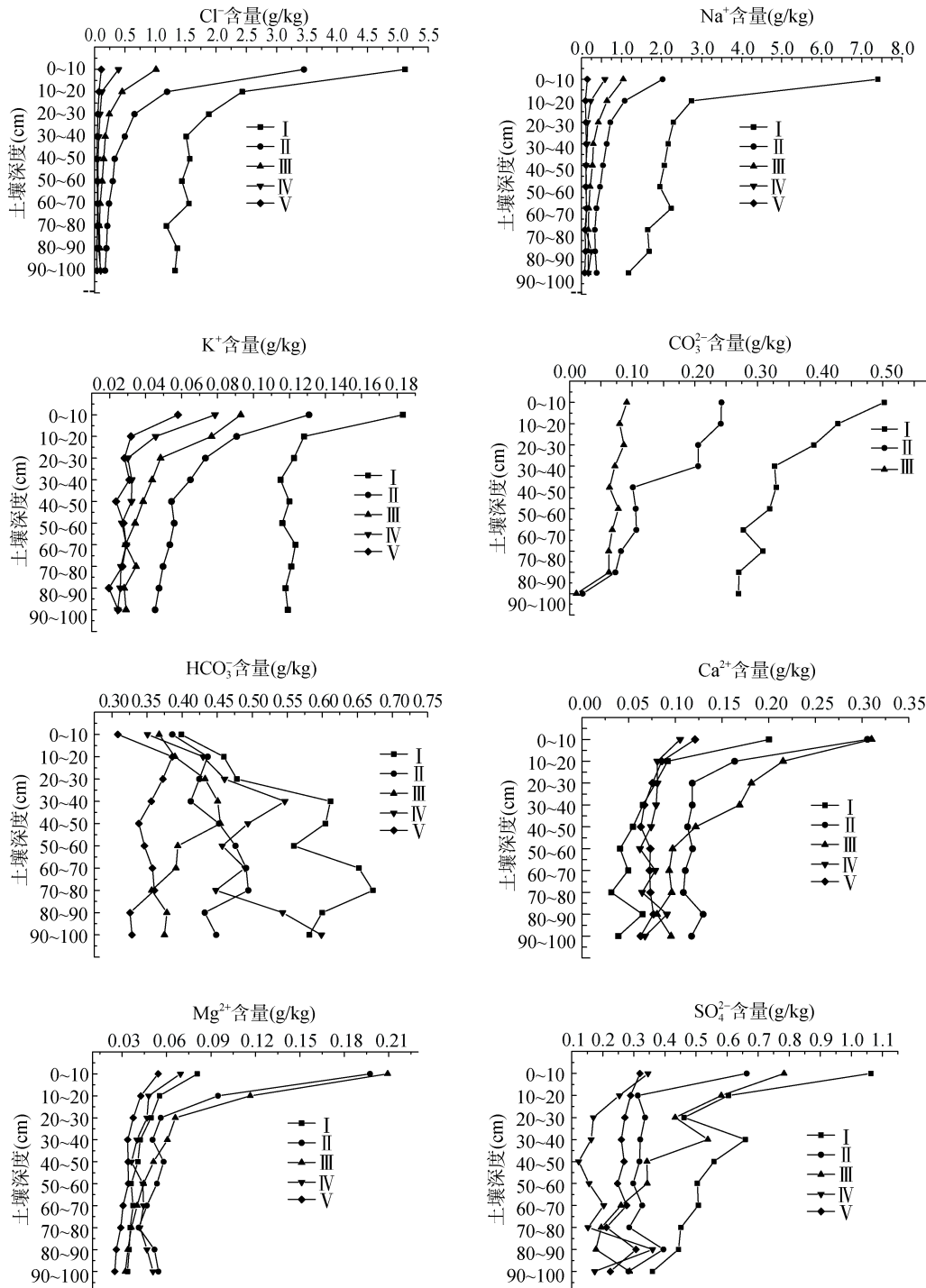


图 3 不同土壤等级盐离子含量在垂直方向上的分布特征
Fig. 3 Profile distributions of salt ion contents under different soil salinization grades

性,在表土层(0~30 cm)下降剧烈,30 cm 以后下降减缓。 CO_3^{2-} 在研究区含量很少,只有 I、II、III 区样地含有,表现为 $\text{I} > \text{II} > \text{III}$,但在垂直方向上波动较大,并没有完全一致的规律。 HCO_3^- 由于它的不稳定性,很容易发生转化,因此在研究区土壤盐化等级和垂直方向上并没有表现出像 Cl^- 那样的规律。 K^+ 和 Na^+ 、 Cl^- 一样,随着土壤等级表现明显的规律,即 $\text{I} > \text{II} > \text{III} > \text{IV} > \text{V}$ 。

2.6 草甸群落植物体中盐分离子含量

植物体中盐分离子含量如图 4 所示,阳离子主要是 Na^+ ,并且和土壤等级的变化趋势一致,呈 $\text{I} > \text{II} > \text{III} > \text{IV} > \text{V}$,分别占阳离子总量的 89.44%、79.29%、75.04%、70.26%、64.74%;其次是 Ca^{2+} ,所占比例分别为 6.48%、14.14%、16.99%、21.18%、24.96%; Mg^{2+} 和 K^+ 在植物体中的含量较少, K^+ 在 5 个土壤等级草甸群落中所占的比例分别为 1.49%、2.18%、2.47%、3.74%、3.88%, Mg^{2+} 所占的比例分

别为 2.58%、1.89%、2.36%、1.92%、2.59%;由此可以看出, Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 在植物体中的含量并不像 Na^+ 那样表现出明显的随着全盐含量的增加而呈增加趋势, Ca^{2+} 、 K^+ 表现出随着全盐含量的增加而降低, Mg^{2+} 则没有明显的规律。阴离子中 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 、 Cl^- 的含量较多, $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 在 5 个土壤等级中所占的比例分别为 45.40%、46.44%、44.53%、43.25%、47.59%, Cl^- 在土壤等级中所占的比例分别为 40.04%、32.47%、31.96%、32.54%、35.55%; SO_4^{2-} 在植物体中的含量较少,在土壤等级草甸群落中所占比例分别为 14.56%、21.09%、23.51%、24.21%、16.86%。因此,研究区植物体中最主要的阳离子是 Na^+ ,阴离子在不同土壤等级草甸群落中的植物体中稍有差异,在 I 中主是 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 、 Cl^- ,因此 I 的盐分类型为 NaCl 、 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 。其余 4 个土壤等级中主要是 HCO_3^- 、 Cl^- ,主要盐分组成是 NaCl 和 NaHCO_3 。

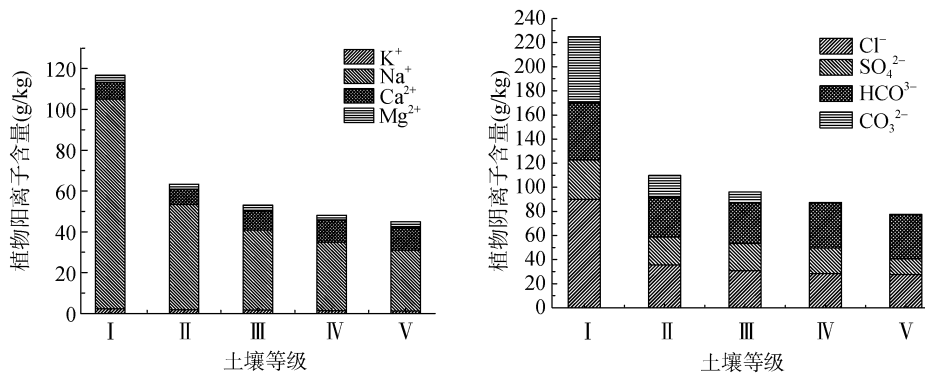


图 4 植物体中各盐分离子含量
Fig. 4 Contents of salt ions in plant

2.7 土壤中盐分离子含量

土壤中盐分离子含量如图 5 所示,阳离子和植物体中盐分离子含量一致,也主要是 Na^+ ,并且和土壤等级的变化趋势一致,呈 $\text{I} > \text{II} > \text{III} > \text{IV} > \text{V}$,分别占阳离子总量的 91.27%、71.17%、57.84%、54.66%、43.71%。 Ca^{2+} 所占比例分别为 2.76%、14.48%、23.58%、21.36%、30.46%,随着土壤全盐的增加有增大的趋势;同样 Mg^{2+} 和 K^+ 在土壤中的含量很少, Mg^{2+} 所占的比例分别为 1.60%、7.48%、11.23%、14.39%、13.92%, K^+ 所占的比例分别为 4.55%、6.87%、7.35%、9.59%、11.90%, Mg^{2+} 和 K^+ 在土壤中的变化和 Na^+ 一致,随着土壤等级中土壤全盐含量的增加而增加。土壤阴离子中 Cl^- 、 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 的含量较多, Cl^- 在 5 个土壤等级中所占比例的百分数分别为 56.52%、43.53%、22.24%、13.49%、7.95%,其次是 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$,所占比例分别为 27.13%、

35.26%、43.08%、60.8%、52.69%; Cl^- 含量在 II、III、IV、V 土壤等级中所占比例是逐渐降低的,而 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 所占的比例是增加的,但 SO_4^{2-} 在土壤中的含量所占的比例也不少,在 5 个土壤等级中所占比例分别为 16.35%、21.21%、34.68%、26.03%、39.36%,随着土壤等级有逐渐增加的趋势。因此,研究区土壤中最主要的阳离子是 Na^+ ,但是阴离子在不同土壤等级中成分会有所差异,在 I 中主要是 Cl^- ,因此 I 类土壤中的盐分类型主要是 NaCl ;土壤等级 II 主要是 Cl^- 和 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$,盐分类型主要是 NaCl 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 ;III 类中主要是 $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$,盐分类型主要是 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 ;IV、V 类中主要是 HCO_3^- ,因此主要盐分类型是 NaHCO_3 。这和植物体中的盐分离子含量相吻合,说明研究区植物对这几种盐分具有一定的吸收能力。当然,不同的区域盐分含量不同,吕真真等^[8]对新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究

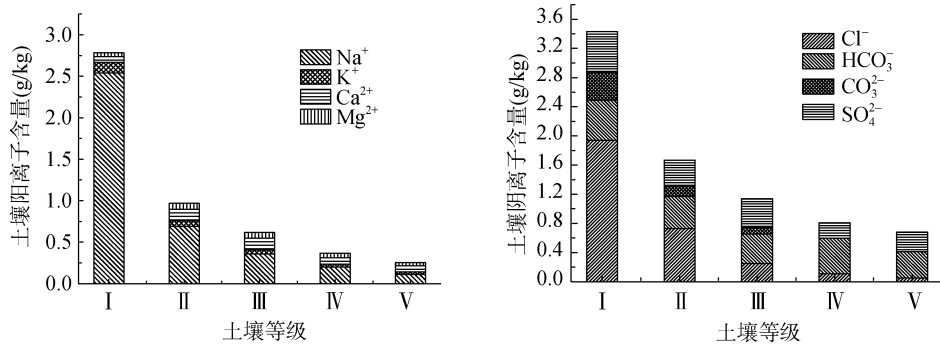


图 5 土壤中各盐分离子含量

Fig. 5 Contents of soil salt ions under different salinization grades

发现，该区域的土壤盐渍化类型就以硫酸盐为主。

3 结论与讨论

银川平原不同土壤等级下的全盐含量都具有明显的表聚性，在垂直方向上随着土层增加而下降，在 0~30 cm 急剧下降，30 cm 以后下降缓慢，在不同土壤等级中表现为 I>II>III>IV>V；Na⁺ 的分布趋势和全盐、K⁺、Cl⁻ 的分布完全一致，呈现为 I>II>III>IV>V，在垂直方向上具有明显的表聚性，这与余海英等^[9]、王战等^[10]的研究结果一致。CO₃²⁻ 在研究区含量较少，只有部分样地含有；HCO₃⁻ 由于它的不稳定性，很容易发生转化，因此在研究区土壤盐化等级和垂直方向上并没有表现出像 Cl⁻ 那样的规律。Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 在垂直剖面上都表现出明显的表聚现象。

植物体中的阳离子主要是 Na⁺，并且和土壤等级的变化趋势一致，呈 I>II>III>IV>V，植物体中的阴离子中 HCO₃⁻+CO₃²⁻、Cl⁻ 的含量也较多，因此，植物体中主要盐分组成成为 NaCl、Na₂CO₃ 和 NaHCO₃。土壤中阳离子和植物体中盐分离子含量一致，也主要是 Na⁺，并且和土壤等级的变化趋势一致，呈 I>II>III>IV>V。土壤阴离子中也主要是 Cl⁻、HCO₃⁻+CO₃²⁻ 的含量较多；因此，土壤中主要盐分组成也为 NaCl、Na₂CO₃ 和 NaHCO₃，这和植物体中的土壤盐分离子含量相吻合，说明研究区植物对这几种盐分具有一定的吸收能力。

综上所述，在 I 等级土壤中，土壤盐分以 NaCl 为主，而植物以小芦苇、盐爪爪等为主，并且植物体中的盐分含量以 NaCl 为主，说明小芦苇、盐爪爪对于 NaCl 具有较好的富集作用，能适应高 NaCl 的土壤环境；在 II 等级土壤中，土壤盐分以 NaCl、NaHCO₃ 为主；而植物以小芦苇、赖草、拂子茅、节节草等植物为主；并且植物体中的主要盐分含量也为 NaCl、NaHCO₃，说明小芦苇、赖草、拂子茅、节节草等植物对于 NaCl、NaHCO₃ 有较好的富集作用；而土壤

盐分在 III、IV、V 类中的盐分以 NaHCO₃ 为主，而植物体中仍主要为 NaHCO₃ 和 NaCl。III 区主要生长小芦苇、芦苇、赖草、拂子茅、节节草，同样，对碳酸盐的富集作用较好。毛桂莲等^[11]利用 NaHCO₃ 对大洋洲滨藜、四翅滨藜、宁夏枸杞进行盐分胁迫研究发现随着 NaHCO₃ 浓度的增加，这几种植物中的 Na⁺ 浓度都是增加的，说明这些植物对碳酸氢盐具有较好的富集作用。而 IV、V 等级土壤中，植物种类主要是以含盐量较低的植物，如水莎草、长叶碱毛茛、蒿蓄、艾蒿等为主；此类植物，耐盐性较低，只适宜生长在盐分含量较轻的区域。因此，根据本研究区的盐分累积情况，对该区盐分的改善可采用生物改良和化学改良并用，主要采用针对氯盐和碳酸氢盐的改良剂。而樊丽琴等^[12]认为对宁夏引黄灌区的土壤盐碱化主要对 Cl⁻、Na⁺、SO₄²⁻、CO₃²⁻ 进行改良。孙兆军等^[13]施用脱硫废弃物对宁夏银北地区不同类型盐碱地进行改良，结果发现脱硫废弃物对盐碱地的改良具有较好的效果。在半干旱地区，微咸水的利用一直是难题，如果把微咸水和改良剂结合起来，对于合理开发利用微咸水、改善盐碱土结构及促进作物生长有着重要意义^[14]。

参考文献：

- [1] 罗玲玲, 钟艳霞, 李小宇. 银川平原天然湖泊湿地生态系统水质净化能力探究[J]. 生态经济, 2014(9): 177-179
- [2] 陆建建. 湿地生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [3] Falkowski P, Scholes R J, Boyle E, et al. The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system[J]. Science, 2000, 290: 291-296
- [4] Mehta S, Fryar A E, Brady R M, et al. Modeling regional Salinization of the Ogallala aquifer, southern High Plains, TX USA[J]. Journal of Hydrology, 2000, 238(1/2): 44-64
- [5] 孙文广, 孙志高, 牟晓杰, 等. 黄河三角洲新生湿地不同植物群落下土壤钙、镁分布特征[J]. 土壤通报, 2013, 44(3): 628-634
- [6] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993

- [7] 金晓娟, 胡光成, 史晓杰. 银川平原土壤盐渍化与植被发育和地下水埋深关系[J]. 现代地质, 2009, 23(1): 23–27
- [8] 吕真真, 刘广明, 杨劲松. 新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 289–295
- [9] 余海英, 李廷轩, 周健民. 典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(4): 571–576
- [10] 王战, 李向全, 王振兴, 等. 青海省鱼卡–大柴旦盆地土壤盐分特征[J]. 土壤, 2015, 47(4): 819–822
- [11] 毛桂莲, 李国旗, 许兴, 等. NaHCO_3 胁迫下 3 种灌木 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 的吸收及转运[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 718–724
- [12] 樊丽琴, 杨建国, 许兴, 等. 宁夏引黄灌区盐碱地土壤盐分特征及相关性[J]. 中国农学通报, 2012, 28(35): 221–225
- [13] 孙兆军, 赵秀海, 李茜, 等. 脱硫废弃物改良盐碱地种植沙枣试验研究[J]. 西北林学院学报, 2010(5): 90–92
- [14] 王全九, 张继红, 谭帅. 微咸水入渗下施加 PAM 土壤水盐运移特性研究[J]. 土壤学报, 2016, DOI: 10.11766/trxb201512300537

Salt Profile Distributions of Meadow Wetland in Yinchuan Plain

XIA Guiju¹, HE Tonghui^{1*}, YU Ji¹, WU Chunyan¹, ZHAO Yongquan²

(1 Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Hubei University of Medicine, Shiyang, Hubei 442000, China)

Abstract: This paper studied the salt profile distribution of meadow wetland in Yinchuan plain based on field observation and analysis in laboratory. According to topsoil salt content soil in the study area was divided into five grades (, , , ,) with different vegetation types, mainly salt herb meadows and salt small shrub meadow in the , salt meadow and grassy meadow in , rhizome grass meadow in , , forb meadow and low humidity meadow in . Total salt accumulated in meadow topsoils. Total salt decreased sharply with the increase of soil depth within 0 – 30 cm depth but slowly with 30 – 70 cm depth. Except HCO_3^- , other salt ions accumulated obviously in topsoils, Na^+ , K^+ , Cl^- in different salinization grades shared the same trends with total salt, i.e. > > > > . Meadow wetland plants accumulated salt, mainly were NaCl and NaHCO_3 , while mainly were NaCl, NaHCO_3 and Na_2CO_3 in soil.

Key words: Meadow wetland; Salt; Distribution characteristic; Yinchuan plain