

放牧对黄河低阶地盐化草场土壤 水盐空间异质性的影响

李朝生^{1,2}, 杨晓晖¹, 于春堂¹, 慈龙骏^{1,*}, 李红艳¹, 王 忠³, 白 飞³

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局森林培育实验室, 北京 100091; 2. 中国气象局国家气象中心农业
与生态气象室, 北京 100081; 亿利资源集团生态项目部, 内蒙古 独贵塔拉 017600)

摘要: 选定黄河低阶地地形大致相近的放牧草场与封育草场, 按实地情况分别设置长 770m(放牧)、370m(放牧)和 240m(封育)3 条样线, 采用校正后的便携式 WET Sensor 以 10m 为间隔进行土壤水盐的分层(0~10cm, 10~20cm)测定, 并对其进行地统计学分析。结果表明: 黄河低阶地盐化草场表层土壤水盐的变异系数和相关性高于下层, 土壤水分的变异系数低于土壤盐分且层间的相关性较高; 放牧使土壤水盐之间的相关程度增大, 变异降低, 且使土壤水分存在一定的冗余。所研究草场的土壤水盐表现为中等或强烈空间自相关, 封育盐化草场水盐空间相关尺度的差异较小, 而放牧草场则相反。持续放牧已经成为一种稳定影响盐化草场水盐空间分布的结构性因素, 使盐化草场的水盐空间异质性减弱。盐生植物在草场内随机分布且不受放牧干扰, 是封育盐化草场随机作用较强的最可能原因; 而放牧草场内牲畜的啃食和践踏对盐生植物和土壤结构改变所形成的反馈作用大大降低了这些植物对水分特别是盐分的再分配, 进而导致放牧草场水盐的含量趋于增大且分布格局趋于简单。

关键词: 水盐; 放牧; 盐化草场; 空间异质性; 地统计学

文章编号: 1000-0933(2006)07-2402-07 中图分类号: S152 文献标识码: A

Effects of grazing on spatial heterogeneity of soil moisture and salt content in saline grassland in low terrace of the Yellow River

LI Chao-Sheng^{1,2}, YANG Xiao-Hui¹, YU Chun-Tang¹, CI Long-Jun^{1,*}, LI Hong-Yan¹, WANG Zhong³, BAI Fei³

(1. Research Institute of Forest, Chinese Academy of Forestry; Silvicultural Lab of State Forestry Administration; Beijing 100091, China; 2. Agricultural and Ecological Met. Division, National Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China; 3. Division of ecological item, Elion Resources Group, Inner Mongolia, Duguitala, 017600, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2402 ~ 2408.

Abstract: In order to reveal the spatial difference of water and salt in saline grassland under grazing and exclosure, we have chosen three transects (770m, grazing; 370m, grazing; 240m, exclosure) in two grasslands, which have similar topography in the low terrace of the Yellow River in Inner Mongolia Autonomous Region. Soil moisture and conductivity were sampled at 10 meter intervals along each transect by a portable WET Sensor for two soil layers (0~10cm, 10~20cm). And in each soil layer, we got 78, 38 and 25 soil moisture and salt content data all severally from three transects. The coefficient of variation (C_v) and the significance of correlation coefficient of the water and salt in surface soil layer were greater than those of the deeper soil layer; the C_v of the water moisture is lower than that of the salt content, but the correlation coefficient is higher in the surface layer. The correlation of the soil moisture and salt content is higher under grazing, and the variance is lower. Spatial autocorrelation of soil water and salt is medium or strong. In the exclosure where the stochastic factor is stronger, the difference of the spatial correlation

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30360016, 30571529); 国家“十五”重点科技攻关资助项目(2005BA517A04)

收稿日期: 2004-10-25; **修订日期:** 2005-06-10

作者简介: 李朝生(1975~), 男, 内蒙古丰镇人, 博士, 主要从事景观生态学、荒漠化防治和污染生态学研究. E-mail: lcsnmg@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cilj@caf.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30360016 & 30171205) and National Tenth 5-year Key Programs for Science and Technology Department of China (No. 2002BA517A03)

Received date: 2004-10-25; **Accepted date:** 2005-06-10

Biography: LI Chao-Sheng, Ph.D., mainly engaged in landscape ecology, desertification combating and pollution ecology. E-mail: lcsnmg@sohu.com

scale of the soil water and salt is lower. Under grazing, the difference is greater. Continuous grazing is a factor that impacts on the spatial distribution and weakens the spatial heterogeneity of soil moisture and salt content in saline grassland. In the enclosure the distribution of halophytes has a strong effect. While in grazed grassland the distribution of halophytes and soil structure are changed by browsing and trampling of livestock. This has a big impact as both the content of soil water and salt concentration in grazed grassland trends to increase.

Key words: soil moisture and salt content; grazing; saline grassland; spatial heterogeneity; geostatistics

干旱、半干旱地区发育了广阔的盐渍化土壤,成为当地土地资源可持续开发利用的限制性因素之一;因而国内外就盐渍化土壤水盐的动态、运移机制、空间分布特征、预警与防治及对土地利用方式改变的响应等方面从不同时空尺度进行了多角度的研究^[1-16];我国主要在黄淮海平原、松嫩平原、河西走廊、内蒙古河套地区、新疆绿洲分布区以及一些滨海地区开展了以盐渍化土地改良和合理开发利用为主的水盐运动理论及其应用研究,并取得了卓越的成效^[1-5,7-10,12-14,16]。在库布齐沙漠流动沙丘与黄河河岸之间的低阶地上,分布着长几百公里,宽几百米到几公里不等的大面积盐化草场,这些草场支撑着鄂尔多斯高原北缘地区的牧业发展,是当地非常重要的草地资源,同时也是阻止沙漠前侵和沙土入河的有力屏障。近些年来,该类草场被大量开垦为农田,加之牲畜头数逐年增加,剩余草场的牧压不断增大,退化日臻严重,导致土壤水盐的空间分布结构发生改变。基于此,本文利用地统计学方法对该类草场放牧干扰下的土壤水盐空间变异进行探讨,以期对相类似草地资源的保护与开发提供科学依据。

1 研究区概况与实验方法

1.1 研究区概况

研究样地位于黄河河岸与库布齐沙漠之间的覆沙低阶地上,具体测定位置在北纬 40°32′15.2″东经 108°38′34.4″方圆 5km 的范围内;海拔 1024 ~ 1030m。研究区多年平均气温 7.4℃,1 月平均气温 -12.2℃,7 月平均气温 21.4℃;年平均降水 230mm,主要集中于 7 ~ 9 月份;年蒸发约 2450mm 年;年平均风速 3m/s 左右;年均大风日数 50d 左右。

1.2 实验方法

选取有围栏的封育草场和公共放牧草场,以样线法进行土壤水盐的测定。公共放牧场有牧道与居民点相连,为 4 户牧民所共用,面积约 80hm²,平均每天约 170 只羊在此放牧,周围为封育草场或围封的个人放牧场。从封育草场、围栏到牧道设置长 770m 的南北样线(样线 I,其中围栏外 30m 以负值表示)和长 370m 的东西样线(样线 II,其中围栏外 25m 以负值表示)如图 1,这使得每条放牧样线本身就存在一定的牧压梯度;另外选择植被类型与地形和公共放牧草场相近的封育 2a 左右的草场,由于其相对均质,因此只在其中心设置长 240m 的东西样线(样线 III)。各样线地势相对高差约为 2m (GARMIN eTrex-summit GPS 测定)。已有的研究表明,我国干旱、半干旱地区在一年内有 2 次显著的聚盐高峰期,即春季和秋季;而且土壤盐分随着水分的变化基本在 0 ~ 20cm 范围内运移^[4,7,13];故此,于 2004 年 9 月中旬在每条样线上以 10m 为一个测点,用校正后的便携式 3 参数(土壤含水量、电导率、温度)WET Sensor(英国 Delta-T 公司产)对土壤参数分两层(0 ~ 10cm,10 ~ 20cm)进行测定,土壤含水量以体积比(v/v)表示,土壤盐分含量以土壤电导率(ms/m)表示。

测定同时进行植被调查:所有样线上白刺(*Nitraria tangutorum*)沙丘上的草本以雾冰藜(*Bassia dayphylla*)和

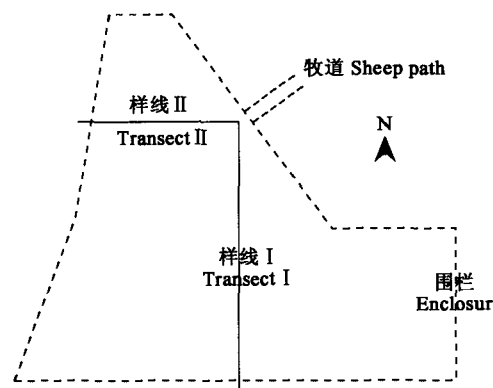


图 1 样线 I 与样线 II 的设置示意图

Fig.1 Sketch map of transect I and transect II

赖草(*Leymus secalinus*)为主;沙丘间地以角果碱蓬(*Suaeda corniculata*)、碱地凤毛菊(*Saussurea runcinata*)、小花棘豆(*Oxytropis glabra*)为主,芨芨草(*Achnatherum splendens*)、赖草也各占有一定比例。样线 I 和 II 的植被盖度越靠近牧道越低,样线 III 基本没有太大变化。各样线的分区段描述见表 1。

表 1 3 条样线上的植被与小地形

Table 1 Vegetation and topography in three transects

样线 Transect	区段 Section(m)	植被与小地形特征 Vegetation and topography
I	- 30 ~ - 10	赖草, 盖度 90%, 平坦沙地; <i>Leymus secalinus</i> , coverage 90%, explanate sand land
	- 10 ~ 120	较高(1 ~ 1.5m)且基本连续的白刺沙丘, 丘间地不明显, 盖度 30% ~ 60%; higher(1 ~ 1.5m) and consecutive <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes, less lowlands, coverage 30% ~ 60%
	120 ~ 450	中等(< 1m)白刺沙丘与丘间低地, 盖度 25% ~ 65%; middling high (< 1m) <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes and lowlands, coverage 25% ~ 65%
	450 ~ 770	低矮(< 0.3m)白刺沙丘以及平坦的丘间低地, 盖度 1% ~ 35%; lower (< 0.3m) <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes and explanate lowlands, coverage 1% ~ 35%
II	- 30 ~ 0	较高(1 ~ 1.5m)且基本连续的白刺沙丘, 盖度 30%; higher(1 ~ 1.5m) and consecutive <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes, coverage 30%
	0 ~ 370	低矮(< 0.3m)白刺沙丘以及平坦的丘间低地, 盖度 1% ~ 40%; lower (< 0.3m) <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes and explanate lowlands, coverage 1% ~ 40%
III	0 ~ 130	较高(1 ~ 1.8m)且基本连续的白刺沙丘, 丘间地不明显, 盖度 80% ~ 100%; higher(1 ~ 1.8m) and consecutive <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes, less lowlands, coverage 80% ~ 100%
	130 ~ 240	中等(< 1m)白刺沙丘与丘间低地, 盖度 60% ~ 90%; middling high (< 1m) <i>Nitraia tangutorum</i> sand dunes and lowlands, coverage 60% ~ 90%

地统计学已经被广泛用于分析土壤特性空间分布特征及其变异规律^[17~22], 应用于水盐空间变异的研究也较多^[16,23~25]。本研究中各样线土壤属性数据均不符合正态分布, 可能存在的比例效应会抬高块金值和基台值, 降低估计精度, 使某些潜在的特征不明显^[17]。对原始数据进行对数转化以消除比例效应, 转化后的数据性对称性较好, 基本上趋于正态分布。本文在计算不同样线土壤各层水分与盐分的变异函数和分维数时, 最大分析距离为其对应样线长度的一半, 步长均为 10m, 由地统计学软件 GS+ 5.1 依据 r^2 、RSS 等参数自动选择最优模型并完成计算。

2 结果与讨论

2.1 放牧干扰对土壤水分空间分异的影响

由白刺沙丘到丘间低地, 小地形对盐化草场土壤水分空间分布起到决定性作用, 土壤水分呈现增加的趋势, 样线 III 和 I 地形差异较大, 由此引起各测点间土壤水分的差异也尤为明显(图 2, 表 2), 如样线 III 的表层(0 ~ 10cm)与下层(10 ~ 20cm)变异系数(C_v)分别为 80.80% 和 69.68%, 样线 I 分别为 51.80% 和 44.20%。但在牧压较大处, 由于牲畜践踏过重而使土壤变得紧实, 土壤含水量在随地形降低而增大的同时却比前面一段呈现整体的降低趋势, 如样线 I 450m 以后和样线 II 220m 以后的区域, 这使该区段土壤水分的变异特别是上下层间的差异更为剧烈(图 2)。总体而言, 各样线土壤水分表层的变异大于下层, 这也是表层受扰动更频繁的特征。

放牧草场土壤水分的平均含量远大于封育草场且表层大于下层, 而封育草场则与之相反, 这与植被盖度、土壤结构等的改变有密切关系, 也充分证明放牧草场土壤水分存在一定程度的冗余。封育草场土壤水分极差小于放牧草场同样基于以上原因。

地统计学分析表明 3 条样线不同层土壤水分的块金值(C_0)均是样线 III > 样线 I > 样线 II, 揭示出封育草场土壤水分在小于采样尺度范围内某些生态学过程的控制作用较放牧草场明显。基台值($C_0 + C$)通常表示系统内总的变异, 表 3 显示盐化草场土壤水分表层变异大于下层, 且封育草场水分空间总变异大于放牧草场, 与上述变异系数的分析结果一致, 阐明持续放牧已使盐化草场水分的空间异质性减弱, 均一性增强。

块金值与基台值之比表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比, 如果该比值高, 说明随机部分引起的空间异质性程度起主要作用; 如果比值 < 25%, 说明系统具有强烈的空间相关性; 如果比例在 25%

~75%之间,表明系统具有中等的空间相关性; >75%说明系统空间相关性很弱^[18]。各样线不同层水分的比值均不大(表3),可见盐化草场水分空间异质性中随机作用的比例较小,而主要由气候、降水、地形等结构性因素决定;在研究尺度上,除样线Ⅲ的各层和样线Ⅰ的下层土壤水分为中等的空间相关外,其余则表现为强烈的空间自相关,据此依然可揭示封育盐化草场土壤水分的空间异质性中随机性因素占有一定的比例,而放牧草场空间异质性中随机性因素起到的作用则相对较弱。

表2 3条样线上土壤水盐特征值统计

Table 2 Statistic of soil moisture and conductivity in three transects

统计参数 Statistical parameters	I-t-w	I-t-s	I-d-w	I-d-s	II-t-w	II-t-s	II-d-w	II-d-s	III-t-w	III-t-s	III-d-w	III-d-s
样本大小 Sample size	78	78	78	78	38	38	38	38	25	25	25	25
平均值 Mean	25.46	113.96	23.22	54.06	29.49	82.84	28.66	201.05	12.03	21.50	13.72	22.09
标准差 Std. deviation	13.28	129.26	10.15	65.05	9.76	71.18	8.54	158.95	9.72	50.57	9.56	46.42
变异系数 C_v (%)	52.16	113.43	43.71	120.33	33.10	85.92	29.80	79.06	80.80	235.21	69.68	210.14
最小值 Minimum	5.80	0.60	5.90	0.90	7.80	1.20	10.20	2.40	3.90	0.10	4.30	0.60
最大值 Maximum	57.60	515.40	50.10	305.20	45.90	296.90	44.10	537.00	37.70	181.80	38.60	183.90
极差 Range	51.80	514.80	44.20	304.30	38.10	265.70	33.90	534.60	33.80	181.70	34.30	183.30

I、II、III代表样线号, *t* 表示表层, *d* 表示下层, *w* 表示土壤水分, *s* 表示土壤电导率;下同 I, II, III denote the transect I, II and III; and *t* denotes top layer; *d* denotes down layer; *w* denotes soil moisture; *s* denotes soil conductivity; the same below

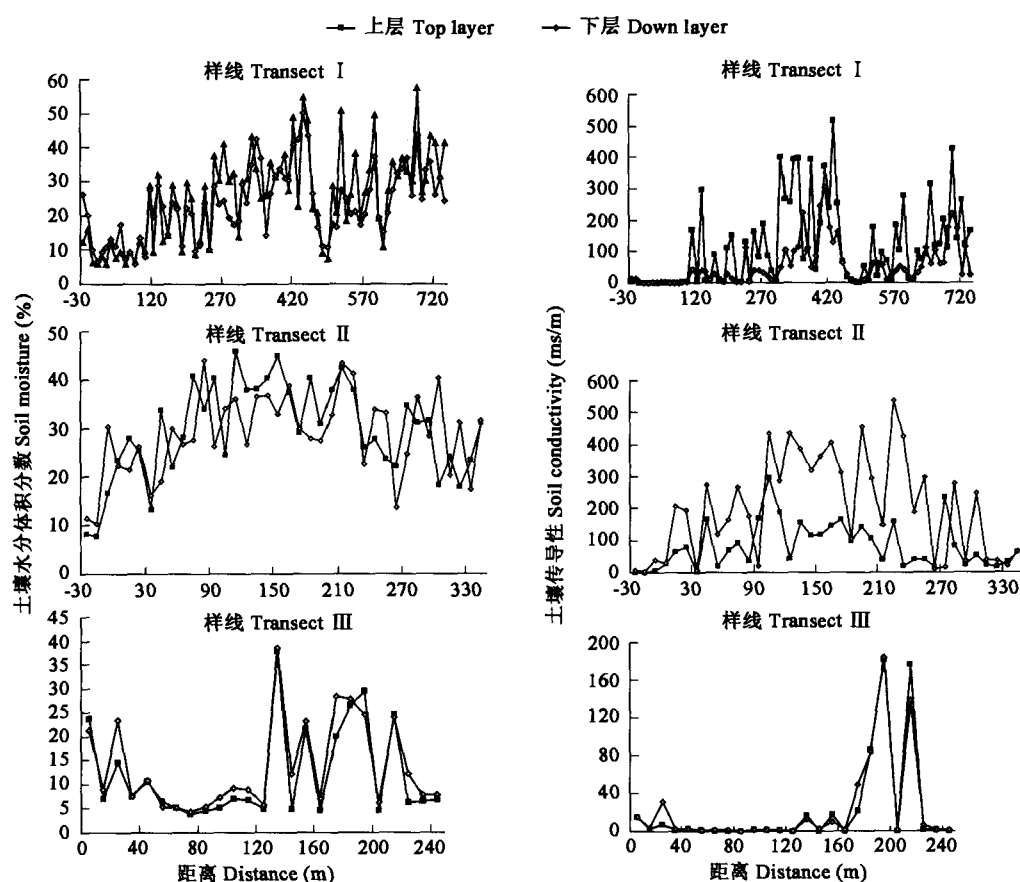


图2 3条样线上土壤水盐的分布特征

Fig. 2 Distribution of soil moisture and conductivity in three transects

水分分布的空间相关尺度不论是样线内还是样线间变化均较大,除样线Ⅲ的下层土壤含水量外均超出了对应研究样线的长度(表3),上下层最小差距在600m左右,样线间同层的最大差距在1000m以上,表现出一定的复杂性。样线间比较,以样线Ⅲ的差距为最小,样线Ⅱ次之,样线Ⅰ最大。表明随机因素作用较强的封育

盐化草场层间水分空间相关尺度的差异较小,而结构性作用占主导地位的放牧盐化草场层间水分空间相关尺度的差异则较大。

分维数 D 值越大,表明由随机性因素引起的空间异质性越高^[17],结构性差且分布复杂^[21]。无论表层还是下层,水分的分维数均存在以下规律:样线Ⅲ $\geq$ 样线Ⅰ $>$ 样线Ⅱ,即封育盐化草场水分的分维数值大于放牧草场,再一次揭示出封育草场土壤水分空间分布的结构性弱于放牧草场。

2.2 放牧干扰对土壤盐分的空间分异的影响

小地形对土壤盐分空间分布所起的作用远没有水分明显,在较高处由于地下水埋深较深,且沙质土壤的毛细作用不发达,水分不易上升,盐分的表聚现象微弱,如样线Ⅰ前 150m 和样线Ⅱ前 30m 的区域;其余区域则牧压的作用愈来愈明显,牧道周围的区域由于严重践踏而使土壤变得异常紧实,水分上行蒸发受阻,盐分的表聚现象同样表现较微;致使样线Ⅰ和Ⅱ上的土壤电导率呈现两头低中间高的“ $\cap$ ”型分布格局;样线Ⅲ则不然(图 2)。

放牧草场土壤电导率的变异系数低于封育草场;且牧压越重变异越小、平均值越大,层间的差异也越明显。但是上下层土壤电导率的变化却因样线不同而各异,样线Ⅰ表层大于下层,样线Ⅱ下层明显大于上层,样线Ⅲ则基本接近(图 2,表 2)。

3 条样线不同层土壤电导率块金值的变化趋势与水分相同,这可能由地表盐生植物在小尺度内的不均匀分布所引发。表 3 的基台值显示,封育草场盐分空间总变异大于放牧草场;样线内比较则是Ⅰ、Ⅲ样线表层大于下层,样线Ⅱ则表层与下层相近;揭示出持续牧压亦使盐化草场盐分的空间异质性减弱,结构性增强。

在研究尺度上,除样线Ⅲ各层的土壤盐分为中等的空间相关外,其余均表现为强烈的空间自相关,表明导致盐化草场土壤盐分空间异质性的过程中,随机性因素在封育草场中的作用较放牧草场占有一定优势。

表 3 3 条样线上土壤水盐的空间变异

Table 3 Spatial variation of soil moisture and conductivity in three transects

样线 Transect	模型 Model	块金值 Nugget (C_0)	基台值 Sill ($C_0 + C$)	相关尺度 Range (m)	空间变异比 Proportion [$C_0/(C_0 + C)$]	决定系数 Correlation coefficient (r^2)	分维数 Fractal dimension (D)	决定系数 Correlation coefficient (r^2)
Ⅰ-t-w	Exponential	0.172	0.958	2428	0.180	0.949	1.848	0.876
Ⅰ-t-s	Exponential	1.620	7.249	1094	0.223	0.943	1.821	0.934
Ⅰ-d-w	Spherical	0.133	0.367	786	0.363	0.781	1.865	0.834
Ⅰ-d-s	Exponential	0.980	4.970	1643	0.197	0.860	1.807	0.933
Ⅱ-t-w	Spherical	0.036	0.371	372	0.097	0.894	1.572	0.721
Ⅱ-t-s	Exponential	0.503	3.016	476	0.167	0.817	1.531	0.622
Ⅱ-d-w	Exponential	0.055	0.289	1106	0.189	0.572	1.740	0.581
Ⅱ-d-s	Spherical	0.852	3.747	352	0.227	0.830	1.783	0.788
Ⅲ-t-w	Exponential	0.412	1.117	728	0.369	0.310	1.904	0.254
Ⅲ-t-s	Exponential	4.160	11.380	723	0.364	0.377	1.905	0.372
Ⅲ-d-w	Spherical	0.231	0.580	102	0.398	0.620	1.848	0.519
Ⅲ-d-s	Exponential	2.270	6.548	614	0.347	0.466	1.891	0.410

不同样线盐分分布的空间相关尺度变化较大,除样线Ⅱ的下层外均超出了所对应研究样线的长度,这是结构性因素和随机性因素综合作用的集中体现。相对而言,样线间同层比较是样线Ⅰ $>$ 样线Ⅲ $>$ 样线Ⅱ;同一样线上下层土壤盐分的相关尺度比较接近,层间最大差距的为样线Ⅰ约 500m,而样线Ⅱ、Ⅲ的差距在 100m 左右;充分表明放牧使土壤表层与下层电导率空间相关尺度的差异变大,即改变了盐化草场土壤盐分原有的运移规律。

土壤电导率的分维数 D 的规律:样线Ⅲ $>$ 样线Ⅰ $>$ 样线Ⅱ;且样线Ⅲ和样线Ⅰ是表层大于下层;而样线Ⅱ则相反且差距明显;再一次揭示出持续放牧已经成为一种稳定影响盐化草场盐分空间分布的结构性因素。

2.3 放牧干扰下土壤水盐空间分异的耦合性

盐化草场表层土壤的水盐变异系数高于下层,土壤水分的变异系数低于土壤盐分。Hillel^[26]认为当某一

土壤特性参数的变异系数 $C_v \leq 0.1$ 时为弱变异性, $0.1 < C_v < 1$ 时为中等变异性, $C_v \geq 1$ 时为强变异性;可见,盐化草场的土壤水分和盐分存在中等到强的变异性;且随牧压的增加,土壤水盐的变异性减小,以盐分尤为明显(表 2,图 2)。虽然 Person 相关检验表明所有样线同一层或不同层土壤的水分、盐分以及水盐之间均存在 0.05 或 0.01 水平的显著相关(表 4);但其相关系数与图 2 依然揭示出不同牧压下的水盐空间分布具有如下趋势:同一样线内土壤水分间的相关性明显高于盐分,且封育草场水分间或盐分间的相关系数远远大于放牧草场;同层内的水盐相关程度较不同层之间的高,且上层水盐的相关性大于下层;异层间的水盐相关性变化复杂,但异层间水分与盐分之间的相关程度均以封育草场为最低;持续放牧使盐化草场松散的覆沙变得紧实,进而使放牧草场连续样线上土壤水盐之间的分布呈现出较好的相关性。以上的分析表明除小地形等因素外,牧压对土壤中水盐运移和再分配起到了相当的作用。

空间变异比和分维数的分析表明,除样线Ⅲ各层的水盐和样线Ⅰ下层的土壤水分为中等的空间相关外,其余均表现为强烈的空间自相关,表明封育盐化草场土壤水盐的空间异质性程度随机性因素占有一定的比例,而放牧草场则不然,即随机因素对封育草场土壤水盐空间分异的作用强于放牧草场。就同一牧压下盐化草场土壤水分和盐分空间异质性而言,随机因素对二者的贡献率大致相同,这与水盐之间密切的运移关系相对应。

表 4 3 条样线上土壤水盐的 Person 相关检验

Table 4 Person correlation test of soil moisture and conductivity in three transects

	I - t-w	I - t-s	I - d-w	II - t-w	II - t-s	II - d-w	III - t-w	III - t-s	III - d-w
t-w	1			1			1		
t-s	0.820**	1		0.545**	1		0.634**	1	
d-w	0.603**	0.485**	1	0.561**	0.329*	1	0.948**	0.517**	1
d-s	0.722**	0.590**	0.582**	0.488**	0.507**	0.523**	0.649**	0.979**	0.563**

** :0.01 水平显著相关(双尾)Correlation significant at 0.01 level (2-tailed); * :0.05 水平显著相关(双尾)Correlation significant at 0.05 level (2-tailed)

水盐分布空间相关尺度的变化较大,相对而言,同一样线层间土壤盐分的相关尺度比较接近,层间最大差距约 500m;水分则差异较大,层间最小差距在 600m 左右,揭示出盐分的运移受制于水分。样线间比较,无论是层内还是层间的水分和盐分之间的相关尺度,均以样线Ⅲ的差距为最小,样线Ⅱ次之,样线Ⅰ最大。充分表明牧压越轻,盐化草场水盐空间相关尺度的差异越小;而结构性越强(牧压越重),则土壤水盐空间相关尺度的差异越大。

总体而言,盐化草场水盐空间分布的异质性由气候、地形、土壤、地下水埋深等结构性因素引起;但以上因子接近时,持续放牧已经成为一种稳定影响盐化草场水盐空间分布的结构性因素,因此其作用不容忽视。不同种类盐生植物在样地内的随机分布是产生随机因素的最直接最可能的原因,封育草场中这些植物真正形成随机分布;而放牧草场内牲畜的啃食和践踏不仅改变了盐生植物的分布格局,而且使沙质土壤的结构也发生了不同程度的改变,进而再次改变其分布格局和功能,这种反馈作用大大降低了盐生植物对水分特别是盐分的再分配,如样线Ⅱ距牧道较Ⅰ更近,持续放牧压力所导致的结果也更加明显,空间变异比和分维数均较小,水盐的空间结构也更好,分布也更为简单。

3 结论

黄河低阶地盐化草场存在土壤盐分变异系数高于水分、土壤表层水盐变异系数高于下层、同层水盐相关程度高等特征;放牧使土壤水分与盐分之间的相关程度增大、水盐的变异系数减小、水分含量增加、土壤水分存在一定程度的冗余。

黄河低阶地盐化草场土壤水盐表现为中等或强烈空间自相关;土壤水盐空间异质性格局形成过程中,放牧草场中的随机性作用小于封育草场;放牧亦使草场土壤水盐空间相关尺度的差异增大。

封育草场中土壤结构疏松、盐生植物在草场中随机分布且不受放牧的干扰,是其随机因素作用较强的最

可能原因;放牧草场内牲畜的啃食和践踏对盐生植物和土壤结构的改变剧烈,且所形成的反馈作用会不断减弱土壤中水分特别是盐分的再分配过程,导致放牧草场土壤水盐的含量趋于增大,而分布格局趋于简单。因此,持续放牧已经成为一种稳定影响盐化草场土壤水盐空间分布的结构因素,使盐化草场土壤水盐的空间异质性减弱,均一性增强,这一过程对盐化草场土壤中水盐的运移和再分配作用不容忽视。

References:

- [1] Shi Y C, Li Y Z, Lu J W. The movement of moisture and salt within the salinity soil. Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1986.
- [2] Wang Z Q. Saline soil of China. Beijing: Science Press, 1993.
- [3] Zhang W Z, Gao Q. Exploration of the movements of water and dissolved salts in soils under different plant communities in *Aneurolepidium chinense* grassland of Songnen Plain. Acta Phytocologica Sinica, 1994, 18(2): 132 ~ 139.
- [4] Zhang B S, Hu Z Z, Zhu X Y. Studies on soil, water and salt dynamics of *Puccinellia* grassland in Hexi Region of Western Gansu. Acta Pratacultura Sinica, 1994, 3(3): 61 ~ 70.
- [5] Xiao M, An S Z. The water-salt attributes of the grassland soil-plant system in arid region. Acta Phytocologica Sinica, 1996, 20(5): 397 ~ 403.
- [6] Armstrong S B, Rycroft D W, Tanton T W. Seasonal movement of salts in naturally structured saline-sodic clay soils. Agricultural Water Management, 1996, 32(1): 15 ~ 27.
- [7] Fu H, Zhu X Y, Yan S G. Studies on water and salt dynamic of *Puccinellia* grassland and the factors affecting them in saline areas of Hexi Corridor Regions. Pratacultura Science, 1997, 14(2): 1 ~ 4, 8.
- [8] Zheng H Y, Li J D. Recovery of vegetation living in saline soil and saline-alkaline grassland in Songnen Plain. Beijing: Science Press, 1999.
- [9] Yang G Y. A Study on water-salt movement of solonchak in Hetao Plain, Inner Mongolia. Scientia Silvae Sinicae, 1999, 35(4): 107 ~ 110.
- [10] Zhou Z B, Xu X W, Li B W. Study on trends of water and salt of artificial greenbelt in hinterland of Taklimakan Desert. Arid Zone Research, 2000, 17(1): 21 ~ 26.
- [11] Fatma M G. Role of natural vegetation in improving salt affected soil in northern Egypt. Soil & Tillage Research, 2002, 64: 173 ~ 178.
- [12] Gu F X, Shi Q D, Zhang Y D, et al. Primary analysis of underground water, soil water and salt content in Fukang Oasis in Southern Zhungar Basin. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 2002, 19(1): 117 ~ 122.
- [13] Niu D L, Wang Q J. The water-saline dynamic analysis of the discarded field in Chaidamu basin. Acta Pratacultura Sinica, 2002, 11(4): 35 ~ 38.
- [14] Shi Yuanchun. Comprehensive Reclamation of Salt-Affected Soils in China's Huang-Huai-Hai Plain, Journal of Crop Production. New York: Food Products Press, 2003, 7(1/2): 163 ~ 179.
- [15] Jobbagy E G, Jackson R B. Groundwater use and salinization with grassland afforestation. Global Change Biology, 2004, (10), 1299 ~ 1312.
- [16] Hu S J, Kang S Z, Song Y D, et al. Research on spatial variability of soil water and salt in Weigan River irrigation area. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 10 ~ 12, 20.
- [17] Wang Z Q. Geostatistics and its application in ecology, Beijing: Science Press, 1999.
- [18] Cambarell C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci Soc A m j, 1994, 58: 1501 ~ 1511.
- [19] Bennett L T, Adams M A. Indices for characterizing spatial variability of soil nitrogen semi-arid grasslands of Northwestern Australia. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(5): 735 ~ 746.
- [20] R ver M, Kaiser E A. Spatial heterogeneity within the plough layer: low and moderate variability of soil properties. Soil Biology & Biochemistry, 1999, 31(2): 175 ~ 187.
- [21] Guo X D, Fu B J, Ma K M, et al. Spatial variability of soil nutrients based on geostatistic combined with GIS-A case study in Zunhua City of Heibei Province. Chin. J. Appl. Ecol., 2000, 11(4): 557 ~ 563.
- [22] Bai Y F, Xu Z X, Li D X. On the small scale spatial heterogeneity of soil moisture, carbon and nitrogen in *Stipa* communities of the Inner Mongolia Plateau, Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8): 1215 ~ 1223.
- [23] Chen Y X, Shi H B, Tian P D, et al. Study on conditional simulation of soil water salt spatial variability monitoring. Journal of Hydraulic Engineering, 2000, (6): 67 ~ 73.
- [24] Bai Y L, Li B G, Shi Y C. Research of the soil salt content distribution and management in Huang-Huai-Hai Plain based on GIS. Resource Science, 1999, 21(4): 66 ~ 70.
- [25] Hu K L, Li B G, Chen L D, et al. Spatial variability of soil water and salt in field and their estimations by the CoKriging. Advances in Water Science, 2001, 12(4): 460 ~ 466.
- [26] Hillel D. Application of soil physics, New York: Academic Press, 1980. 319 ~ 344.

参考文献:

- [1] 石元春, 李韵珠, 陆锦文. 盐渍土的水盐运动. 北京: 北京农业大学出版社, 1986.
- [2] 王遵亲. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993.
- [3] 张为政, 高琼. 松嫩平原羊草草地土壤水盐运动规律的研究. 植物生态学报, 1994, 18(2): 132 ~ 139.
- [4] 张柏森, 胡自治, 朱兴运. 河西地区碱茅属植物草地水盐动态研究. 草业学报, 1994, 3(3): 61 ~ 70.
- [5] 肖明, 安沙舟. 干旱区不同草地土壤植物系统水盐的特征. 植物生态学报, 1996, 20(5): 397 ~ 403.
- [6] 付华, 朱兴运, 阎顺国. 河西走廊盐渍区碱茅草地水盐动态及影响因素的研究. 草业科学, 1997, 14(2): 1 ~ 4, 8.
- [7] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原盐生植物与盐碱化草地的恢复. 北京: 科学出版社, 1999.
- [8] 杨光澄. 内蒙古河套平原盐碱地水盐运动研究. 林业科学, 1999, 35(4): 107 ~ 110.
- [9] 周智彬, 徐新文, 李丙文. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地水盐动态的研究. 干旱区研究, 2000, 17(1): 21 ~ 26.
- [10] 顾峰雪, 师庆东, 张远东, 等. 准噶尔盆地南缘阜康绿洲水盐空间特征的初步分析. 新疆大学学报(自然科学版), 2002, 19(1): 117 ~ 122.
- [11] 牛东玲, 王启基. 柴达木盆地弃耕地水盐动态分析. 草业学报, 2002, 11(4): 35 ~ 38.
- [12] 胡顺军, 康绍忠, 宋郁东, 等. 渭干河灌区土壤水盐空间变异性研究. 水土保持学报, 2004, 18(2): 10 ~ 12, 20.
- [13] 王政权. 地统计学在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [14] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557 ~ 563.
- [15] 白永飞, 许志信, 李德新. 内蒙古高原茅草草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性. 生态学报, 2002, 22(8): 1215 ~ 1223.
- [16] 陈亚新, 史海滨, 田德德, 等. 水盐空间变异性监测的条件模拟. 水利学报, 2000, (6): 67 ~ 73.
- [17] 白由路, 李保国, 石元春. 基于 GIS 的淮海平原土壤盐分分布与管理研究. 资源科学, 1999, 21(4): 66 ~ 70.
- [18] 胡克林, 李保国, 陈德立, 等. 农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克立格估值. 水科学进展, 2001, 12(4): 460 ~ 466.