

银川平原沟渠边坡土壤理化性状空间分异特征

乔斌,何彤慧,吴春燕,苏芝屯

(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,西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地,宁夏 银川 750021)

摘要: 基于银川平原沟渠边坡植物群落的生态序列更替,在沟渠边坡从堤坝顶部到坡底设置了A区、B区和C区3个样区,通过野外调查采样、实验室分析,结合经典统计学方法,对沟渠边坡土壤含水量、全盐、pH值、有机碳(SOC)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)等的空间分布特征及其与植被的相互反馈机制进行了探究。结果表明:银川平原沟渠边坡土壤理化性状具有明显的空间异质性;A区、B区、C区的土壤含水量依次呈现递增变化规律;A区、B区、C区的pH值分别介于8.18~10.37、8.29~9.79、8.08~9.75之间,盐碱化程度较高;土壤全盐表聚效应显著,其中以B区0~10 cm土层富集效应最显著($P < 0.05$),形成了明显的“盐带”;SOC、AN、AP分别在B区的0~30、0~30、0~10 cm土层富集效应显著($P < 0.05$),形成了明显的“肥区”。土壤理化性状间的相互作用直接或间接地影响了土壤理化性状的空间差异,其中,土壤含水量的变化是植物群落更替效应的本源,进而影响了土壤理化性状。土壤资源的空间异质性和植物群落的生态序列梯度相伴而生、相互制约,共同维护着银川平原沟渠湿地的植物多样性和绿洲生态系统的稳定。

关键词: 沟渠边坡;植物群落;土壤理化性状;空间异质性;银川平原

中图分类号: S153 **文献标志码:** A

Spatial characteristics of soil physicochemical properties on ditch slope in the Yinchuan Plain

QIAO Bin, HE Tong-hui, WU Chun-yan, SU Zhi-tun

(Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem, Ministry of Education/Breeding Base of State Key Laboratory for Preventing Land Degradation and Ecological Restoration, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The ditch is an important water conservancy establishment in Ningxia Yellow River Irrigation Region, with irrigation and drainage function as well as ecological functions. In this study, we set sample area A, B and C from the top to the bottom of the slope in the ditch slope. We carried on the preliminary exploration to the spatial distribution of the ditch slope soil water content, total salt, pH, soil organic carbon (SOC), available nitrogen (AN), available phosphorus (AP) and the mutual feedback mechanism and vegetation by field sampling and laboratory analysis, based on ecological sequence change of plant community on ditch slope, combined with classical statistical methods. The main conclusions are as follows: Indicators of soil physical and chemical properties of soil in Yinchuan plain on ditch slope has obvious spatial heterogeneity. Soil water content showed an increasing variation from sample area A to C. Soil pH of A, B, and C ranged between 8.18~10.37, 8.29~9.79 and 8.08~9.75, respectively, reflecting a high degree of salinity. Soil total salt was obviously accumulated on surface with 0~10 cm of sample area B showing a clear “salt zone”. SOC, AN and AP was mostly accumulated at 0~30, 0~30, 0~10 cm of sample area B. Interaction between the physical and chemical properties of soil directly or indirectly led to the spatial differences in soil characteristics. The change of soil water content resulted in the replacement effect of plant communities, affecting the physical and chemical properties of the soil. The spatial heterogeneity of soil resources and ecological gradient sequence of plant communities are interdependent, jointly maintaining the plant diversity and the stability of the oasis ecosystem of Yinchuan plain.

Keywords: ditch slope; plant community; soil physicochemical properties; spatial heterogeneity; Yinchuan plain

收稿日期:2016-08-05 修回日期:2016-10-28

基金项目:国家自然科学基金项目(41361095)

作者简介:乔斌(1988—),男,甘肃天水人,硕士研究生,主要从事植物生态和湿地恢复生态方面的研究。E-mail:8807qiaobin@163.com。

通信作者:何彤慧(1964—),女,江苏南京人,教授,博士,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。E-mail:hetonghui@163.com。

沟渠是以排水(沟道)和灌溉(渠道)为主要目的的人工水道^[1],具有河流和湿地特征的独特工程化生态系统^[2]。作为绿洲区常见的景观要素,在农田水利工程中发挥着核心作用,是农田生态系统重要的廊道^[3]。其在区域综合开发中的重要性不仅体现在农田灌溉方面,还体现在维持植物物种多样性^[4]和区域生物多样性保护方面^[5-6]。近年来宁夏引黄灌区沟渠在维持绿洲生态系统的稳定和保护物种多样性中发挥的生态功能逐渐被人们所认知。已有的报道揭示了沟渠边坡植物多样性显著,在完整的生态序列沟渠断面中,植物群落自下而上形成了水生—湿生—中生—旱生的更替,水分、土壤养分是影响沟渠植物分布的主要因子^[1,7-11]。理论上讲,植物群落生态序列的出现是植物与气候、土壤、地形等生态环境综合体长期适应和协同进化的结果。土壤资源的空间异质性是造成植被空间分布差异的主要原因,对植物群落结构有重要影响^[12]。植物与土壤之间发生着频繁的物质交换。因此,沟渠边坡土壤理化性状是否也存在“梯度效应”?土壤理化性状的空间分布如何?植物群落的生态序列梯度和土壤理化性状存在何种反馈机制?这些科学问题还没有做出精准回答。本文则基于银川平原沟渠边坡植物群落存在梯度效应的科学研究,通过对沟渠边坡土壤性状的空间分异特征进行探究分析,以期为指导宁夏引黄灌区水利工程建设、认知沟渠湿地生态环境效应、充实生态化学计量学理论等提供科学依据和理论参考。

1 银川平原及沟渠概况

银川平原是在新生代断陷盆地基础上发育的堆积平原^[13],地处温带干旱地区,属典型的中温带大陆性气候,年平均气温在 8℃~9℃之间,年降水量在 200 mm 左右。银川平原深居西北内陆,干旱少雨、蒸发强烈、气候干燥,但便于引黄灌溉,通过沟渠引排的黄河水占到地区总水量的 80% 以上^[9]。自秦汉以来,银川平原就开始了自流灌溉绿洲开发,2000 多年来基本上呈连续态势,形成了沟渠纵横交错的独特景观格局。在渠道中,从黄河直接引水的渠道为干渠,从干渠引水的渠道为支渠,从支渠引水的渠道为斗渠,农渠或毛渠为接入农田的渠道。在沟道中,直接排水入黄河的沟道是干沟,排水入干沟的沟道为支沟,排水入支沟的沟道为斗沟。此外,从贺兰山洪积扇向黄河冲积平原导引洪水的沟道为泄洪沟,一般接入干沟。目前,银川平原有干渠及以上等级的渠道 18 条,总长 1 200 多 km,总引水流量 610 m³·s⁻¹,灌溉总面积为 33 × 10⁴ hm²;有骨干排水沟道 24 条,总长 660 km,排水控制面积 4.2 × 10⁴ hm²,总

排水能力达 955 m³·s⁻¹^[14-15]。完善的灌排网络,加之光、热、水、土等农业自然资源配合较好,农林牧业在银川平原得到了良好发展。

2 研究方法

2.1 样品采集与测定

根据植物群落的生态序列梯度选择银川平原具有代表性的灌渠和排水沟布点。重点沟渠有唐徕渠、汉延渠、惠农渠、第一排水沟、第三排水沟、永二干沟、高家闸泄洪沟、桑园沟等,对这些沟渠从上段、中段和下段分别选取断面。采用断面法采样,具体操作是从沟渠一侧的堤坝顶部沿剖面方向至另一侧的堤坝顶部,按照生态序列在断面上布点,依次选取 A 区、B 区和 C 区 3 个样区,A 区、B 区、C 区分别为旱生植物群落、中生植物群落、湿生植物群落(图 1)。在各样区用土钻分别取 0~10、10~20、20~30、30~40 cm 共 4 个土层的土壤(植物根系大部分分布在 30 cm 以上的土壤中)。取土样时将同一层土样混匀后装入自封袋中带回实验室,每层 3 个重复。同时用铝盒盛装土样带回实验室,用烘干法测土壤水分含量。用 pH 计测土壤 pH 值,用电导率仪测土壤全盐含量,用 K₂Cr₂O₇-H₂SO₄ 外加热法测土壤有机碳含量,用 NaOH-H₃BO₃ 法测土壤碱解氮含量,用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量^[16]。

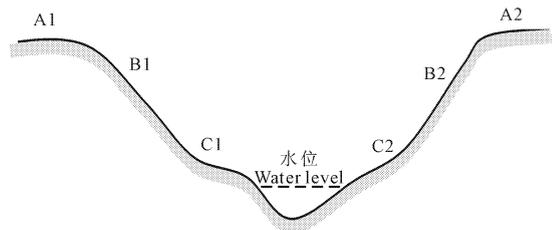


图 1 采样断面样点布置示意

Fig. 1 Sectional schematic arrangement of sampling points

2.2 数据处理

利用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件对数据进行分析,其中各土壤指标的空间分布用 Excel 2007 软件绘图,各土壤指标特征值的差异性检验用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差法(least-significant difference, LSD)分析,土壤指标的相关性用皮尔逊(Pearson)相关系数法来判定。

3 结果与分析

3.1 沟渠边坡土壤理化性状空间特征

由图 2(a)所示,A 区、B 区、C 区土壤含水量随土层加深同层含水量差异减小,在 30~40 cm 土层含水量趋于接近,同土层中含水量均呈现 C 区 > B

区 > A 区;各区土壤含水量均呈现先增加后减少趋势,同区各土层含水量 C 区差异最大,A 区最小,各区含水量均在 20~30 cm 土层最高。土壤全盐同层基本表现为 B 区 > A 区 > C 区,局部出现波动,随着土层加深同层全盐 A 区和 C 区趋于接近;各区土壤全盐均表现为先迅速降低,后基本不变趋势,各区最大全盐均出现在 0~10 cm,B 区各土层普遍高于 A 区、C 区各土层,在 B 区形成了明显的“盐带”(图 2b)。土壤 pH 值同层表征不一致,具体来说,在 0~10 cm 土层 pH 值表现为 C 区 > A 区 > B 区,在 10 cm 以下土层 pH 值为 A 区 > C 区 > B 区;各区土壤 pH 值表现各异,A 区表现出先迅速增大后再减小趋势,最高值出现在 20~30 cm 土层,B 区表现为先增大后基本维持不变,最低值出现在 0~10 cm,C 区表现

出先减小后基本趋于不变,最高值出现在 0~10 cm 土层(图 2c)。土壤 SOC 和 AN 空间分布规律表现基本一致。具体来说,各土层土壤 SOC 和 AN 均是 B 区最高,A 区和 C 区次之,且相互交替,A 区和 C 区的 SOC 在 10 cm 以下土层差别不大,AN 则是各土层差别均不明显;各区 SOC 和 AN 均呈现波动下降趋势,各区其含量均在 0~10 cm 土层表现出最高值,最低值则是 A 区出现在 20~30 cm,B 区和 C 区出现在 30~40 cm(图 2d、图 2e)。土壤 AP 各层表现各异,在 0~10、10~20 cm 土层均是 A 区最大,B 区、C 区基本一致,20~30 cm 土层是 C 区 > B 区 > A 区,30~40 cm 土层是 B 区 > C 区 > A 区;AP 在各区也呈现明显不同,A 区和 B 区均是先减小后增大,不同的是 A 区最高值出现在 10~20 cm 土层,B 区最高

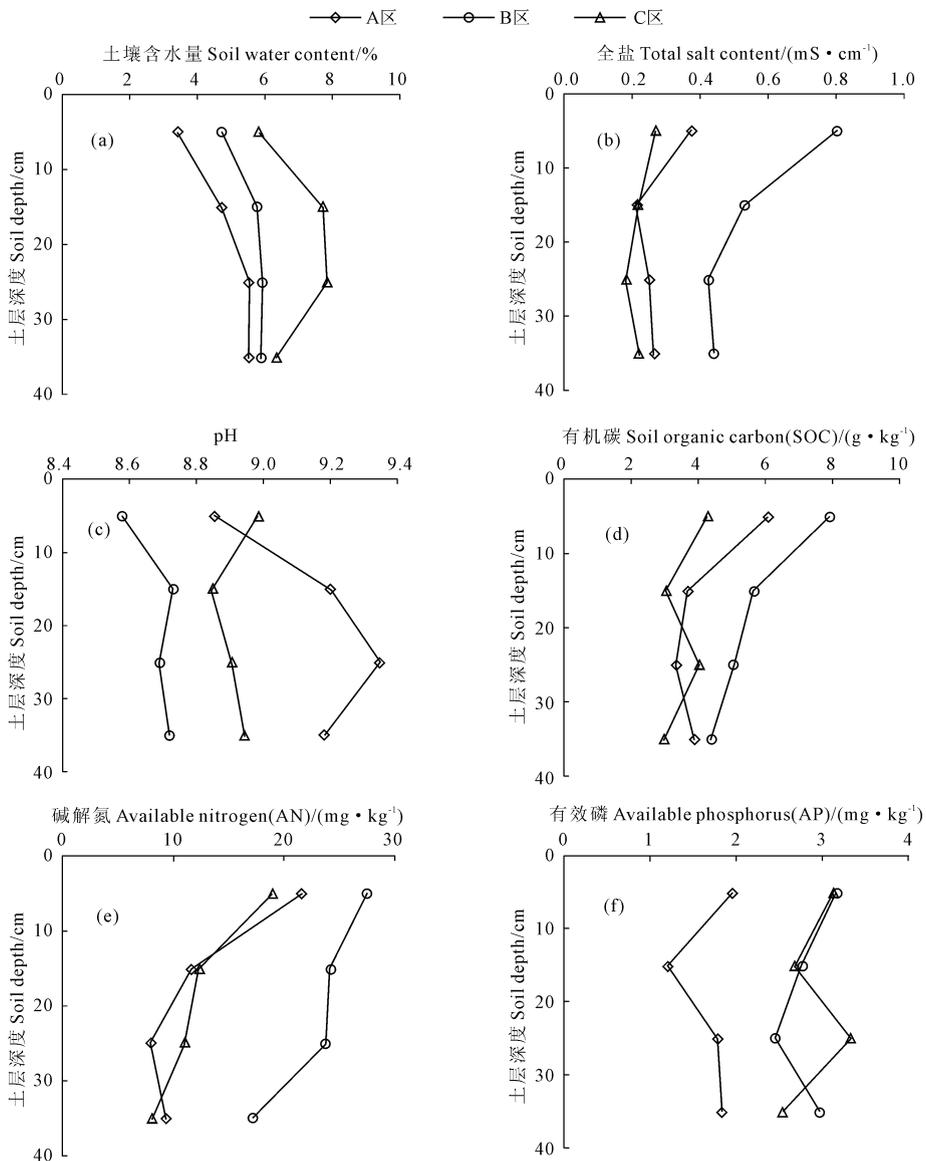


图 2 沟渠边坡土壤理化性状空间分布

Fig.2 The spatial distribution of soil physical and chemical properties on ditch slope

值出现在 20~30 cm 土层, C 区是 0~10 cm 和 20~30 cm 土层土壤 AP 含量接近, 10~20 cm 和 30~40 cm 土层土壤 AP 含量接近(图 2f)。

3.2 沟渠边坡土壤理化性状特征值分析

由表 1 可知, 沟渠边坡各区的土壤理化性状明显不同。具体来说, A 区、B 区、C 区土壤含水量呈现逐渐增加趋势, 但差异并不显著; 全盐 B 区与 A 区、C 区差异显著, 表现为 B 区 > A 区 > C 区; pH 值各区之间均差异显著, 变现为 A 区 > C 区 > B 区; SOC、AN 差异表现一致, 均是 B 区与 A 区、C 区差异显著, A 区和 C 区之间差异不显著; AP 表现为 B 区、C 区与 A 区差异显著。总体来说, 在沟渠边坡 B 区土壤全盐、SOC、AN、AP 表现出明显的富集效应, 出现了“盐带”和“肥区”。

表 1 沟渠边坡土壤理化性状特征值

Table 1 The eigenvalue of soil physical and chemical properties on ditch slope

项目 Items	区 Area			土层 Soil depth/cm			
	A	B	C	0~10	10~20	20~30	30~40
含水量 Water content	4.87 ± 0.66a	5.33 ± 0.60a	6.23 ± 0.82a	4.38 ± 0.83a	5.19 ± 0.86a	6.52 ± 0.95a	5.85 ± 0.68a
全盐 Salt content	0.27 ± 0.04b	0.57 ± 0.07a	0.22 ± 0.02b	0.49 ± 0.09a	0.34 ± 0.05ab	0.28 ± 0.04b	0.31 ± 0.04b
pH	9.15 ± 0.06a	8.68 ± 0.07c	8.92 ± 0.07b	8.81 ± 0.06a	8.89 ± 0.07a	8.96 ± 0.06a	8.93 ± 0.06a
有机碳 Soil organic carbon(SOC)	4.26 ± 0.45b	5.80 ± 0.55a	3.58 ± 0.41b	6.08 ± 0.68a	4.19 ± 0.53b	4.19 ± 0.51bc	3.71 ± 0.47bcd
碱解氮 Available nitrogen(AN)	12.62 ± 1.68b	23.54 ± 2.23a	13.23 ± 2.01b	22.71 ± 2.76a	16.61 ± 2.80ab	14.53 ± 2.54b	11.54 ± 1.89b
有效磷 Available phosphorus(AP)	1.71 ± 0.17b	2.84 ± 0.20a	2.91 ± 0.23a	2.82 ± 0.23a	2.36 ± 0.23a	2.60 ± 0.34a	2.49 ± 0.21a

注: 同行不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: different lowercase letters represent significant differences counterparts ($P < 0.05$).

3.3 沟渠边坡分层分区土壤理化性状特征值分析

由表 2 可知, 同层各区和同区各层土壤理化性质差异各异。其中, 土壤含水量在同层各区和同区各层差异均不显著。全盐同层差异不一致, 在 B 区的 0~10、10~20 cm 土层出现全盐聚集, 与 A 区、C 区差异显著, 在 20~30、30~40 cm 土层也是 B 区全盐最大, 但与 A 区差异不显著, 与 C 区差异显著。B 区表层与下层差异显著, A 区、C 区各土层差异均不显著, B 区各土层普遍高于 A 区、C 区各土层, 在 B 区形成了明显的“盐带”; pH 值在 0~10 cm 土层 C 区与 B 区差异显著, 与 A 区差异不显著, 在 10~20 cm 土层 A 区与 B 区差异显著, 与 C 区差异不显著, 在 20~30、30~40 cm 土层 A 区与 B 区、C 区差异显著。各区土壤 pH 值在 A 区 0~10 cm 土层与 10 cm 以下土层差异显著, B 区、C 区各土层差异均不显著。综上, 土壤含水量在同层各区和同区各层差异均不显著, 全盐在 B 区的 0~10 cm 土层富集效应最显著, pH 值表现复杂, A 区的 0~10 cm 土层比其他土层、其他样区更具差异性。

沟渠边坡各层的土壤理化性状也表现出明显的不同。0~10、10~20、20~30、30~40 cm 土层含水量差异不显著, 0~10 cm 土层含水量最小, 后逐渐增大并趋于稳定; 全盐 0~10 cm 土层与 20~30、30~40 cm 差异显著, 与 10~20 cm 土层差异不显著, 全盐最高值出现在 0~10 cm 土层; pH 值各层之间均差异不显著; SOC 表现出 0~10 cm 土层与 10 cm 以下土层差异均显著, 10 cm 以下土层之间差异不显著, 0~10 cm 土层 SOC 表现出最高值; AN 在 0~10 cm 土层与 20~30、30~40 cm 差异显著, 与 10~20 cm 土层差异不显著, AN 最高值出现在 0~10 cm 土层; AP 各层之间均差异不显著。综上, 在沟渠边坡 0~10 cm 土层土壤全盐、SOC、AN、AP 表现出明显富集效应。

同层的 SOC 表现为 0~10、10~20 cm 土层 B 区与 A 区差异不显著, 与 C 区差异显著, 为 B 区 > A 区 > C 区。在 20~30、30~40 cm 土层土壤 SOC 各区差异均不显著。A 区、B 区、C 区的 SOC 各有差异, A 区在 0~10、10~20 cm 土层富集效应显著, B 区在 0~10、10~20、20~30 cm 土层富集效应显著, C 区在 0~10 cm 土层最大但富集效应不显著; AN 在 0~20 cm 土层各区差异均不显著, 在 20~40 cm 土层 B 区与 A 区、C 区差异显著。AN 表现为 A 区和 C 区是 0~10 cm 土层和 10 cm 以下土层差异显著, B 区则是各土层差异均不显著; AP 在 0~20 cm 土层是 A 区与 B 区、C 区差异显著, 20~30 cm 土层是各区差异均不显著, 30~40 cm 土层则是 B 区与 A 区差异显著, 与 C 区差异不显著。同区不同土层的差异性均不显著。综上, SOC 在 B 区的 0~30 cm 土层富集效应最显著, 其次是 A 区 0~10 cm 土层。AN 在 A 区和 C 区的 0~20 cm 土层出现了显著富集, 在 B 区 0~30 cm 土层富集效应最显著, AP 在 B 区和 C 区的 0~10 cm 土层富集效应最显著。

表 2 不同土层不同位置土壤理化性状特征值

Table 2 The eigenvalues of soil physical and chemical properties in different positions and soil layers

土层/cm Soli depth	土壤水含量 Soil water content/%			全盐 Soil salinity/(mS·cm ⁻¹)			pH		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0~10	3.42±0.88Aa	4.72±1.31Aa	5.18±1.84Aa	0.37±0.13Ba	0.80±0.18Aa	0.27±0.07Ba	8.85±0.09ABb	8.58±0.07Ba	8.99±0.13Aa
10~20	4.71±1.05Aa	5.78±1.27Aa	7.70±1.89Aa	0.21±0.04Ba	0.53±0.11Ab	0.22±0.03Ba	9.19±0.14Aa	8.73±0.10Ba	8.85±0.12ABa
20~30	5.53±1.91Aa	5.93±0.81Aa	7.84±1.93Aa	0.25±0.03ABa	0.42±0.09Ab	0.18±0.03Ba	9.34±0.04Aa	8.69±0.10Ba	8.91±0.10Ba
30~40	5.51±0.86Aa	5.82±1.28Aa	6.35±1.37Aa	0.26±0.04ABa	0.43±0.10Ab	0.21±0.05Ba	9.18±0.06Aa	8.72±0.12Ba	8.94±0.09Ba

土层/cm Soli depth	有机碳 Soil organic carbon(SOC)			碱解氮 Available nitrogen(AN)			有效磷 Available phosphorus(AP)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0~10	6.08±1.03ABa	7.90±1.27Aa	4.27±0.94Ba	21.57±4.65Aa	27.40±5.09Aa	18.85±4.42Aa	1.95±0.38Ba	3.16±0.40Aa	3.12±0.33Aa
10~20	3.68±0.68ABa	5.66±0.95Aa	3.04±0.81Ba	11.61±2.48Ab	24.11±4.39Aa	12.29±5.06Ab	1.21±0.15Ba	2.76±0.41Aa	2.68±0.32Aa
20~30	3.34±0.87Ab	5.05±0.95Aa	4.02±0.83Aa	7.87±1.11Bb	24.45±4.71Aa	11.71±3.50Bb	1.79±0.37Aa	2.45±0.46Aa	3.32±0.72Aa
30~40	3.88±0.74Ab	4.38±0.98Ab	2.97±0.69Aa	9.29±1.76Bb	17.78±3.45Aa	9.36±2.62Bb	1.83±0.40Ba	2.96±0.35Aa	2.53±0.31ABa

注:同行不同大写字母表示同层各区土壤理化性质差异显著($P < 0.05$),同列不同小写字母表示同区各层土壤理化性质差异显著($P < 0.05$)。

Note: different capital letters in the same row represents significant difference ($P < 0.05$); different lower case letters in the same column represents significant difference ($P < 0.05$).

3.4 沟渠边坡土壤理化性状相关性分析

宁夏引黄灌区沟渠边坡土壤理化性状间存在不同的相关性。表 3 的结果表明: SOC 与 AN、全盐呈现极显著正相关($P < 0.01$); AN 与全盐呈极显著正相关($P < 0.01$), 与 pH 值呈显著负相关($P < 0.05$); pH 值与全盐呈极显著负相关($P < 0.01$); AP 与 SOC、AN、水分、全盐、pH 值均没有相关性; 水分与 SOC、AN、AP、全盐、pH 值也是均没有相关性。对同层和同区存在相关性的指标进一步分析发现(表 4): 同区、同层的 SOC 与 AN 都存在极显著正相关($P < 0.01$), 同区中相关性 C 区 > A 区 > B 区, 同层中 10~20 cm 土层相关系数最大; A 区、B 区的 SOC 与全盐分别存在显著正相关($P < 0.05$), C 区的 SOC 与全盐没有相关性, 0~10、10~20 cm 土层的 SOC 与全盐分别存在显著正相关($P < 0.05$), 20~30、30~40 cm 土层的 SOC 与全盐没有相关性; 各区中仅有 A 区的 AN 与全盐存在正相关显著($P < 0.05$), 各层中仅有 10~20 cm 土层的 AN 与全盐存在显著正相

关($P < 0.05$); AN 与 pH 值仅有 30~40 cm 土层存在显著负相关($P < 0.05$); 各区中 A 区、C 区的全盐与 pH 值分别呈显著负相关($P < 0.05$)。

表 3 沟渠边坡土壤理化性状的相关性

Table 3 Correlation of soil physical and chemical properties on ditch slope

项目 Items	有机碳 SOC	碱解氮 AN	有效磷 AP	含水量 Water content	全盐 Salinity	pH
有机碳 SOC	1					
碱解氮 AN	0.781**	1				
有效磷 AP	-0.010	-0.006	1			
含水量 Water content	0.033	0.175	-0.048	1		
全盐 Salinity	0.420**	0.372**	0.043	-0.160	1	
pH	-0.157	-0.191*	-0.071	-0.087	-0.251**	1

注: ** 相关性在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 相关性在 0.05 水平(双侧)上显著相关。下同。

Note: ** correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), * correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). The same below.

表 4 不同土层不同位置土壤理化性状的相关性

Table 4 Correlation of soil physical and chemical properties between different positions and soil layers

项目 Items	区 Area			土层 Soil depth/cm			
	A	B	C	0~10	10~20	20~30	30~40
有机碳与碱解氮 SOC and AN	0.739**	0.705**	0.860**	0.747**	0.863**	0.686**	0.849**
有机碳与全盐 SOC and salinity	0.446*	0.372*	0.171	0.417*	0.412*	0.353	0.284
碱解氮与全盐 AN and salinity	0.426*	0.242	0.235	0.256	0.502**	0.299	0.362
碱解氮与 pH 值 AN and pH	-0.244	-0.031	-0.051	-0.027	-0.130	-0.266	-0.429*
全盐与 pH 值 Salinity and pH	-0.477**	-0.261	-0.312*	-0.128	-0.359	-0.265	-0.309

4 讨 论

4.1 沟渠边坡土壤理化性状空间分异特征及影响因素

银川平原沟渠边坡植物群落分布主要决定因素是水分^[8]。本研究进一步表明土壤含水量由沟渠坡底到堤坝顶部呈现递减变化规律,这种梯度变化反映在沟渠边坡的植物群落呈现湿生—中生—旱生的生态序列梯度,造成植物活体、凋落物存在梯度差异,进而影响到物质资源的循环过程,导致了土壤理化性状的空间差异;全盐在土壤表层表现出明显的富集效应,这种表聚现象与干旱区蒸发强烈,全盐随土壤水分的运动而运移有关^[17-18],表现为蒸发—积盐。在 B 区出现明显的“盐带”,主要是由于其长期处于临界水位,地下水通过毛管蒸发作用把盐分向上输送,加之沟渠微地形的影响^[19],调控了盐分的运移、淋滤和累积,进而增强了 B 区土壤表层的积盐速率;土壤 pH 值的空间异质性表现较为复杂, A 区、B 区、C 区的 pH 值分别介于 8.18 ~ 10.37、8.29 ~ 9.79、8.08 ~ 9.75 之间,总体来看沟渠边坡的盐碱化程度较高,随边坡高程的增加, pH 值也增大; SOC、AN、AP 具有明显的表聚效应^[20],宁夏引黄灌区气候条件、成土母质基本一致,因而表层出现养分聚集主要是由于植物凋落物分解后的养分归还所致,这与李瑞利等^[21]、刘文龙等^[22]的研究结果一致。B 区出现了明显的“肥区”, SOC、AN、AP 分别在 0 ~ 30、0 ~ 30、0 ~ 10 cm 土层富集效应最显著,可能与本区为干旱背景下的中生环境,须根系、直根系、深根系草本植物在本区混合生长,植物枯落物易于累积有关。其中 AP 的富集效应仅限于表层,且在 B 区表层富集效应最显著,因其主要受土壤风化作用的影响,来源相对固定,且土壤风化相对缓慢^[23-24]。SOC、AN 首先在土壤表层累积,之后跟随水和植物根系等介质向下层迁移扩散,因而呈现波动下降趋势,这与朱秋莲等^[25]的研究结果一致。

此外,沟渠边坡土壤理化性状的空间差异可能与沟渠坡度、人类干扰直接或间接相关。沟渠边坡的坡度可能造成土壤理化性状的差异, Enoki 等^[26]研究表明坡度和地形因子通过控制土壤水分的平衡来影响土壤资源和植被分布,进而影响养分的迁移及其在坡面上的重新分配。银川平原长期以来在沟渠体系维护中形成的“岁修”制度^[1],影响了植物多样性和群落分布,也间接导致了土壤养分的空间差异。

4.2 沟渠边坡土壤理化性状间的相互作用

本研究中,土壤理化性状间的相互作用直接或间接地导致了土壤理化性状的空间差异。土壤 SOC 与 AN 的空间分布表现出高度的一致性,存在极显著正相关, SOC 含量高,土壤熟化程度高、AN 含量亦高; B 区土壤全盐与 SOC 显著正相关,土壤全盐影响植物的生长,从而可能间接影响土壤养分^[22],在 B 区出现的“盐带”促进了 SOC 的富集效应;土壤含水量与全盐、SOC、AN、AP 不存在直接相关性,但银川平原沟渠边坡土壤含水量的差异导致了植物群落的生态序列梯度。因此,土壤含水量主要是通过影响群落分布间接影响全盐、养分的机械迁移。Schlesinger 等^[27]研究认为水分资源是干旱半干旱区土壤养分迁移和重新分配的一个重要因子;植物根系分泌的有机酸可以降低土壤 pH 值,进而活化了土壤难溶性养分^[28],从而直接或间接导致 SOC、AN、AP 的空间差异。

4.3 沟渠边坡植被—土壤相互反馈机制

土壤资源的空间异质性和植被的空间分布一直是异质性研究的重要内容。从本研究看,沟渠边坡土壤理化性状的空间分布无不与植物群落的生态序列梯度效应直接或间接相关,二者之间存在联动反馈机制。沟渠边坡土壤含水量的变化是本源,导致植物群落分布呈现生态序列梯度,也影响到水盐循环和水土循环,进一步直接或间接影响土壤理化性状的空间分布格局,土壤理化性状的空间异质性又反馈于植物群落的生态序列梯度的形成和发展。沟渠边坡中部位置形成的“盐带”和“肥区”体现的就是土壤小尺度的空间异质性,其对植物群落分布格局具有重要影响^[29],同时植物群落的生态序列梯度又反作用于盐分、养分的空间分布。白军红等^[30]认为小尺度范围内土壤碳、氮含量的变化主要受植被的影响。Zou 等^[31]研究也指出土壤 SOC、全氮、pH 值、电导率、坡度、含水量等因素与沙丘植物分布存在联动反馈机制。正是因为沟渠边坡土壤资源空间异质性的存在,从而维持了灌区沟渠走廊高的生物多样性,这也从土壤因子角度解释了沟渠生物多样性高于周边临近农田的现象。沟渠作为银川平原绿洲的典型地段和敏感区域,其边坡的植被特征与土壤属性的反馈机制和空间格局对维持绿洲生态系统的稳定发挥着重要的生态功能。

此外,土壤理化性状的空间异质性可能与植物群落的生态化学计量特征有关。蒋利玲等^[32]研究就认为不同植物的生态化学计量与土壤养分有关,是其生理和生化调节对土壤养分的响应。Kitayama

等^[33]也认为土壤养分空间差异的驱动力有土壤地球化学、植物群落组成变化、植物生理学等。本研究只针对植被与土壤的相互反馈机制作了分析,未就土壤空间异质性与植物活体、凋落物的生态化学计量特征的相互关系进行深入分析,也将是下一步工作的重点。

5 结 论

本文基于银川平原沟渠边坡植物群落存在梯度效应的科学研究,通过应用经典统计学方法,探讨了沟渠边坡土壤性状的空间分异特征。结果表明:宁夏引黄灌区沟渠边坡土壤理化性状具有明显的空间异质性;A区、B区、C区的土壤含水量逐渐增加,即从沟渠堤坝顶部到坡底呈现递增变化规律;土壤pH值的空间异质性较为复杂,A区、B区、C区的pH值分别介于8.18~10.37、8.29~9.79、8.08~9.75之间,沟渠边坡的盐碱化程度较高;土壤全盐在沟渠边坡表层土壤富集显著,其中以B区(沟渠边坡中部位置)0~10 cm土层富集效应最显著,形成了明显的“盐带”;SOC、AN、AP分别在B区的0~30、0~30、0~10 cm土层富集效应显著,形成了明显的“肥区”;土壤理化性状间的相互作用直接或间接地影响了土壤理化性状的空间差异。沟渠边坡土壤资源的空间异质性受植物群落分布、沟渠微地形、人类干扰及土壤理化性状间的相互作用等因素的共同影响。其中,土壤含水量的变化是本源,影响了沟渠边坡植物群落的分布特征和土壤资源的空间特征。植物群落分布的生态序列梯度和土壤资源的空间异质性是相互影响、相互制约。二者均有突出的生态功能,共同维护着宁夏引黄灌区的植物多样性和绿洲生态系统的稳定。沟渠植物的更替效应与土壤全盐、SOC、AN、AP的富集效应是相伴而生,相辅相成,而且作为反馈,全盐、SOC、AN、AP的空间聚集可以进一步促成植物群落梯度效应的形成,推动沟渠生态系统的演化过程。

参 考 文 献:

- [1] 何彤慧,程志,张玉峰,等.银川平原沟渠植物多样性特征及影响因素[J].湿地科学,2013,11(3):352-358.
- [2] Needelman B A, Kleinm P J A. Improved management of agricultural drainage ditches for water quality protection: An overview[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2007,62(4):171-179.
- [3] 林朝晖.赣抚平原农田沟渠植物多样性及生态化学计量特征研究[D].南昌:南昌大学,2015.
- [4] Hooper D U, Chapin III F S, Ewel J J, et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge[J]. Ecological Monographs,2005,75(1):3-35.
- [5] Grootjans AP, Hunneman H, Verkiel H, et al. Long-term effects of drainage on species richness of a fen meadow at different spatial scales[J]. Basic and Applied Ecology,2005,6(2):185-193.
- [6] Boutin C, Jobin B, Belanger L. Importance of riparian habitats to flora conservation in farming landscapes of southern Quebec, Canada[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2003,94(1):73-87.
- [7] 何彤慧,程志,张玉峰.基于植物多样性的银川平原灌排系统生态效应[J].人民黄河,2012,34(7):95-97,100.
- [8] 张娟红,何彤慧,程志,等.宁夏平原沟渠边坡植物群落多样性的影响因子分析[J].干旱区研究,2013,30(5):845-849.
- [9] 张娟红,何彤慧,程志,等.宁夏平原沟渠湿地植物群落分布的主要环境因子影响分析[J].节水灌溉,2013,(3):35-37,41.
- [10] 张娟红,何彤慧,程志,等.宁夏平原沟渠湿地植物群落数量特征比较研究[J].干旱区资源与环境,2014,28(1):153-157.
- [11] 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,2010,31(3):40-43.
- [12] 张凤杰,乌云娜,杨宝灵,等.呼伦贝尔草原土壤养分与植物群落数量特征的空间异质性[J].西北农业学报,2009,18(2):173-177.
- [13] 何彤慧.银川平原不同类型湿地的历史演变[J].人民黄河,2016,38(4):54-58.
- [14] 段汉明,苏敏,周晓辉.银川平原绿洲的稳定性与可持续发展[J].干旱区资源与环境,2006,20(1):1-6.
- [15] 吴尚贤,卢德明.宁夏水利志[M].银川:宁夏人民出版社,1992:1-20.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 姚荣江,杨劲松.黄河三角洲地区土壤盐渍化特征及其剖面类型分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(11):106-112.
- [18] 闫正龙,王晓国,高凡,等.塔里木河干流上游地区土壤盐渍化时空变化监测分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(10):105-110.
- [19] Cemek B, Güler M, Kili C K, et al. Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Baflra plain in northern[J]. Turkey Environmental Monitoring Assessment, 2007,124(1/3):223-234.
- [20] 王勇辉,董玉洁,艾尤尔·亥热提.艾比湖湿地泥炭土壤养分特征分析[J].干旱地区农业研究,2015,33(5):186-192.
- [21] 李瑞利,柴民伟,邱国玉,等.三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征[J].环境科学,2014,35(8):2928-2936.
- [22] 刘文龙,谢文霞,赵全升,等.胶州湾芦苇滩土壤碳、氮和磷分布及生态化学计量学特征[J].湿地科学,2014,12(3):362-368.
- [23] 张立华,陈小兵.盐碱地柽柳“盐岛”和“肥岛”效应及其碳氮磷生态化学计量学特征[J].应用生态学报,2015,26(3):653-658.
- [24] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, et al. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data[J]. Biogeochemistry,2009,98(1/3):139-151.
- [25] 朱秋莲,邢肖毅,张宏,等.黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征[J].生态学报,2013,33(15):4674-4682.

参 考 文 献:

- [1] 孙 波,董元华,徐明岗,等.加强红壤退化分区治理,促进东南红壤丘陵区现代高效生态农业发展[J].土壤,2015,47(2):204-209.
- [2] Whalley W, Leeds-Harrison P, Clark L, et al. Use of effective stress to predict the penetrometer resistance of unsaturated agricultural soils [J]. Soil & Tillage research, 2005,84(1):18-27.
- [3] 李成亮,何园球,熊又升,等.四种不同母质发育的红壤水分状况研究[J].土壤,2004,36(3):310-317.
- [4] 郑存德,依艳丽,张大庚,等.土壤容重对高产玉米根系生长的影响及调控研究[J].华北农学报,2012,27(3):142-149.
- [5] Iijima M, Kato J. Combined soil physical stress of soil drying, anaerobiosis and mechanical impedance to seedling root growth of four crop species[J]. Plant Prod Sci, 2007,(10):451-459.
- [6] Haling R, Simpson R, Culvenor R, et al. Effect of soil acidity, soil strength and macropores on root growth and morphology of perennial grass species differing in acid-soil resistance[J]. Plant Cell Environ, 2011,34(3):444-456.
- [7] 冯福学,黄高宝,柴 强,等.不同耕作措施对冬小麦根系时空分布和产量的影响[J].生态学报,2009,29(5):2499-2506.
- [8] 宋 日,刘 利,吴春胜,等.根系生长空间对玉米生长和养分吸收的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(6):58-64.
- [9] 刘晚苟,李良贤,谢海容,等.土壤容重对野生香根草幼苗根系形态及其生物量的影响[J].草业学报,2015,24(4):214-220.
- [10] 闫 娟,徐程扬,魏红旭.土壤紧实度对三倍体毛白杨细根形态的影响[J].东北林业大学学报,2013,47(2):47-50.
- [11] Whitmore A P, Whalley W R, Bird R A, et al. Estimating soil strength in the rooting zone of wheat[J]. Plant Soil, 2011,339(7):363-375.
- [12] 罗 敏,邓才富,陈家宙,等.鄂南红壤穿透阻力的时空变化研究[J].土壤,2016,48(5):1055-1061.
- [13] 张向东,邓寒霜,华智锐.土壤紧实胁迫对桔梗生长、产量及品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(7):177-182.
- [14] 王 卉,李清莲,曹玉英.不同耕作方法与土壤容重对玉米生育和产量的影响研究[J].中国农业信息,2013,(3):102.
- [15] 王 群,张学林,李全忠,等.紧实胁迫对不同土壤类型玉米养分吸收、分配及产量的影响[J].中国农业科学,2010,43(21):4356-4366.
- [16] Goodman A, Ennos A. The effects of soil bulk density on the morphology and anchorage mechanics of the root systems of sunflower and maize[J]. Ann Bot-London, 1999,83(8):293-302.
- [26] Enoki T, Kawaguchi H, Iwatsubo G. Topographic variations of soil properties and stand structure in a Pinus thunbergii plantation[J]. Ecological Research, 1996,11(3):299-309.
- [27] Schlesinger W H, Ward T J, Anderson J. Nutrient losses in runoff from grassland and shrubland habitats in southern New Mexico: II. Field plots[J]. Biogeochemistry, 2000,49(1):69-86.
- [28] 安韶山,黄懿梅.黄土丘陵区柠条林改善土壤作用的研究[J].林业科学,2006,42(1):70-75.
- [29] Hillerislambers R, Rietkerk M, van den Bosch F, et al. Vegetation pattern formation in semi-arid grazing systems[J]. Ecology, 2001,82(1):50-61.
- [30] 白军红,李晓文,崔保山,等.湿地土壤氮素研究概述[J].土壤,2006,38(2):143-148.
- [31] Zuo X A, Zhao X Y, Zhao H L, et al. Spatial heterogeneity of soil properties and vegetation-soil relationships following vegetation restoration of mobile dunes in Horqin Sandy Land, Northern China [J]. Plant and Soil, 2009,318(2):153-167.
- [32] 蒋利玲,何 诗,吴丽凤,等.闽江河口湿地 3 种植物化学计量内稳性特征[J].湿地科学,2014,12(3):293-298.
- [33] Kitayama K. Comment on "Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences" [J]. Science, 2005, 308(5722):633.

(上接第 49 页)