

盐渍化弃耕地土壤盐分动态及其影响因素^①

朱宏伟^{1,2}, 夏 军¹, 曹国栋¹, 王绍明¹, 张 霞^{1*}, 王 进³

(1 石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832003; 2 平凉市崆峒区农业技术推广中心, 甘肃平凉 744000;

3 乌兰乌苏农业气象试验站, 新疆石河子 832003)

摘 要:以干旱区盐渍化弃耕地分布的光板地(裸地),不同生长时期的猪毛菜(*Salsola ferganica*)、芦苇(*Phragmites australis*)和盐穗木(*Halostachys caspica*)群落为研究对象,研究了准噶尔盆地南缘玛纳斯河灌区典型盐渍化弃耕地土壤盐分的动态特征,并讨论了影响土壤盐分积累和迁移的环境因素。结果表明:试验区不同植被条件下土壤盐分含量差异较大,土壤0~100 cm各层盐分均为中等强度的变异。在地理地形、地下水位、成土母质等一致条件下,气候的干热变化影响着土壤盐分的季节性变化,植被、土壤质地、土壤水分状况等因素与盐渍化弃耕地土壤盐分积累和迁移关系密切。

关键词:盐渍化弃耕地;盐生植物;土壤盐分;环境因素

中图分类号:S156.4

干旱区具有降雨稀少、蒸发量大的显著特征,是生态环境脆弱的敏感地区^[1]。近年来,伴随着人类活动的干扰,出现了如土地退化、沙漠化、贫瘠化、湖泊萎缩、湿地退化等局部生态环境恶化问题^[2-3]。土壤的盐渍化问题是干旱区土地退化的主要原因之一^[4],也是影响干旱区可持续发展和环境改善的战略问题^[5]。中国西北干旱区属于亚欧干旱气候带的一部分,包括塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地、河西走廊等,区内中生代以来的构造运动形成典型的山盆系统^[6]。这种特殊的山盆构造由于地形封闭、土壤母质含盐重等自然原因土壤含盐量普遍较高^[7]。西北地区耕地的3.93%已经发生盐渍化,占全国盐渍化耕地37.4%^[7]。干旱区土壤盐渍化问题已经严重制约该区的可持续发展,土壤盐渍化研究已经引起科学工作者和社会的广泛关注。

绿洲是干旱荒漠区的三大地理景观(山地、绿洲、荒漠)之一,而人类引水灌溉农耕形成的绿洲农业生态系统则是干旱荒漠区的典型特征之一^[8]。20世纪中期以来本区水土资源大规模开发,引起土壤次生盐渍化,对本区农牧业产生了严重的影响。土地次生盐渍化的加剧导致土地生产力下降,大面积农田被迫弃耕^[9]。土地一旦弃耕,土体中盐分就会迅速随水分蒸发而上行,使盐渍化现象进一步加剧。盐生植物是盐

渍化生境的天然植物区系^[10],因其具有多种在盐渍化环境下的适应生存策略(如避盐、拒盐、泌盐等),因而能在含盐重的土壤上生长。盐生植物在适应胁迫环境的同时,也改变着土壤的生境,并且对于土壤含盐量的改善具有一定作用^[11]。范亚文^[11]通过在大庆地区典型盐渍化土地种植羊草、星星草和碱蓬证明3年后土壤营养成分均有不同程度增加,土壤主要阳离子含量有减少趋势,土壤物理特性也明显改善。董利苹等^[12]的研究也揭示盐生植物生长有助于土壤盐离子的移除。因此,对于盐生植被群落下土壤盐分动态的研究,可以在一定程度上了解不同盐生植物对盐分在土壤分布和运动的影响,为西北干旱区弃耕地盐渍化发生及改良提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在新疆自治区石河子市玛纳斯河灌区进行,该地位于西北干旱区准噶尔盆地南缘古尔班通古特沙漠与玛纳斯绿洲交错带。该区以农业生产为基础,灌溉农业发达,经过50余年的水土开发,地下水位普遍上升,一般在1~3 m间,灌区地下水矿化度在1.0~3.0 g/L(轻矿化水),全灌区盐渍化面积达37%左右,泉水溢出带局部达60%^[13]。随着地区经济的

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(973项目)(2009CB825101)资助。

* 通讯作者(xiazh@shzu.edu.cn)

作者简介:朱宏伟(1985—),男,甘肃平凉人,硕士,主要从事农业生态学研究。E-mail: weiwei_gspl@163.com

发展和人口规模的扩大,次生盐渍化土地面积不断扩大,耕地撂荒现象十分常见。盐渍化弃耕地长时间撂荒,形成天然分布的盐生植物群落,研究区盐生植物以猪毛菜(*Salsola ferganica*)、芦苇(*Phragmites australis*)群落为主,较为常见的盐生植物组成还有白刺(*Nitraria tangutorum*)、碱蓬(*Suaeda microphylla*)、盐穗木(*Halostachys caspica*)、怪柳(*Tamarix karelinii*)等,同时盐渍化光板地(裸地)分布十分普遍,表层常聚积 1~5 cm 盐霜或盐壳,植被覆盖率低于 5%。

1.2 试验区气候特征

研究区远离海洋,气候干燥,属大陆性干旱气候,具有冬冷夏热、日温差大、降水稀少、蒸发量大的特点。年平均气温 6.6℃,极端气温为 42.2~43.1℃和 -38~-43.2℃,土壤最大冻深 1.6 m;平均无霜期为 152 天,降水量 117~198 mm,蒸发量 1 537~1 943 mm,在年内分配上,降水和蒸发基本一致,春、夏季较多,冬季较少。根据试验区新疆乌兰乌苏农业气象试验站(44°17' N, 85°49' E, 海拔高度 468.2 m)提供数据显示:2009 年 11 月至 2010 年 10 月期间 12 个月内降水量达到 351.8 mm,蒸发量为 1 432.3 mm,平均气温 6.92℃。与多年气象数据比较,试验期内降水量显著高于同期值,蒸发量则低于同期值(图 1),年平均气温略高(图 2)。

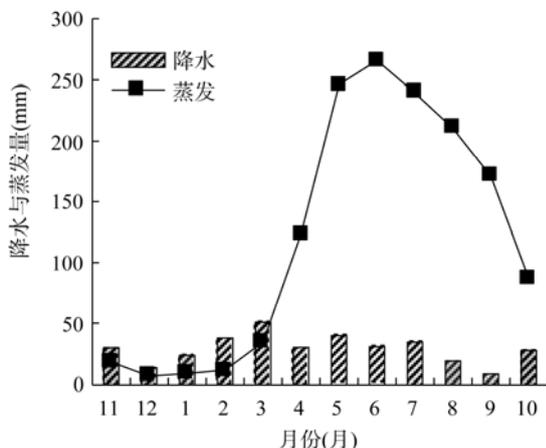


图 1 试验区 2009 年 11 月—2010 年 10 月降水与蒸发量
Fig. 1 Precipitation and evaporation in experimental area from Nov. 2009 to Oct. 2010

1.3 试验布置

选择典型盐渍化弃耕地,地下水位小于 2 m,地势平坦,少人为干扰,弃耕时间超过 30 年,面积达 25 hm²,盐生植被生长良好,猪毛菜为优势种群,盖度达到 50%,伴生芦苇、白刺、碱蓬、骆驼刺等耐盐植物,局地形成芦苇和盐穗木的单优种群,光板地镶嵌分布,植被分布景观十分独特。分别选取猪毛菜、

芦苇、盐穗木为优势种群的弃耕地及盐渍化光板地作为试验小区,4 个试验小区间距离小于 200 m。

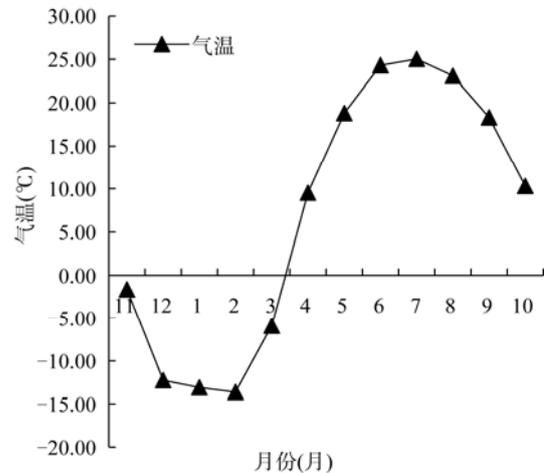


图 2 试验区 2009 年 11 月—2010 年 10 月平均气温
Fig. 2 Temperature in experimental area from Nov. 2009 to Oct. 2010

1.4 土样采集与测定

于 2010 年 4 月 24 日、6 月 22 日、8 月 6 日和 9 月 29 日定点采集各植被覆盖及光板地 0~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80 及 80~100 cm 土层土壤,设置 5 个重复。用烘干减重法(105℃下烘 12~14 h)测定各层土壤含水量,离子滴定法和计算含盐量。于 2010 年 9 月 6 日挖土壤剖面,环刀法取各层原状土,通过 S3500 系列激光粒度分析仪(Microtrac, USA)分析土壤粒径。

实验数据采用 SPSS17.0 进行统计分析,并结合 EXCEL2003 作图。

2 结果与分析

2.1 土壤盐分垂直分布特征

研究不同植被覆盖土壤盐分的垂直分布规律可以了解土壤盐分的积累特征。根据不同盐生植被群落覆盖土壤盐分垂直分布的统计参数(表 1)可知,不同植被类型覆盖各层土壤含盐量差异明显,盐分在土壤垂直剖面上分布变异性也较大。猪毛菜覆盖土壤平均含盐量均高于同深度的其他覆盖类型的土壤含盐量均值,含盐量最大值出现在猪毛菜覆盖的表层(0~5 cm)土壤,达到 25.01 g/kg,是最小值(芦苇覆盖 5~10 cm 土层土壤盐分)的 30 倍。从表中可以看出,裸地、猪毛菜和盐穗木覆盖土壤盐分均呈现一定的表聚性,表层土壤含盐量在盐分垂直分布中最大,其他各层盐分分布变异性较大,呈震荡型特征^[14],而芦苇地盐分统计特征反映出在垂直剖面上盐分含量低且分布

波动较小，呈均匀型。

变异系数(CV)表征数据的离散程度。变异系数可以粗略地分级为：弱变异， $CV < 10\%$ ；中等变异， $10\% \leq CV \leq 100\%$ ；强变异性， $CV > 100\%$ ，在土壤空间变异性研究中，表示土壤特征的变异性强度大小^[15]。研究显示，试验期内土壤垂直剖面的盐分均为中等强度的变异，其中 0~10 cm 浅层土壤盐分变异系数相对较大，以下各层土壤盐分波动较小。

2.2 土壤盐分动态变化

土壤水盐运移过程和运移机理研究是盐渍土研究的核心问题^[16]，土壤盐分动态变化规律的研究是进行盐分运移模拟和盐渍化预报的有效方法。图 3 比较了样地不同植被覆盖条件下土壤盐分在 4 个时期的动态变化。

由图 3 中可以看出不同植被类型土壤盐分垂直分布在 4 个时期内变化特征较为复杂，这可能与植被和土壤环境因素的影响关系较大。裸地盐分垂直分布受植被作用影响较小，土壤 0~30 cm 各层盐分在试验期内呈明显增加趋势，也是土壤剖面上盐分变化最为活跃的部分，其他各层土壤盐分波动较小。猪毛菜覆盖地土壤 0~60 cm 各层盐分在植物生长期内逐渐

增加，到植物凋败期达到最大积盐，底层(80~100 cm)土壤含盐量较低，且随植物生长有脱盐趋势。芦苇覆盖地土壤各层盐分在试验期内整体变化较小，表层(0~5 cm)盐分明显增加，其他各层土壤积盐规律性不强，但总体上 8 月份土壤含盐量较低。盐穗木冠下土壤 0~30 cm 各层盐分变化趋势明显，即 4 月到 6 月上升，8 月下降，9 月又升高，其他各层波动不大。

2.3 影响土壤盐分积累和迁移因素

土壤盐分的积累或者运移是特定的气候、母质、地形和水文等自然条件以及人为活动的产物^[17]，是各种环境因子影响的综合反映^[18]。本研究就影响土壤盐分积累的气候、植被、土壤物理特征等因素展开讨论。

2.3.1 气候条件与土壤盐分动态关系 气候是土壤盐渍化发生的驱动因子^[17]，降水和蒸发直接影响到盐分在土壤中淋洗和上移，蒸发量与降水量的比值反映当地气候的干湿状况和积盐情况，气温与土壤温度和蒸发量密切相关，为土壤盐分运移提供动能^[18]。图 1 和图 2 是 2009 年 11 月至 2010 年 10 月试验区降水、蒸发和气温变化图，气温和蒸发量变化一致，2009 年 11 月至 2010 年 3 月第一次取样前，蒸发量均小于

表 1 不同植被覆盖类型土壤盐分垂直分布统计特征

Table 1 Statistical characteristics of salinity vertical distribution in 0-100 cm soil depth under different vegetation covers

植被类型	统计参数	土层 (cm)							
		0~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~60	60~80	80~100
裸地	最大值(g/kg)	13.88	8.63	9.18	8.09	9.14	9.59	7.13	14.31
	最小值(g/kg)	1.50	1.50	2.92	3.75	3.30	4.94	3.24	4.39
	均值(g/kg)	8.18	5.31	5.98	6.31	6.56	7.42	5.27	6.81
	标准差(g/kg)	4.55	2.88	2.18	1.48	2.04	1.44	1.15	2.57
	变异系数	0.56	0.54	0.37	0.24	0.31	0.20	0.22	0.38
猪毛菜	最大值(g/kg)	25.01	14.31	11.36	11.81	13.28	12.47	13.73	10.37
	最小值(g/kg)	1.65	2.03	2.35	3.61	3.00	5.51	4.41	3.90
	均值(g/kg)	9.35	7.11	7.49	7.41	7.52	8.71	8.82	7.42
	标准差(g/kg)	5.84	3.72	2.57	2.33	2.22	1.71	2.32	1.82
	变异系数	0.62	0.53	0.34	0.32	0.30	0.19	0.25	0.24
芦苇	最大值(g/kg)	10.01	8.01	11.11	10.32	9.92	9.31	9.72	12.91
	最小值(g/kg)	2.42	0.77	2.15	2.72	3.71	2.42	3.26	2.77
	均值(g/kg)	5.32	4.57	6.10	5.72	6.46	6.02	6.11	6.29
	标准差(g/kg)	2.31	1.91	2.17	1.72	1.28	1.89	1.78	2.42
	变异系数	0.43	0.42	0.36	0.30	0.20	0.31	0.29	0.39
盐穗木	最大值(g/kg)	13.38	9.45	9.82	10.44	11.64	10.31	10.43	10.82
	最小值(g/kg)	3.12	2.32	4.12	2.72	4.03	4.46	4.45	2.41
	均值(g/kg)	9.52	7.01	7.22	6.71	7.50	7.41	7.91	6.62
	标准差(g/kg)	3.14	2.11	2.00	2.22	2.31	1.82	1.73	2.43
	变异系数	0.33	0.30	0.28	0.33	0.31	0.25	0.22	0.37

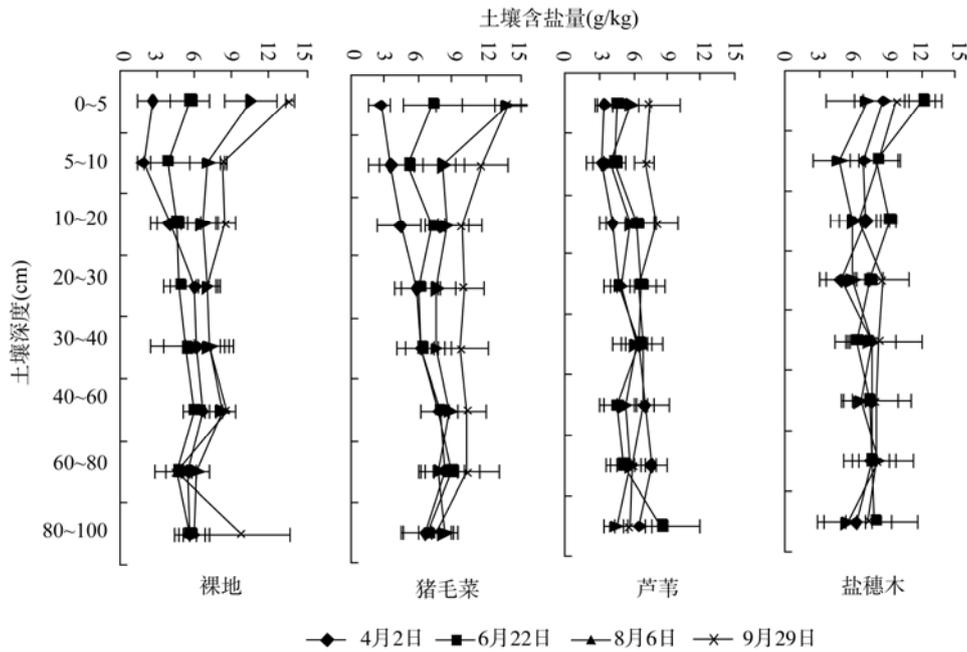


图 3 不同植被覆盖土壤盐分动态变化

Fig. 3 Dynamic changes of soil salinity under different vegetation covers

降水量,且气温为负值,充足降水有利于在土壤解冻时盐分的淋洗,4月至9月间蒸降比增加,气候干热,土壤积盐明显,这与图3所示结果一致,但由于干旱区降水量有限,深层土壤盐分变化不够明显,值得注意的是盐穗木覆盖地土壤盐分在8月6日测定值是各时期最低。

2.3.2 盐生植物对土壤盐分分布作用 盐生植物具有多种适应盐渍化环境的策略(如避盐、稀盐、拒盐、耐盐等),因而能在含盐量高的土壤上生长^[19]。在盐胁迫下,一方面植物根际有积累盐分的趋势^[20],另一方面,盐生植物的分布有利于土壤质地的改善,减少地面蒸发作用。有研究发现,种植盐生植物可以有效促进土壤脱盐^[12]。

本研究中3种供试植物均为干旱区典型盐生植物(表2)。猪毛菜属一年生草本的稀盐盐生植物,植物在吸收土壤水分的同时,大量盐分也进入植物体内,茎和叶通过肉质化降低细胞质渗透压,维持细胞正常代谢。但自然条件下,植物枯死后产生的残体经过分解后释放出大量盐分,盐分重新回到土壤中反而

会加重土壤盐渍化。本研究结果显示,猪毛菜样地土壤含盐量表聚性明显,且各层土壤含盐量较高。芦苇为多年生草本植物,通过对实验条件下人工种植芦苇的耐盐性研究,发现它具有相当强的耐盐能力(500 mmol/L),并且具有一定限制Na⁺从根部进入地上部的能力^[21-22],其根系在土壤中交错分布,对于土壤通透性改善十分有利,研究表明芦苇覆盖土壤各层含盐量均处于较低水平。盐穗木属多年生灌木,幼茎和叶发生肉质化,具有泌盐结构,通过稀盐和泌盐能力适应盐渍环境。有调查表明,有盐生灌木生长的地方,最初的土壤含盐量多数情况下是低于背景土的,但是在盐生灌木生长过程中,根冠区的土壤盐分有升高趋势^[23],刘德江等^[24]研究梭梭土壤盐分特征时也发现梭梭根部积盐明显,形成以灌丛为中心的“盐岛”。本研究也发现盐穗木冠下土壤平均含盐量高于背景土(裸地),一方面,当年枯死的枝叶凋落至冠下,盐分释放,造成盐分“回留”;另一方面,植物根系吸收水分的同时,大量盐分随之在根际聚集,引起根冠区的盐分聚集。

表 2 供试盐生植物概况

Table 2 Tested halophytes in experimental area

植被类型	所属科	生活型	生境	耐盐对策类型
猪毛菜	藜科	一年生草本	耐旱耐盐碱,成丛生于荒地、盐碱地、沙丘周围及路边	稀盐盐生植物
芦苇	禾本科	多年生草本	多水生,耐旱,耐盐碱,分布于浅水、湿地、沙地、盐化草甸等	拒盐盐生植物
盐穗木	藜科	半灌木或灌木	耐盐碱,生于盐渍化较轻及龟裂盐渍土	稀盐或泌盐盐生植物

2.3.3 土壤含水量与盐分关系 土壤水是盐分运动的载体^[18]，对试验期内不同样地土壤各层平均含水量与平均含盐量关系进行拟合结果如表 3。可以看出土壤含水量与土壤含盐量线性关系较差，相对来说，两者的二阶多项式拟合关系较好，其中盐穗木地土壤含水量对含盐量的 R^2 达到 0.890 8，方程 $y = 0.006 3x^2 - 0.206 7x + 2.384 8$ (其中 x 代表土壤含水量， y 代表土壤含盐量)可以较好地拟合了两者关系。

2.3.4 土壤机械组成对土壤盐分运移的影响 土壤机械组成或土壤质地决定了土壤的孔隙状况和结构类型，进而影响盐分在土壤中的迁移。砂质土颗粒粗，粒间孔隙大，毛细作用弱，渗透性强，排水良好，有利于土壤脱盐；黏质土颗粒细，毛管孔隙多，但孔径小，土壤积盐慢，同时脱盐也慢；壤质土毛管孔隙多且孔径大小适中，有利于水分运动，因此比砂质和

黏质土壤易于积盐。依据国际制土壤质地分类标准划分试验区不同植被覆盖类型各层土壤质地类型，其中裸地 0~20、30~40 和 80~100 cm 为壤质土，其余各层为砂质土；猪毛菜样地 0~40、60~80 cm 为壤质土，40~60、80~100 cm 为砂质土；芦苇地土壤除了表层(0~5 cm)的壤土和底层(80~100 cm)的砂土，中间各层以黏土和黏壤土为主；盐穗木冠下土壤中上层(5~60 cm)以黏壤土为主，60~100 cm 深度均为砂质土。结合图 3 分析，壤土多分布于各样地上层，也是含量盐较高区域，裸地和猪毛菜样地垂直剖面的砂层(砂土分布层)在一定程度上减缓了土壤盐分的上行，而在有限降水条件下，对于表层土壤盐分淋洗作用微弱。芦苇样地土壤黏性较强，不利于盐分的迁移，土壤含盐量与波动均较小。盐穗木冠下土壤也呈现较高黏性，土壤盐分表聚性强烈，土壤盐分波动性没有裸地和猪毛菜样地明显。

表 3 土壤含水量与土壤含盐量拟合关系
Table 3 Relationship between soil water content and salt content

植被类型	线性拟合方程	R^2	二阶多项式拟合方程	R^2
裸地	$y = 0.003 6x + 0.591 1$	0.004 6	$y = 0.022 9x^2 - 0.734 3x + 6.461 9$	0.535 9
猪毛菜	$y = 0.005 4x + 0.715 2$	0.022 6	$y = 0.012 7x^2 - 0.361 7x + 3.312 7$	0.584 6
芦苇	$y = 0.015 1x + 0.343 9$	0.487 6	$y = 0.002 0x^2 - 0.042 3x + 0.731 0$	0.523 4
盐穗木	$y = -0.016 5x + 1.023 6$	0.368 4	$y = 0.006 3x^2 - 0.206 7x + 2.384 8$	0.890 8

表 4 不同植被类型覆盖土壤质地类型
Table 4 Soil texture classification under different vegetation covers

植被类型	土壤深度(cm)	质地	植被类型	土壤深度(cm)	质地
裸地	0~5	壤土类	芦苇	0~5	壤土类
	5~10	壤土类		5~10	黏壤土类
	10~20	壤土类		10~20	黏壤土类
	20~30	砂土类		20~30	黏土类
	30~40	壤土类		30~40	壤土类
	40~60	砂土类		40~60	黏土类
	60~80	砂土类		60~80	黏壤土类
猪毛菜	80~100	壤土类	盐穗木	80~100	砂土类
	0~5	壤土类		0~5	壤土类
	5~10	壤土类		5~10	黏壤土类
	10~20	壤土类		10~20	黏壤土类
	20~30	壤土类		20~30	黏壤土类
	30~40	壤土类		30~40	壤土类
	40~60	砂土类		40~60	黏壤土类
	60~80	壤土类		60~80	砂土类
	80~100	砂土类		80~100	砂土类

3 结论

本文以西北干旱区典型盐渍化弃耕地为研究区,通过对盐生植物群落土壤盐分分布的动态进行研究,并探讨影响土壤盐分分布特征的几个因素,得到如下几个结论:

(1) 盐渍土在空间和时间上的分布变异性较大。在地理地形、地下水位、成土母质等因素一致的情况下,自然条件下的盐渍土发生受到植被条件干扰显著,本研究显示在 4 种植被条件下,土壤盐分空间变异属中等强度变异;在试验期内,土壤盐分受气候、土壤结构等的影响,土壤表层盐分波动性更大。

(2) 气候条件影响下的土壤水分状况是影响弃耕地盐分积累和迁移的驱动因子。研究区地处高纬度西北内陆,冬季漫长(11 月至次年 3 月),期间降水以降雪为主,在次年 4 月天气转暖时持续融化,形成充足水源,对于土壤表层盐分淋洗作用明显,同时盐生植物在此时获得良好的水土条件,迅速萌发和形成幼苗。进入炎热夏季(6 月至 8 月),蒸降比逐渐增大,土壤积盐趋势明显,试验结果显示土壤表层盐分变化更为剧烈。

不同盐生植物对土壤盐分积累影响效果区别较大。芦苇和盐穗木覆盖地土壤质地以黏质土为主,而猪毛菜样地表层以壤土为主。本研究认为猪毛菜和盐穗木的生长对于土壤脱盐十分不利,调查表明盐穗木冠下土壤形成“盐岛”,而猪毛菜群落土壤盐分表聚性明显;而芦苇样地各层土壤平均含盐量均较低,盐分在生长期上下波动较小,不利于土壤脱盐,所以芦苇对于盐渍土的生物作用有必要进行进一步研究。因此,弃耕地状态下盐生植物对盐渍化土地恢复效果有待长期监测研究。

参考文献:

- [1] Reynolds JF, Smith DMS, Lambin E. Global desertification: building a science for dryland development[J]. *Science*, 2007, 316(11): 847-851
- [2] 王立洪, 张斌, 万英. 新疆南疆农业灌溉对生态与环境影响[J]. *水土保持研究*, 2002, 9(1): 30-34
- [3] 满苏尔·沙比提, 海鹰, 帕尔哈提·艾孜木. 渭干河-库车河三角洲绿洲 50a 来农业开发及所引发的生态问题探析[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(3): 349-354
- [4] 郑度. 中国西北干旱区环境问题与生态建设[J]. *河北师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 30(3): 349-352
- [5] Zhou SW, Zhang GY, Zhang X. Exchange reaction between selenite and hydroxylion of variable charge soil surfaces: I. Electrolyte species and pH effects[J]. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 227-232
- [6] 曲焕林. 中国干旱半干旱地区地下水资源评价[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 16-17
- [7] 樊自立, 马英杰, 马映军. 中国西部地区的盐渍土及其改良利用[J]. *干旱区研究*, 2001, 18(3): 1-6
- [8] 高艳红, 陈玉春, 吕世华. 灌溉在现代绿洲维持与发展中的重要作用[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(4): 383-386
- [9] 戎郁萍. 我国弃耕地植被的恢复与重建研究概述[J]. *四川草原*, 2004(5): 1-4
- [10] Jennings DH. The effects of sodium chloride on higher plants[J]. *Biological reviews*, 1976, 51: 453-486
- [11] 范亚文. 种植耐盐植物改良盐碱土的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2001: 9-12, 73-74
- [12] 董利苹, 曹靖, 李先婷, 代立兰, 苏怡兵. 不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化[J]. *生态学报*, 2011, 31(10): 2 813-2 821
- [13] 吴宝海. 玛纳斯河灌区主要生态环境问题及修复对策研究[D]. 南京: 河海大学, 2005: 20-29
- [14] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 龙桃. 不同耕种时间下土壤剖面盐分动态变化规律及其影响因素研究[J]. *土壤学报*, 2010, 27(3): 429-438
- [15] 张飞, 丁建力, 塔西甫拉提·特依拜, 王伯超. 干旱区典型绿洲土壤盐渍化特征分析——以渭干河-库车河三角洲为[J]. *草业学报*, 2007, 16(4): 34-40
- [16] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 837-845
- [17] 王雪梅, 柴仲平, 塔西甫拉提·特依拜, 龚爱谨, 程红梅. 干旱区土壤盐渍化及其影响因子分析——以渭干河-库车河三角洲绿洲为例[J]. *土壤*, 2009, 41(3): 477-482
- [18] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 刘军, 南丽丽. 半干旱地区环境因素与表层土壤积盐关系的研究[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 957-963
- [19] 徐恒刚. 中国盐生植被及盐渍化生态治理[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004: 9-15
- [20] 丁应祥, 梁珍海, 康立新, 胡永清, 赵洪武. 滨海土壤上杨树根际微区性状的研究[J]. *南京林业大学学报*, 1996, 20(2): 15-19
- [21] Matsushita N, Matoh T. Characterization of Na exclusion mechanisms of salt-tolerant reed plant in comparison with salt-sensitive rice plant[J]. *Physiol Plant*. 1991, 83: 170-176
- [22] 赵可夫, 冯立田, 张圣强. 黄河三角洲不同生态型芦苇对盐度适应生理的研究 I. 渗透调节物质及其贡献[J]. *生态学报*, 1998, 18(5): 463-469
- [23] 郝金标, 张福锁, 田长彦. 新疆盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 23-45
- [24] 刘德江, 刘耘华, 盛建东, 张瑾, 刘永刚. 北疆荒漠植被梭梭立地土壤盐分特征研究[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(2): 47-51

Dynamic Change of Soil Salinity in Salinization Abandoned Farmland and Affecting Factors

ZHU Hong-wei^{1,2}, XIA Jun¹, CAO Guo-dong¹, WANG Shao-ming¹, ZHANG Xia^{1*}, WANG Jin³

(1 College of Life Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China; 2 Agricultural Technique Extension Center of Kongtong District, Pingliang City, Pingliang, Gansu 744000, China; 3 Wulanwusu Agrometeorological Experiment Station, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: The dynamic characteristics of soil salt in salinization abandoned farmland were studied under the covers of *Salsola ferganica*, *Phragmites australis* and *Halostachys caspica* in the irrigation area of arid Manas River in the southern margin of Junggar Basin, and the environmental factors which affect soil salt accumulation and migration were discussed. The results indicated that soil salt content was different greatly under different vegetation covers, the variation coefficients of soil salt content were moderated within 0–100cm depth. Under the same geographical terrain, groundwater level and soil parent material etc., climate change affected the seasonal change of soil salinity. The process of salt accumulation and migration was closely related with environmental factors such as vegetation, soil texture and soil moisture.

Key words: Salinization abandoned farmland, Halophytes, Soil salt, Environmental factors