

## 银川平原草甸湿地表层土盐分累积特征

夏贵菊<sup>1</sup>, 何彤慧<sup>1\*</sup>, 于 骥<sup>1</sup>, 吴春燕<sup>1</sup>, 赵永全<sup>2</sup>

(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 十堰 442000)

**摘 要:** 银川平原湿地属于典型的绿洲湿地, 不仅是生物多样性的载体, 还有具有重要的环境调节功能及较高的生产力, 但由于其地处于易发生盐分累积的区域, 因此, 找出银川平原草甸湿地土壤盐分的空间累积特征, 对了解银川平原水盐迁移过程对湿地生态系统的影响十分重要。该文采用野外调查、室内分析的方法, 研究了银川平原草甸湿地植被的分布特征, 草甸湿地土壤盐化等级的划分, 盐分累积状况, 该研究共设置样地 57 个, 样方 123 个, 根据传统的分类方法将研究区植物群落划分为 3 个植被型, 8 个植被亚型, 27 个群系。根据土壤表层全盐含量 0~20 cm, 把研究区土壤划分为 5 个等级: I、II、III、IV、V, 它们对应的含盐量分别为  $\geq 10$ 、[4~10)、[2~4)、[1~2) 和  $< 1$  g/kg。银川平原草甸湿地土壤盐分呈自南向北逐渐增加的空间变化; 不同草甸植被类型的含盐量大小为盐生草甸>典型草甸>湿生草甸; 不同地形部位草甸的盐分含量表现为干湖滩>洪泛平原>堤外湖滩>湿湖滩>渠边沙滩, 地下水埋深和水盐循环过程是盐分分布特征的决定性因素。

**关键词:** 盐分; 湿地; 土壤; 银川平原

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.020

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2016)-05-0142-07

夏贵菊, 何彤慧, 于 骥, 吴春燕, 赵永全. 银川平原草甸湿地表层土盐分累积特征[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 142—148. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.020 <http://www.tcsae.org>

Xia Guiju, He Tonghui, Yu Ji, Wu Chunyan, Zhao Yongquan. Salt accumulation characteristics of topsoil in meadow wetland in Yinchuan plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 142—148. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.05.020 <http://www.tcsae.org>

### 0 引 言

湿地通常被描述为生态过渡带, 湿地与森林、海洋一起被称为全球三大生态系统<sup>[1]</sup>, 具有陆地生态系统和水域生态系统所无法涵盖的特性, 由于其特殊性, 关于湿地的定义一直争议不断; 1971 年, 根据重要的湿地公约《拉姆萨(Ramsar)条约》, 将湿地定义为: 湿地、沼泽、泥沼或水体的面积, 不论是天然的或人工的, 永久的或暂时的, 静止的或流动的, 淡的、稍咸的或咸的水面积, 包括退潮时海水不超过 6 m 深的海水面积<sup>[2]</sup>。由于其具有广泛的食物链和丰富的生物多样性被称为生物超市, 沼泽、河流、小溪等湿地的服务价值在生态系统中居首位, 具有涵养水源、调节小气候、净化水质、保护生物多样性、休闲旅游等功能, 另外, 湿地还能够防止水盐入侵。从湿地向海域流出的淡水阻碍了海水的回流, 两岸的植被有助于阻止潮水涌入<sup>[3]</sup>。目前, 中国湿地的面积正在快速减少, 其消失的速度令人堪忧, 湿地的逐渐消失会给所在区域的发展带来较为严重的损失, 为了区域的稳定持续发展, 需要了解、保护甚至是重建这类生态系统<sup>[4]</sup>。

银川平原处于干旱半干旱过渡区域, 地带性植被是从旱生、超旱生过渡的植被类型——荒漠草原。干旱半干旱地区湿地研究中, 草甸被视为陆域过湿土壤上的湿地类型, 主要分布在渠边洼地、河漫滩、沟渠边缘等低湿地段<sup>[5]</sup>, 本研究样点即布设在这些地段, 据 2010 年全国第二次湿地普查的数据, 银川平原湿地总面积为 13.08 万  $\text{hm}^2$ , 其中天然湿地和人工湿地分别占湿地面积的 21.73% 和 78.27%。天然湿地中, 河流湿地面积最大, 为 6.06 万  $\text{hm}^2$ ; 沼泽湿地其次, 为 2.17 万  $\text{hm}^2$ ; 湖泊湿地只有 2.00 万  $\text{hm}^2$ 。草甸湿地是以中生和湿生草本植物为建种的群落类型, 在干旱半干旱的荒漠和草原地区, 被视为水陆过渡界面的特殊湿地类型<sup>[5]</sup>, 但因为属于区域性湿地, 未纳入全国湿地普查技术指南, 故其面积总体不详。但正因为草甸湿地发育环境地下水位较高, 处于土壤发生盐渍化的临界水位区间, 发生土壤盐分累积的区域地下水埋深一般是小于 2 m 的, 地下水水力坡度较小, 径流平缓; 在银川平原这样一个高蒸发量和低降雨量的环境条件下, 盐分累积的发生, 除了与溶滤有关外, 主要还受到蒸发的影响<sup>[6]</sup>。

目前, 有关水盐对湿地植被影响的研究已逐渐成为当前国际湿地科学领域研究的热点问题之一<sup>[6]</sup>。以银川平原草甸湿地为研究对象, 研究银川平原草甸湿地土壤盐分的空间累积特征。准确掌握银川平原草甸湿地土壤盐分累积的现状和分布规律, 有助于认识生物地球化学循环过程中, 湿地生态系统的源与汇作用; 揭示银川平原湿地发育过程中的盐分累积效应及其分布特征; 进一步

收稿日期: 2015-07-17 修订日期: 2015-12-18

基金项目: 国家科学自然科学基金(41361095)

作者简介: 夏贵菊, 女, 贵州瓮安人, 研究方向为恢复生态学。银川 宁夏大学, 750021。Email: guijuxia@163.com, Tel: 18795276020。

※通信作者: 何彤慧, 女, 江苏南京人, 教授, 主要从事生态系统监测评估、环境变化和湿地生态恢复方面的研究。银川 宁夏大学, 750021。

Email: hetonghui@163.com

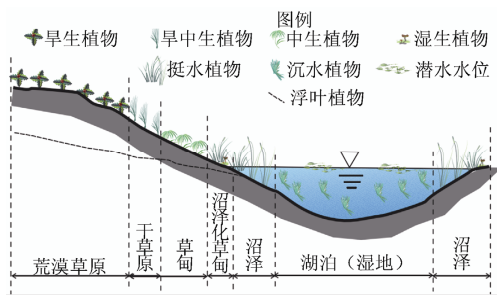
了解银川平原水盐迁移过程对湿地生态系统的影响, 为湖滨和岸堤绿化及生态建设提供科学指导; 为湿地综合利用, 特别是湿地草业建设提供服务。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

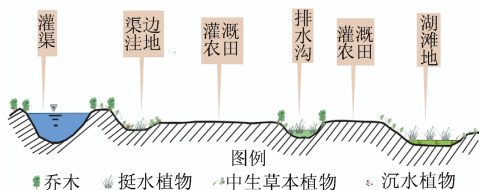
银川平原南起青铜峡, 北迄石嘴山, 北东向延展 165 km, 西倚贺兰山, 东傍鄂尔多斯台地, 宽 40~50 km, 海拔 1 100~1 200 m, 面积 7 000 余 km<sup>2</sup>, 是全区地势最低之处。地理坐标为: 105°45′~107°00′E, 37°50′~39°20′N。银川平原是在新生代断陷盆地的基础上发育形成的堆积平原, 从南向北缓缓倾斜。由于土层深厚, 地势较为平坦, 引水便利, 有利于沟渠、湖泊等湿地类型的形成。银川平原属于典型的大陆性气候, 降雨量少、蒸发强烈, 年均降水量为 180~200 mm, 年均蒸发量为 1 100~1 600 mm, 日照时间长, 年均日照时数大约为 3 000 h, 年平均气温约为 9℃, 无霜期达到 160 d 左右, 有利于作物生长。由于银川平原气温日较差大, 平均值达到 13℃, 这有利于农作物的生长以及营养物质累积。虽然降雨量稀少, 但每年黄河的平均过境水量很高, 达到 300 余亿 m<sup>3</sup>, 早在秦汉时期, 就开始了引黄灌溉, 凿渠引水, 目前有唐徕渠、秦渠、惠农渠、汉延渠、西干渠、汉渠、跃进渠等 14 条骨干灌溉渠, 总长度 1 397 km, 引水能力 744 m<sup>3</sup>/s, 灌溉面积 21 万 hm<sup>2</sup>[7]。

图 1a 所示, 银川平原草甸湿地因为靠水面, 地下水位高, 处于土壤发生盐渍化的临界水位 (1.8~2 m) 区间, 因此是最容易发生盐分累积的区域。图 1b 所示为银川平原典型的生态序列图, 主要是草甸分布地段, 包括沟渠滩地、边坡、干湿湖滩、黄河滩地等。



a. 银川平原水陆界面典型的生态序列

a. Typical ecological sequence in Yinchuan plain land and water interface



b. 银川平原湿地类型的空间结构示意图

b. Wetland type of space structure in Yinchuan plain

图 1 银川平原水陆界面典型的生态序列及湿地类型的空间结构

Fig.1 Typical ecological sequence in Yinchuan plain Land and water interface and wetland type of space structure

### 1.2 采样方法

1) 确定采样点。于 2014 年 6—7 月在银川平原绿洲

共设置样地 57 个, 如图 2 所示, 每个样地采取 2~3 个重复, 一共完成 123 个样方。

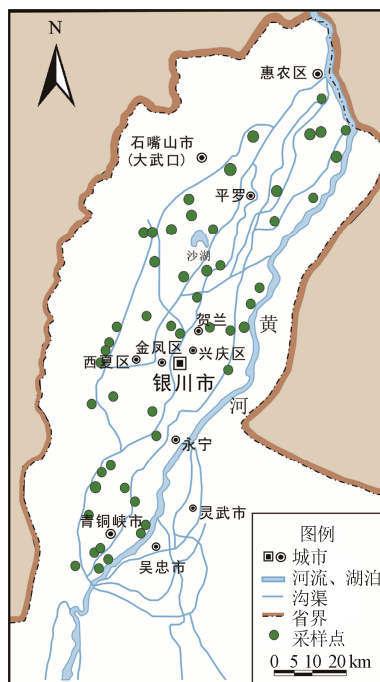


图 2 研究区样地分布图

Fig.2 Sampling map in study area

2) 本研究所采用的样方面积大小为 1 m×1 m, 选取干扰较小的植物群落, 记录样方内植物的数量、种类、盖度、株高等指标。每个样地上, 使用土钻在垂直方向上分别采取 0~10、>10~20 cm 的土样, 每个样地采取 2~3 个重复, 一共采取 246 个土壤样品。

3) 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 试验测试方法

将土壤样品带回实验室, 放在通风处自然凉干, 风干后过 0.45 mm 的筛备用; 准确称量 50 g 的土壤样品放置于塑料瓶中, 加入 250 mL 蒸馏水, 将塑料瓶置于振荡器上振荡 30 min 后, 将震荡好的土壤溶液用离心机进行离心, 离心速度为 3 000 r/min, 离心 30 min 后获得的上清液过滤后装入容量瓶中, 并立即测量其电导率 EC<sub>1:5</sub>, 利用电导率计算出全盐含量。

组成银川平原草甸湿地的植物种类相对来说不是很多, 主要植物种类大部分为草本植物, 研究区所调查的植物种一共有 44 种, 隶属于 38 属, 16 科, 形成 44×57 的原始数据矩阵, 计算 44 个种的重要值, 对其进行 PCA 分析。重要值计算公式, IV=相对盖度+相对高度+相对频度/3。

## 2 结果与分析

### 2.1 草甸湿地群落的划分及样地的分布

#### 2.1.1 草甸湿地群落的划分

本次共调查植物群落 123 个, 共调查到植物 44 种, 植物种类相对来说较少, 程志等调查了银川平原沟渠湿地的植物群落, 所调查的植物种一共达到 87 种, 隶属于 31 科 71 属, 沟渠边坡上的植物随沟渠基底的上升植物分布

类型为湿生、中生和盐生植物群落<sup>[8]</sup>。本研究根据《中国植被》确定的“群落生态”分类原则,将研究区植物群落划分为 3 个植被型,8 个植被亚型,27 个群系详见如表 1。

表 1 草甸湿地群落的类型划分  
Table 1 Classification of meadow wetland community

植被型 Vegetation type	植被亚型 Vegetation subtypes	群系 Formation
典型草甸 Typical meadow	杂草类草甸	藎草+水芹群系(1)、阿尔泰狗娃花+苣荬菜群系(7)、旋覆花群系(55)、蒿蓄群系(4)、艾蒿群系(5、12)、艾蒿+长叶碱毛茛(6)、莎草+长叶碱毛茛群系(32)、节节草群系(29)、苣荬菜+鹅绒藤群系(25)
	根茎禾草草甸	芦苇群系(2、11、14、16、18、24、30、33)、拂子茅群系(3、19、22、28、45、46、53、54)、宁夏拂子茅群系(15、22)、节节草+赖草群系(24、40)、赖草+芦苇群系(26、27、37)、拂子茅+赖草群系(31、34)、拂子茅+芦苇群系(28、36、38、42、52、57)
	丛生禾草草甸	赖草群系(9、10、14、17)
低湿草甸 Humidity meadow	莎草草甸	中亚苔草群系(13)、芦苇+双柱头藎草群系(8)、芦苇+水莎草群系(56)
	禾草草甸	小芦苇草甸(20、21、23)
	杂草类草甸	鹅绒委陵菜草甸(44)、拂子茅+鹅绒委陵菜群系(51)
盐生草甸 Salt meadow	盐生小灌木草甸	盐生滨藜群系(41)、盐爪爪群系(47、48、49)
	盐生草本草甸	小芦苇群系(35、39、43、50)

注: 1~57 代表样地编号。

Note: 1-57 representative sample code.

典型草甸,分为杂类草草甸、根茎禾草草甸、丛生禾草草甸。杂草类草甸在研究区较为常见,主要分布在绿洲边缘,常见的植物主要有艾蒿(*Artemisia argyi* Levl)、旋覆花(*Jurinea, JapaneseInula, Japanese British In*)、长叶碱毛茛(*Halerpestes ruthenica* (Jacq.) Ovcz.)、节节草(*Equisetum ramosissimum*)、苣荬菜(*Sonchus brachyotus* D C.)、鹅绒藤(*Cynanchum chinense* R.Br)、双柱头藎草(*Double stigma Bulrush*)等。根茎禾草草甸在研究区所占的比例较大,大部分植物群落都属于这一类型,主要包括芦苇(*Phragmites australis*)、拂子茅(*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth)、宁夏拂子茅(*Calamagrostis ningshiaensis* D.Z.)、赖草(*Leymus secalinus* (Georgi) Tzel)等植物。芦苇,适应性广、抗逆性强,多生于低湿地或浅水中,具有发达的匍匐根状茎,是对盐分适应幅度最广的草本植物,在轻度盐化环境中常形成芦苇单一群落,而在盐化程度较高的区域则常成为群落重要的伴生种。拂子茅,多年生草本植物,具根状茎,喜生于平原绿洲,习见于水分条件良好的农田、地埂、河边及山地,土壤常轻度至中度盐渍化,是组成平原草甸和山地河谷草甸的建群种;根茎禾草草甸占的比例大主要原因可能与这类植物生态幅宽广有很大的关系。丛生禾草草甸,这类草甸主要由赖草群落构成,赖草为中旱生植物,是适应性较广的禾草,既稍喜湿润,又能耐干旱,能够适应轻度盐渍化生境,属于多年生根茎型禾草;赖草群落中,既有营养株也有生殖株,在营养株中,叶构件生物量和茎构件生物量所占总生物量比例较大,在生

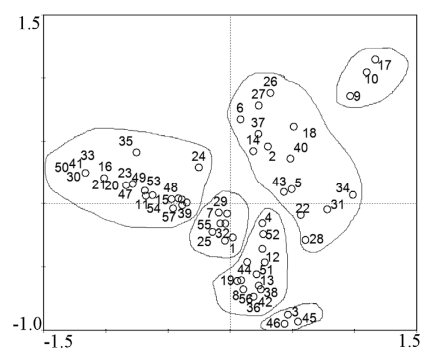
殖株中,则只有茎构件生物量占总生物量的比例最大<sup>[9]</sup>。

低湿草甸,包括莎草草甸、禾草草甸、杂草类草甸。莎草草甸主要包括水莎草(*Juncellus serotinus* (Rottb.) C.B. Clarke)、双柱头藎草、中亚苔草、芦苇等植物,主要分布在低洼潮湿的地方。水莎草,多年生草本,茎繁殖或种子繁殖,生于沼泽或比较潮湿的地区;双柱头藎草,植株矮小,具细长匍匐根状茎,生长于池沼缘或沼泽地。禾草草甸,主要由小芦苇群落组成,小芦苇是芦苇由于生境的变化使其形态特征发生了明显的变化,主要表现为植株变矮、茎秆变细,茎秆匍匐在地上,叶片变细变窄,因此称之为小芦苇。杂草类草甸,主要有鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、小芦苇、拂子茅等植物;鹅绒委陵菜,多年生匍匐草本,喜欢潮湿环境,耐寒、耐旱、耐半阴、喜阳,多生长于河滩沙地、潮湿草地、田边等。

盐生草甸,包括盐生小灌木草甸、盐生草本草甸。盐生小灌木草甸,主要有盐爪爪、白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)、盐地碱蓬等植物,白刺,属于蒺藜科、白刺属小半灌木,耐旱,但不耐阴、不耐旱涝,耐盐性很强,常生长于洪积扇缘地带、盐化沙地、湖岸边的潮湿盐土、砾石荒漠的低湿处,往往会形成盐生草甸。盐生草本草甸,主要由小芦苇群系组成,这里的小芦苇与低湿草甸的小芦苇有所不同,主要是芦苇叶尖变硬,有时呈针状,常常形成芦苇单一群落,很少有伴生种,主要原因可能是其生态环境盐渍化所致。

## 2.1.2 样地的主成分分析(principal component analysis)

为了进一步分析样点在研究区域的分布情况,将研究区植物群落特征数据进行排序,通过对本研究中植物群落数据进行 DCA 排序,结果显示 4 个排序轴的 LGA (lengths of gradient) 的最大值为 3.695,均大于 3,线性模型和非线性模型都适合本研究,因此,本研究采用 PCA 进行分析(图 3)。



注: 1~57 代表样地编号。

Note: 1-57 representative sample code.

图 3 样地的 PCA 排序图

Fig.3 PCA sort of sample

图 3 为研究区 57 个样地在坐标轴上的分布情况,由图可知,第一、二轴上主要分布的是典型草甸中的根茎禾草草甸和丛生禾草草甸,第三轴主要分布的是盐生草甸和部分根茎禾草草甸,第四轴主要分布典型草甸中的杂草类草甸以及湿生草草甸和部分根茎禾草草甸。这和传统的植被分类方法是相吻合的。



2.2 草甸土壤盐化等级的划分

2.2.1 草甸土壤盐分的统计特征

对银川平原草甸湿地的土壤样品的全盐含量进行统计，主要包括最大值、最小值、均值、标准差、峰度系数(skewness)、偏度系数(kurtosis)、以及变异系数(coefficients of variation, CV) 的统计。变异系数 CV 值反映样点分布的

离散程度， $CV<0.1$  为弱变异性； $0.1<CV<1$  为中等程度变异性； $CV>1$  为强变异性。由表 2 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，>10~20 cm 土层全盐含量的平均值为 1.94 g/kg，0~20 cm 土层的全盐含量的变异系数小于 1，属于中等程度变异。

表 2 土壤全盐含量的统计特征  
Table 2 Statistical characteristics of soil salt content

土层深度 Soil depth/cm	样地数 Sample number	分布类型 Division type	极小值 Min/(g·kg <sup>-1</sup> )	极大值 Max/(g·kg <sup>-1</sup> )	均值 Mean/(g·kg <sup>-1</sup> )	标准差 SD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 CV
0~10	57.00	偏态	0.47	18.37	4.12	3.89	1.55	2.51	0.94
10~20	56.00	偏态	0.39	8.82	1.94	1.77	1.71	3.44	0.91

2.2.2 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，根据《宁夏土壤》采用土壤表层 0~20 cm 的土壤全盐含量来划分<sup>[10]</sup>，盐碱土的认定是从剖面结构分析及盐分类型、含量等综合判定的，但是盐碱化程度的确定，主要考虑盐分的表聚性，一是全盐含量，二是盐斑大小密度。据土壤全盐量将研究区土壤分为 5 类：I、II、III、IV、V，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<sup>[11]</sup>。由表 3 可知，研究区样地土壤类型大部分为属于土壤 II 和土壤 III，所占比例达到了 53%；土壤 I 的样地所占比例不大，约占 7%；土壤 IV 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。

表 3 草甸土壤盐化等级的划分

Table 3 Salinization degree division of meadow soil

土壤盐化等级 Soil salinization degree	划分阈值 Threshold of division/(g·kg <sup>-1</sup> )	比例 Proportion/%	样地编号 Sample number
I	>10	7.02	47、48、49、50 9、15、20、22、23、24、
II	[4~10)	26.32	26、27、28、30、34、 35、36、39、41、43、 45
III	[2~4)	26.32	3、7、10、11、16、17、 18、21、29、31、38、 40、44、52
IV	[1~2)	21.05	14、15、19、32、33、 37、42、46、53、54、 56、57
V	<1	19.30	1、2、4、5、6、8、9、 12、13、25、51、55

2.3 草甸土壤盐分等级的空间分布特征

5 类土壤盐化等级在研究区的空间分布如图 4 所示，I 主要分布在银川平原的西北地区，该区盐分累积严重，表层土壤全盐含量>10 g/kg，II 主要分布在研究区东北部至中部，属于盐分累积比较严重的区域，造成这 2 个区域土壤盐分含量偏高的主要原因是该区域属于引黄灌渠的下游，天然的地势低洼，外部排水困难，造成地下水位偏高<sup>[12]</sup>。其次，可能是受唐徕渠、惠农渠、昌润渠的影响，其中，唐徕渠对该区的盐分累积作用最为突出，可能与其历史悠久，冲积史长，地势低平有关；第三，银川平原是

一断陷盆地型的沉积平原，I、II 区位于其沉降中心及边缘，这也可能是造成该区盐分累积严重的一个重要因素。III 主要分布在银川平原中部，银川平原中部地势较高，具有良好的配水利用效果，并且近年来正在进行脱盐处理<sup>[12]</sup>，因此，在此区域的盐分累积相对于 I 和 II 较低。另一方面，由于西干渠及唐徕渠的中段流经该区域，因此其由于流水冲积沉积盐分效应相对较低，并且西干渠相对来说开发较晚，冲积史短，这也影响了该区域盐分的累积，IV、V 主要分布在银川平原南部，是银川地区主要河流如唐徕渠和汉渠的渠首，处在银川平原河西灌区的渠首地段，地势相对高亢，水流较急，很难发生盐分沉降现象，因此，该区盐分累积较少。

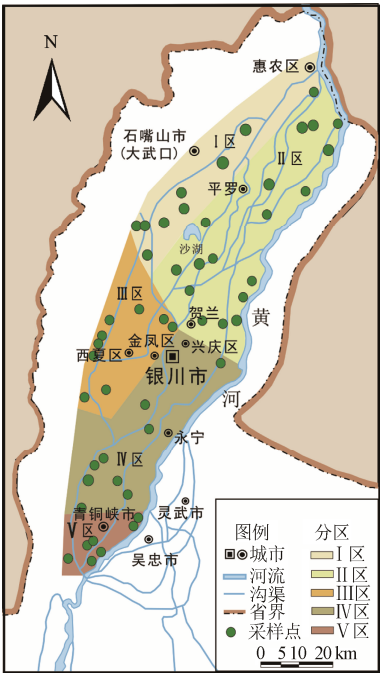


图 4 不同土壤盐化等级的空间分布特征  
Fig.4 Spatial distribution characteristics of different soil salinization degree

2.4 不同草甸类型的土壤盐分累积效应

如图 5 所示，不同草甸类型的盐分累积效应表现为盐生草甸>典型草甸>低湿草甸，盐生草甸的土壤表层全盐含量最高，平均值达到了 10.49 g/kg，其次是典型草甸，土壤全盐含量平均值为 3.14 g/kg，土壤盐分累积最

轻的是低湿草甸, 土壤表层全盐含量平均值为  $1.8 \text{ g/kg}$ 。盐生草甸在本研究中是全盐含量  $>10 \text{ g/kg}$  的区域, 该区主要集中分布在银川平原的北部, 即前文中的 I 区及部分 II 区, 是整个银川平原的沉降中心, 地势较低, 所以盐分含量最高; 典型草甸在本研究中的土壤表层全盐含量平均值为  $3.14 \text{ g/kg}$  的区域, 集中分布在银川平原的中部, 即是本文中部分 II 区及 III、IV 区, 相对于 I 来讲, 盐分含量较低, 生境条件较优; 主要分布在河漫滩、洼地、渠边等低湿地段, 处在半干旱区条件下的典型草甸, 在降雨量不变的条件下, 草甸的出现与地下水有着直接的关系<sup>[5]</sup>, 因此, 该区的盐分积累主要是该区地下水位达到了盐分积累的临界值 (一般为  $1.8 \sim 2 \text{ m}$ )。低湿草甸, 主要集中分布在银川平原南部, 即本研究中的 V 区, 生境条件多为地势低洼、通气不良、排水不畅的生境, 地表常有积水或季节性积水常有泥炭层或半泥炭化有机质层形成<sup>[5]</sup>。虽然该区的生境条件很容易发生盐分在地表累积, 但由于地表具有积水或季节性积水, 遵循盐随水来, 盐随水去的规律, 盐分就不会在土壤中累积, 因此, 低湿草甸的盐分累积最轻。

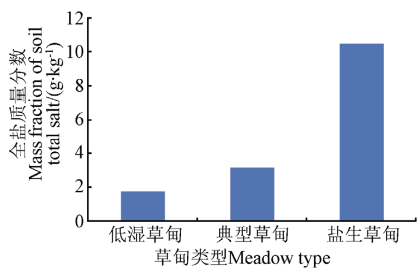


图5 不同草甸类型的盐分累积效应

Fig.5 Different meadow types of the cumulative effect of salt

## 2.5 不同微地形影响下的土壤盐分累积效应

由图 6 可知, 不同地形下的土壤全盐含量表现为干湖滩  $>$  洪泛平原  $>$  堤外滩地  $>$  湿湖滩  $>$  渠边沙滩。

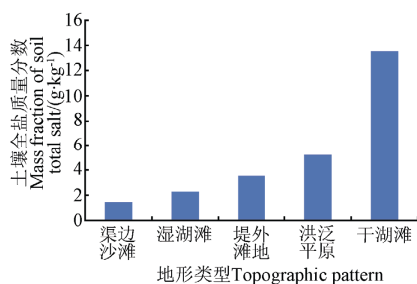


图6 不同微地形下的土壤全盐含量

Fig.6 Soil total salt content under different micotopography

本研究中的干湖滩土壤盐分含量极高, 平均达到  $13.58 \text{ g/kg}$ , 其地下水位介于  $1 \sim 2 \text{ m}$  之间, 是极易发生盐分累积的区域; 洪泛平原属于季节性淹水区域, 土壤全盐含量为  $5.26 \text{ g/kg}$ , 属于盐分累积比较严重的区域; 渠边沙滩和湿湖滩由于靠近渠或湖的边缘, 地下水位较高, 大约在  $0 \sim 1 \text{ m}$  之间, 因此盐分累积相对来说比较轻。

## 3 讨论

国内外学者对银川平原盐分空间分布格局进行了大

量的研究<sup>[12-14]</sup>, 并且大部分集中进行盐渍化的研究, 韩双平等认为, 银北平原的种植区土壤盐运移规律呈灌溉-蒸发型, 荒地呈降水-蒸发型<sup>[15]</sup>; 本论文在前人研究的基础上进行深入探索, 结果显示, 盐分累积严重区域主要分布在银川平原的北部地区, 土壤全盐含量大于  $4 \text{ g/kg}$  的区域主要分布在贺兰以北, 平罗惠农区一带, 土壤全盐含量小于  $4 \text{ g/kg}$  的区域分布在银川平原中部, 土壤全盐含量小于  $1 \text{ g/kg}$  的区域主要分布在银川平原南部青铜峡灌区, 这与张源沛等<sup>[13]</sup>的研究结果基本一致, 但有所差异, 本研究中银川平原中部土壤含盐量要比其研究的偏高, 主要原因可能是由于草甸湿地土壤是隐域性土壤类型, 主要处在渠边, 湖边及黄河边上, 李重阳等<sup>[14]</sup>研究认为, 盐渍土的分布特征主要有 3 个, 一是紧邻黄河, 二是多邻排水渠, 三是湖泊、洼地周围多见; 所以沟渠、湖泊、黄河边上的盐分累积应该更严重<sup>[13]</sup>。本论文选取草甸湿地为研究对象, 来研究其盐分的累积情况, 以期能够为草甸湿地的盐分改善提供理论指导, 并且对于草甸湿地生态功能、景观功能、经济效益的最大发挥有着十分重要的意义。

不同的草甸类型随着土壤盐分梯度的变化具有明显的分布规律, 自南向北依次为低湿草甸-典型草甸-盐生草甸, 低湿草甸由于是土壤盐分含量较轻的区域, 该区域土壤条件较好, 植被生长较好, 可以对该区域的植被及土壤进行开发利用。典型草甸在研究区中所占区域面积较大, 土壤盐分含量累积处于中等水平, 植被种类较多, 生长较好, 主要以芦苇、拂子茅、赖草占绝对优势, 说明芦苇、拂子茅、赖草适宜生长在土壤盐分适中的条件下, 具有一定的耐盐性, 因此, 对于该区域的土壤、植被可以适度进行利用, 可适当进行放牧, 既增加了经济效益, 也对土地资源进行了维护, 但切不可过度, 过度使用很容易造成土壤盐化的发生。盐生草甸在研究区属于盐分累积严重的区域, 其植被生长稀疏, 盖度较小, 主要为盐爪爪、盐地碱蓬、小芦苇等, 这几种植物都为极其耐盐的植物, 盐爪爪、盐地碱蓬为多肉多汁植物, 具有较强的吸盐能力, 小芦苇也是一种极为耐盐的植物, 经研究发现芦苇在海水浓度 ( $2.4\%$ ) 下仍能正常生长<sup>[16]</sup>, 并且, 芦苇、盐地碱蓬还可以作为牧草进行使用, 盐地碱蓬具有中等营养价值牧草的相似成分<sup>[17]</sup>, 因此, 可以考虑在该区域增加此几种植物的种植面积, 这样既改善了该区土壤盐化的问题, 解决该区一直以来土地利用强度弱<sup>[18]</sup>的问题, 也能带来一定的经济效益。

不同微地形下的土壤全盐含量表现为干湖滩  $>$  洪泛平原  $>$  堤外滩地  $>$  湿湖滩  $>$  渠边沙滩, 微地形条件对于草甸土壤盐分的累积有重要影响, 但区域盐分的累积对地形同时会产生反作用, 无论是干湖滩还是洪泛平原现在都属于湿地范畴, 随着盐分累积的加重, 若干年后, 该区由于受盐分的影响, 土壤质地遭到破坏, 植被覆盖度下降, 将向荒地演化, 最终将完全丧失湿地生态系统的功能。为了避免这种状况的发生, 对银川平原北部盐分富集严重的草甸湿地应该给予重视, 可以采取分区治理的



方法, 并重点采用生物改良措施, 在干湖区种植适宜生长的耐盐植物芦苇、盐爪爪、怪柳等。

近年来, 对土壤盐分累积的影响的研究较多, Cemek 等认为土壤盐分的空间差异性的主要影响因素有地下水位、灌溉系统、排水、微地形等<sup>[19]</sup>。杨奇勇等的研究表明, 土壤盐分含量的分布特征与地形地貌、河流分布有关<sup>[20]</sup>; 王海江研究了冲洪积扇中部、冲积洪积扇缘、冲积平原中部、冲积平原的下部以及干三角洲这几种地貌类型下土壤盐分的差异, 结果发现, 地貌是影响盐分累积的主要因素之一, 不同地貌类型的土壤盐分垂直分布、盐分累积强度和集聚特征都表现出显著差异<sup>[21]</sup>。因此, 地形地貌对盐分累积的影响很大, 地形地貌对地下径流有控制作用, 对土壤水盐的运移、淋滤、累积起决定作用<sup>[22]</sup>。因此, 盐化的发生总是出现在特定的地形地貌中, 本研究中的干湖滩由于地面常年无水, 加上研究区降雨量稀少, 盐分的累积主要受地下水位的影响, 该区由于地势低洼, 地下水位高, 在强蒸发的条件下, 地下水中的可溶性盐(如氯化物)随着水分的蒸发累积在该区土壤表面, 日积月累, 造成盐分累积越来越严重, 由此可知, 地下水位的变化对盐分累积的影响很大, 刘永泉等比较了艾比湖 2000-2005 年间该区域的地下水位变化对盐渍化的影响, 结果认为地下水位急剧的波动会导致盐渍化程度的加重, 只有较为稳定的地下水位才能减轻盐分累积造成的影响<sup>[23]</sup>。洪泛平原由于属于季节性淹水的区域, 在淹水季节, 盐分会随着水分下渗, 因此, 该区盐分累积比干湖滩轻。由此可知, 地下水位的变化对盐分累积的影响很大。渠边湖滩和湿湖滩以及堤外滩地在地势上要高于干湖滩和洪泛平原, 盐分随着地下水的流动, 主要汇集在地势低洼区域, 在渠边湖滩、湿湖滩及堤外滩地的只有少部分盐分富集, 属于轻度累积区。

#### 4 结 论

根据植物群落特征将研究区植物群落划分为 3 个植被型, 8 个植被亚型, 27 个群系。据土壤全盐量将研究区土壤分为 5 类: I、II、III、IV、V,  $I > II > III > IV > V$ 。银川平原草甸湿地土壤盐分呈自南向北逐渐增加的空间变化; 不同的草甸类型随着土壤盐分梯度的变化具有明显的分布规律, 自南向北依次为低湿草甸-典型草甸-盐生草甸, 低湿草甸由于是土壤盐分含量较轻的区域。不同微地形下的土壤全盐含量表现为干湖滩>洪泛平原>堤外滩地>湿湖滩>渠边沙滩, 微地形条件对于草甸土壤盐分的累积有重要影响。

本研究选取草甸湿地为研究对象, 来研究其盐分的累积情况, 以期能够为草甸湿地的盐分改善提供理论指导, 并且对于草甸湿地生态功能、景观功能、经济效益的最大发挥有着十分重要的意义。目前银川平原地区大规模的湿地恢复工程背后, 隐藏着湖滨带土地盐渍化的风险, 如果没有很好的人工补灌和有效排水使盐分淋溶排出, 湖滨带自然恢复的草甸植被必然是盐生草甸或盐生灌丛。人工建植的湖滨带植被, 也由于土壤盐分积累而存在逐渐退化问题。

#### [参 考 文 献]

- [1] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望[J]. 地球科学进展, 2002(4): 508—514.  
Yang Yongxing. New knowledge on the progress of international wetland science research and priority field and prospect of Chinese wetland science research[J]. Advances in Earth Science, 2002(4): 508—514. (in Chinese with English abstract)
- [2] 殷书柏, 李冰, 沈方. 湿地定义研究进展[J]. 湿地科学, 2014(4): 504—514.  
Yin Shubai, Li Bing, Shen Fang. Review on studies of wetland definition[J]. Wetland Science, 2014(4): 504—514. (in Chinese with English abstract)
- [3] Neumann P. Salinity resistance and plant growth revisite[J]. Plant, Cell and Environment, 1997, 20: 1193—1198.
- [4] 陆建建. 湿地生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 魏绍成, 杨国庆. 草甸的分布和形成途径及草甸水分状况的分析[J]. 草业科学, 1997(6): 2—6.  
Wei Shaocheng, Yang Guoqing. Distribution and forming pathway of the meadow and analysis on its water condition[J]. Pratacultrual Science, 1997(6): 2—6. (in Chinese with English abstract)
- [6] 史晓霞, 李京, 陈云浩, 等. 基于 CA 模型的土壤盐渍化时空演变模拟与预测[J]. 农业工程学报, 2007, 1(1): 6—12.  
Shi Xiaoxia, Li Jing, Chen Yunhao, et al. Simulation and prediction of the spatial-temporal evolution of soil-salinization based on Cellular Automata(CA) model[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2007, 1(1): 6—12. (in Chinese with English abstract)
- [7] 霍庭秀, 张亚彤, 杨峰. 黄河宁夏灌区引退水及其水质概况[J]. 内蒙古水利, 2004(1): 77—80.  
Huo Tingxiu, Zhang Yatong, Yang Feng. The Study of Water diversion and water-break stand and water quality situation in Ningxia and Inner Mongolia of the Yellow River irrigation area[J]. Inner Mongolia Water Conservancy, 2004(1): 77—80. (in Chinese with English abstract)
- [8] 程志, 何彤慧, 郭亮华, 等. 银川平原沟渠湿地高等植物群落结构初步研究[J]. 农业科学研究, 2010(3): 40—43.  
Chen Zhi, He Tonghui, Guo Lianghua, et al. Preliminary research of the structure of higher plant community in the wet land of ditches and canals on Yinchuan Plain[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2010(3): 40—43. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张娟红. 银川平原 6 种禾草的繁殖构件生态学研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.  
Zhang Juanhong. Ecology Research on Reproductive Modul of Six Species of Dogstails in Yinchuan plain[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [10] 王吉智. 宁夏土壤[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1990: 145—166.
- [11] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [12] 王奇, 谷传申, 董彦旭. 银川平原土壤盐分及盐渍土空间分布研究[J]. 北京农业, 2014(18): 277.  
Wang Qi, Gu Chuanshen, Dong Yanxu. The spatial distribution of soil salt and saline soil in the Yinchuan plain[J]. Beijing Agriculture, 2014(18): 277. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张源沛, 胡克林, 李保国, 等. 银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J]. 农业工程学报, 2009(7): 19—24.  
Zhang Yuanpei, Hu Kelin, Li Baoguo, et al. Spatial distribution pattern of soil salinity and saline soil in Yinchuan plain of China[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transaction of the CSAE), 2009(7): 19—24. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李重阳, 宋豫秦. 宁夏银北灌区土壤盐渍化时空分布特征[J]. 人民黄河, 2014, 36(8): 134—136, 140.  
Li Chongyang, Song Yuqin. Spatial-temporal distribution characteristics of soil salinization in northern Yinchuan plain of Ningxia[J]. Yellow River, 2014, 36(8): 134—136, 140. (in Chinese with English abstract)
- [15] 韩双平, 荆继红, 孙继朝, 等. 银川北部平原土壤水分运动状态类型及水盐运移机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2005(增刊 1): 148—152.

- Han Shuangping, Jing Jihong, Sun Jizhao, et al. Analyses of moisture movement types and movement mechanism of moisture and salinity at soil section[J]. Journal of Agro-environment Science, 2005(Suppl.1): 148–152. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张爽, 郭成久, 苏芳莉, 等. 不同盐度水灌溉对芦苇生长的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2008(1): 65–68.
- Zhang Shuang, Guo Chengjiu, Su Fangli, et al. Effect of Salinity on the Growth of Reed[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2008(1): 65–68. (in Chinese with English abstract)
- [17] 贾恢先, 赵曼容. 西北盐生草甸上几种主要牧草的化学成份分析[J]. 中国草原, 1988(3): 57–60.
- Jia Huixian, Zhao Manrong. Analysis of chemical compositions of some main species of herbages in northwest salt meadow[J]. Chinese Journal of Grassland, 1988(3): 57–60. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘欢, 张荣群, 郝晋民, 等. 基于半方差函数的银川平原土地利用强度图谱分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 225–231.
- Liu Huan, Zhang Rongqun, Hao Jinmin, et al. Tuptu analysis of land use intensity using semi-variance in Yinchuan Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2012, 28(23): 225–231. (in Chinese with English abstract)
- [19] Cemek B, Güler M, Kiliç K, Al. E. Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Bafra plain in northern[J]. Turkey Environmental Monitoring Assessment, 2007, 124(1/3): 223–234.
- [20] 杨奇勇, 杨劲松, 李晓明. 不同阈值下土壤盐分的空间变异特征研究[J]. 土壤学报, 2011(6): 1109–1115.
- Yang Qiyong, Yang Jinsong, Li Xiaoming. Spatial variability of soil salinity research under different thresholds[J]. Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(6): 1109–1115. (in Chinese with English abstract)
- [21] 王海江. 玛纳斯河流域土壤盐渍化过程和格局特征及盐渍土改良模式探讨[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- Wang Haijiang. Processes, Patterns Reclamation of Soil Salinization at Manas River Basin, Xinjiang, China[D]. China Agricultural University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [22] 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, 2007.
- Ma Zhe. Research on the Influence Factors of the Transfer of Water and Salt of the Low Plain in Western Jilin Province[D]. Jilin University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [23] 刘永泉, 王晓峰, 吴颜. 艾比湖水位变化对湖滨湿地盐渍化的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010(6): 108–111.
- Liu Yongquan, Wang Xiaofeng, Wu Yan. Research on the water level change effect on the salinity of everglade around Ebinur Lake[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010(6): 108–111. (in Chinese with English abstract)

## Salt accumulation characteristics of topsoil in meadow wetland in Yinchuan plain

Xia Guiju<sup>1</sup>, He Tonghui<sup>1\*</sup>, Yu Ji<sup>1</sup>, Wu Chunyan<sup>1</sup>, Zhao Yongquan<sup>2</sup>

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

**Abstract:** Belonging to typical oasis wetlands in China, the wetland of Yinchuan not only is the barrier of biodiversity, but also plays a crucial role in environmental regulation and productive improvement. Unfortunately, it is prone to salt accumulation in the wetland. Therefore, it will be of great significance for having a good knowledge on the impact of the process of water and salt migration on wetland ecosystem to find out the spatial accumulation characteristics of soil salinity in the meadow wetlands in Yinchuan Plain. This paper uses the field survey and laboratory analysis methods to research the distribution of vegetation, the classification of soil salinization and the situation of salt accumulation in the meadow wetlands in Yinchuan Plain. In this study, we set up 57 experimental plots with 123 points, and the plant communities in the study area are divided into 3 vegetation types, 8 vegetation subtypes and 27 formations according to the traditional classification. A total of 44 species of plants are investigated, which is a relatively small number; according to the investigation results on the plant communities in ditch wetland in the Yinchuan Plain by Cheng Zhi, the investigated plants reached a total of 87 species, belonging to 31 families and 71 genera, and the plants along ditch slope were divided into hygrophyte, mesophyte and halophyte with plants in ditch base. On the basis of the soil surface salinity (0–20 cm), the soil in the study area is divided into 5 grades: I, II, III, IV and V, and the corresponding salt contents are  $\geq 10$ , [4–10], [2–4], [1–2] and  $< 1$  g/kg, respectively. The results show that soil salt content increases from south to north in the meadow wetlands in Yinchuan Plain. Salinity of different kinds of vegetation meadows is in a descending order as follows: salty vegetation, typical meadow and wet meadow. And Salinity in different topographical meadows is dry lake beach > floodplain > lake beach outside river levee > wet lake beach > sand beach. Buried depth of groundwater and salt-water cycle process are the decisive factors of salt distribution characteristics. Behind the large-scale wetland restoration in Yinchuan Plain, there is a hidden risk of land salinization in the lakeside zone, and if there is no good artificial recharge of irrigation and drainage vent of salt leaching, the natural restoration vegetation in lakeside meadow will be salt meadow or salt shrub. The vegetations artificially planted also have the problems of the accumulation and degradation of soil salinity. The study on the spatial accumulation characteristics of soil salinity in the meadow wetlands of Yinchuan Plain were found out is helpful to understand the biogeochemical cycle, source and sink effect in wetland ecosystem, reveal the salt accumulation effect and its distribution characteristics in the process of wetland development in Yinchuan Plain, and further understand the effect of water and salt migration process of wetland ecosystem in Yinchuan Plain. The results provide the scientific guidance to the lakeside and bank afforestation and ecological construction and to wetland comprehensive utilization, especially wetland grassland construction.

**Keywords:** salts; wetlands; soils; Yinchuan Plain