

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.01.026

王旭, 樊丽琴, 张永宏, 等. 造林树木对宁夏盐碱土水盐分布的影响. 土壤, 2023, 55(1): 211–217.

造林树木对宁夏盐碱土水盐分布的影响^①

王旭^{1,2}, 樊丽琴^{1,2}, 张永宏^{1,2}, 沈婧丽^{1,2}, 肖爱萍³, 赵瑞娟⁴

(1 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002; 2 国家农业环境银川观测实验站, 银川 750002; 3 宁夏畜牧工作站, 银川 750002; 4 永宁县李俊镇人民政府农业服务中心, 宁夏永宁 750103)

摘要: 针对宁夏盐碱土壤盐分在土体迁移的特点, 不同造林树木对盐碱土水盐空间分布特征有差异的实际问题, 采用野外调查与室内检测相结合的方法, 进行不同造林树木对宁夏盐碱土水盐空间分布及土壤盐碱性质的影响研究。结果表明: ①盐柳小区地表土壤水分随树干越远土壤含水率越高, 盐分在远离树干 20~60 cm 土壤剖面累积; 柽柳小区在 60~100 cm 土层处的土壤含水率明显低于其他土层, 9901 柳小区 40~80 cm 土层处土壤含水率最低, 柽柳、9901 柳小区土壤盐分累积在 60 cm 以下土层; ②3 种造林树木条件下表层土壤水分属中等变异, 其他土层属弱变异, 盐柳、9901 柳小区土壤盐分属中等变异, 柽柳小区 0~40 cm 土壤盐分属中等变异, 40 cm 以下土层属弱变异; ③种植树木降低土壤 pH、容重, 越靠近树干效果越明显, 3 种树木土壤的 pH、容重属弱变异, 空间分布较均匀。研究结果揭示了不同造林树木对土壤水盐分布的影响, 对盐碱地植被恢复具有指导意义。

关键词: 土壤盐分; 水盐分布; 盐碱土; 造林树木

中图分类号: S156.4 **文献标志码:** A

Effects of Afforestation Trees on Soil Water-salt Distribution in Saline-alkali Soil of Ningxia

WANG Xu^{1,2}, FAN Liqin^{1,2}, ZHANG Yonghong^{1,2}, SHEN Jingli^{1,2}, XIAO Aiping³, ZHAO Ruijuan⁴

(1 Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 2 National Agricultural Environment Observation and Experiment Station in Yinchuan, Yinchuan 750002, China; 3 Ningxia Animal Husbandry Workstation, Yinchuan 750002, China; 4 People's Government Agricultural Service Center of Lijun Town, Yongning, Ningxia 750103, China)

Abstract: The spatial distribution of water-salt is different in saline-alkali soils under different afforestation trees. The effects of different afforestation trees on soil water-salt distribution and saline-alkali soil properties were studied through using field investigation and indoor detection in Ningxia. The results show that: 1) In *Salix psammophila* plot, the further from the trunk, the higher topsoil moisture is, and salt is accumulated in 20–60 cm soil layer away from the tree trunk. Soil moisture is significantly lower in 60–100 cm layer in *Tamarix chinensis* plot than in other layers, soil moisture is the lowest in 40–80 cm layer in *Salix matsudana* ‘9901’ plot, salt is accumulated below 60 cm layer in *Tamarix chinensis* and *Salix matsudana* ‘9901’ plots. 2) Topsoil moisture is moderate variation under three afforestation trees and weak variation in other layers. Soil salinity are moderate variation in *Salix psammophila* and *Salix matsudana* ‘9901’ plots, moderate variation in 0–40 cm layer in *Tamarix chinensis* plot, and weak variation in layer below 40 cm. 3) Planting trees can reduce soil pH and bulk density, and the effects are more obvious when the trees are closer to the trunk. Soil pH and bulk density of the three trees show weak variation and relatively uniform spatial distribution. The results reveal the influence of different afforestation trees on soil water-salt distribution in saline-alkali soil, which is of significance for the restoration of vegetation in saline-alkali land.

Key words: Soil salinity; Water-salt distribution; Saline-alkali soil; Afforestation trees

土壤盐碱化严重制约干旱、半干旱地区农业高质量发展, 影响当地生态环境。据统计, 全球受土壤盐碱化影响的国家和地区超过一百个, 面积达 9.5 亿公

顷^[1-2]。分布于我国境内的盐渍土面积近 1 亿公顷, 主要分布在西北、东北、华北和滨海地区^[3-4]。随着人口不断增长带来的人均耕地面积减少等问题日益

①基金项目: 第五批“宁夏青年科技人才托举工程”项目、宁夏自然科学基金项目(2020AAC03301)和农业基础性长期性科技工作观测监测项目(NAES091AE18)资助。

作者简介: 王旭(1990—), 男, 宁夏中卫人, 博士, 副研究员, 主要从事盐碱地水土资源高效利用研究。E-mail: wangxu640321@126.com

突出,盐碱土作为潜在的后备土地资源,其合理改良利用是开辟新土地资源、改善生态环境的重要途径。

宁夏地处我国西北内陆干旱区,北部引黄灌区具有蒸降比大、地下水位高、盐分上移占优势等区域特点,导致土壤盐碱化严重,盐碱化耕地面积为 $1.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占耕地总面积的 33.54%^[5]。受气候、地形的影响,该地区土壤盐分迁移以垂直为主,盐分表聚特征明显。系统认识和掌握水盐分布规律,是改良利用盐碱地的基础^[6-8]。灌水洗盐是治理盐渍土的有效途径之一,但西北旱区受水资源短缺的刚性束缚,难以进行大面积漫灌洗盐^[9]。土壤盐分时空分布规律与地表覆被类型、地形地貌等环境因素密切相关^[10]。“高垄+滴灌”模式能对宁夏低洼盐碱地土壤盐分进行时空调控,使盐分聚集于非种植区,提高苗木成活率^[11]。生物措施是改良利用盐渍土最绿色经济的途径之一,种植多年生耐盐植被能充分发挥其生物和非生物功能^[12]。宁夏引黄灌区种植耐盐碱植物,在其根系穿插作用下,可提高土壤孔隙度、降低土壤容重^[13]。此外,植物根系在土壤中会分泌蛋白质、肽和有机酸等物质,有利于土壤有机质的累积^[14]。泌盐植物受盐腺分泌作用的影响,能吸收根际土壤中的部分可溶性盐,种植泌盐类牧草通过刈割能带走土壤盐分^[15-16]。宁夏银北盐碱地区种植柽柳、油葵、苇状羊茅 3 种耐盐植物后土壤含盐量明显降低,土壤肥力提升显著,交换性 Na^+ 含量显著降低^[6]。与此同时,植被覆盖能有效减少土壤水分蒸发,在一定程度上抑制盐分向地表迁移^[17]。

目前,关于盐碱地耐盐植物的研究主要集中在不同植物对土壤水盐的影响方面,针对宁夏银北地区盐碱土种植不同耐盐树木引起的土壤水盐、pH、容重空间分布规律及水盐变异性方面的研究仍显不足。因此,本研究结合区域特色,通过监测不同造林树木对宁夏盐碱土壤水盐空间分布及变异性的影响,揭示不同造林树木下宁夏盐碱土水盐空间分布规律,为盐碱地植被恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

土壤样本采集于宁夏平罗县盐改站($38^\circ 51' \text{N}$, $106^\circ 31' \text{E}$),该地区属于典型的干旱大陆性气候,年平均降水 185 mm,主要集中在 7—9 月;年蒸发量 1 841 mm 以上,蒸降比为 10 左右;年平均地下水埋深 1.5 m,地下水矿化度 $< 3 \text{ g/L}$ 。降水时空分布不均,春季返盐明显。该地区地势平坦低洼,排水不畅,地

下水位高,导致土壤盐碱化严重,影响当地农林业发展和生态环境。该地区于 2015 年 4 月进行人工造林,包括盐柳 (*Salix psammophila*)、柽柳 (*Tamarix chinensis*)、9901 柳 (*Salix matsudana* ‘9901’)、白蜡 (*Fraxinus chinensis* R.)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn.) 等品种,9901 柳、盐柳株行距均为 $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$,柽柳株行距为 $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。造林前各小区均为盐碱撂荒地,地表有明显的盐斑,土壤全盐为 3.92 g/kg ,pH 为 9.17,碱解氮为 23.46 mg/kg 、有效磷为 7.03 mg/kg 、速效钾为 331.26 mg/kg 、有机质为 10.43 g/kg 。

1.2 调查与采样

在搜集资料的基础上,2020 年在宁夏平罗县盐改站确定土壤采样点。该试验站自 2015 年进行人工造林以来部分耐盐碱树种长势较好覆盖度高,一些轻度耐盐碱的树已枯萎,除人造林以外地表植被包括:碱蓬 (*Suaeda glauca*)、芦苇 (*Phragmites communis*) 等,人造林由于植被覆盖地表返盐强度弱于未造林的空地。柽柳、盐柳、9901 柳 3 种造林树木长势较好,因此选择这 3 种树木小区为定位监测样地。每种树木设置 3 个重复小区。4—10 月每月中旬采一次土样,人工挖 0~100 cm 土壤剖面,分别距树干 20、40、60、80、100 cm 以地表为基准取 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土样装入自封袋带回室内进行检测,同时用环刀取土以测定土壤容重,每个样品 3 次重复。未造林的空地同步采集土样。

1.3 土壤样品处理与测定

采集的土壤样品带回实验室,剔除土壤样品中的杂物,自然风干、磨碎、过 1 mm 孔径筛^[18]。容重采用环刀法测定;土壤含水率采用烘干法测定;按 1:2.5 ($m:V$) 土水比充分振荡摇匀取上清液,采用 Mettler Toledo S220 多参数测试仪测定 pH^[18];按 1:5 ($m:V$) 土水比充分振荡摇匀取上清液,采用 DDS-307A 土壤电导率仪测定,并换算成全盐含量^[18-20]。

1.4 数据分析及处理

采用 SPSS 17.0 统计软件进行分析,采用 Surfer 10 作 Contour 图、3D Wireframe 图。

2 结果与分析

2.1 不同造林树木条件下土壤水分空间分布特征

用 4—10 月平均值进行土壤水分空间分布特征分析,空地 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土壤含水率分别为 16.01%、21.93%、13.97%、18.51%、21.35%。种植树木影响土壤水分空间分布,0~40 cm 随土层深度增加土壤含水率呈增

加趋势, 40 cm 以下土层土壤水分呈先减小后增加的趋势, 土壤剖面 40 cm 处为土壤水分富集区; 表层土壤含水率表现为靠近树干低、远离树干高, 80~100 cm 土层土壤含水率随树干距离增加呈增加趋势(图 1)。盐柳小区距树干越远表层土壤含水率越高, 60 cm 以下土壤水分随土层深度增加呈增加趋势, 40 cm 土层土壤含水率较高, 临近和远离树干的区域更加明显。怪柳小区 60~80 cm 土层土壤含水率最低(13%), 40 cm 土层处为水分富集区, 距树干 80 cm 处剖面 30~50 cm 土壤含水率最高(21%)。9901 柳小区 60 cm 土层土壤

含水率最低(12%), 随土层深度增加土壤含水率呈先增加后减小再增加的趋势, 距树干 40 cm 处剖面 20~40 cm 土壤含水率最高(22%)。

2.2 不同造林树木条件下土壤盐分空间分布特征

用 4—10 月平均值进行土壤盐分空间分布特征分析, 空地 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土壤含盐量分别为 2.9、1.99、2.26、2.18、2.5 g/kg。与空地相比, 种植树木影响土壤盐分空间分布, 种植树木小区的土壤盐分明显低于空地(图 2), 空地土壤盐分随土层深度增加呈先减小后缓慢增加

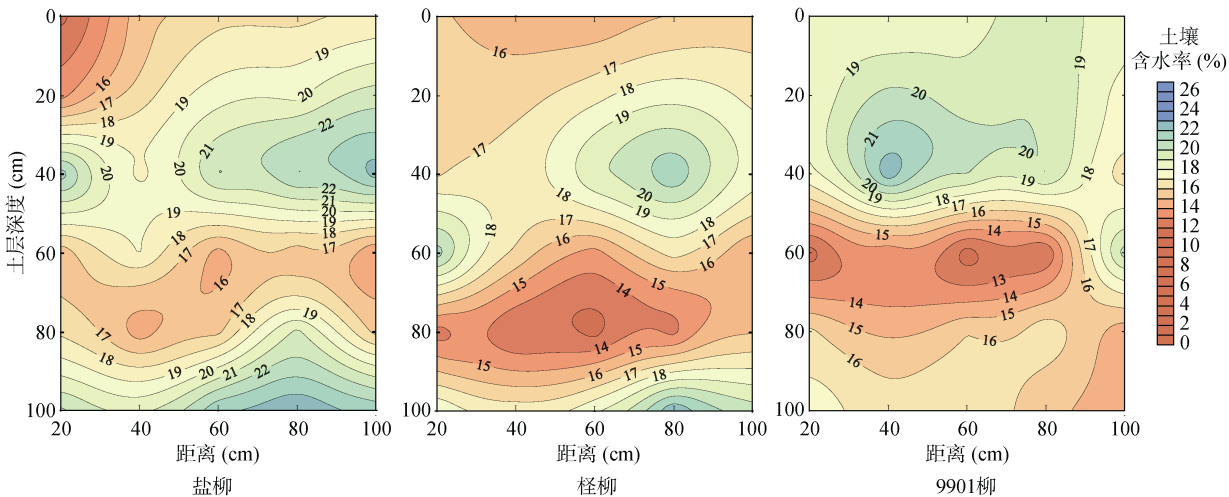


图 1 三种树木土壤水分空间分布
Fig. 1 Spatial distributions of soil moisture under three afforestation trees

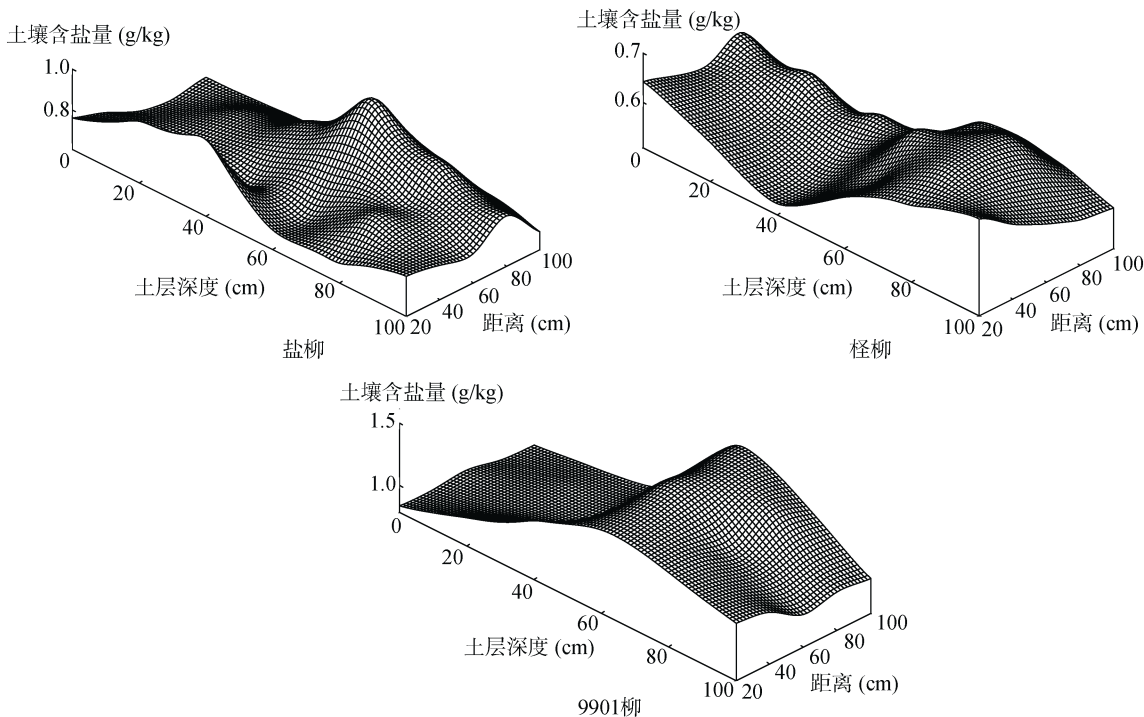


图 2 三种树木土壤盐分空间分布
Fig. 2 Spatial distributions of soil salinity under three afforestation trees

的趋势,盐分表聚特征明显。盐柳小区随土层深度增加土壤盐分呈先增加后减小的趋势,0~40 cm 土层土壤盐分随树干距离增加呈降低趋势,随树干距离增加 60 cm 剖面土壤盐分逐渐增加,盐分迁移累积至 40~60 cm 土层。桤柳小区土壤盐分随土层深度增加呈先减小后增加的趋势,距树干 20 cm 区域土壤剖面盐分呈“V”型分布,40 cm 土壤剖面盐分含量最低,随树干距离增加土壤盐分呈波浪形分布。9901 柳小区土壤盐分呈先增加后减小的趋势,剖面 60 cm 处土壤盐分累积明显,表层土壤含盐量随树干距离变化无差异。

2.3 不同造林树木条件下土壤 pH 空间分布特征

用 4—10 月平均值进行土壤 pH 空间分布特征分析,空地 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土壤 pH 分别为 9.25、9.36、9.15、9.27、9.38,

盐柳、桤柳小区土壤 pH 低于空地(图 3)。盐柳小区距树干 100 cm 处表层和底层土壤 pH 均高于其他区域,随土层深度增加土壤 pH 呈先降低后升高的趋势,20~40 cm 土层土壤 pH 较低,80~100 cm 土层土壤 pH 较高。桤柳小区随树干距离增加,0~20 cm 土层土壤 pH 呈升高趋势,20~60 cm 土层土壤 pH 呈先升高后降低再升高的趋势,60 cm 以下土层随树干距离增加土壤 pH 呈先降低后升高的趋势;距树干 20 cm 随土层深度增加土壤 pH 呈递增趋势,但其他区域均随土层深度增加土壤 pH 呈先升高后降低的趋势。9901 柳小区 0~20 cm 土层土壤 pH 较低,均低于 8.5,0~20 cm 土壤 pH 随树干距离增加呈先升高后降低再升高的趋势,20~60 cm 土壤 pH 随树干距离增加呈先降低后升高的趋势,距树干 100 cm 处 80~100 cm 土层区域土壤 pH 最高,为 9.45。

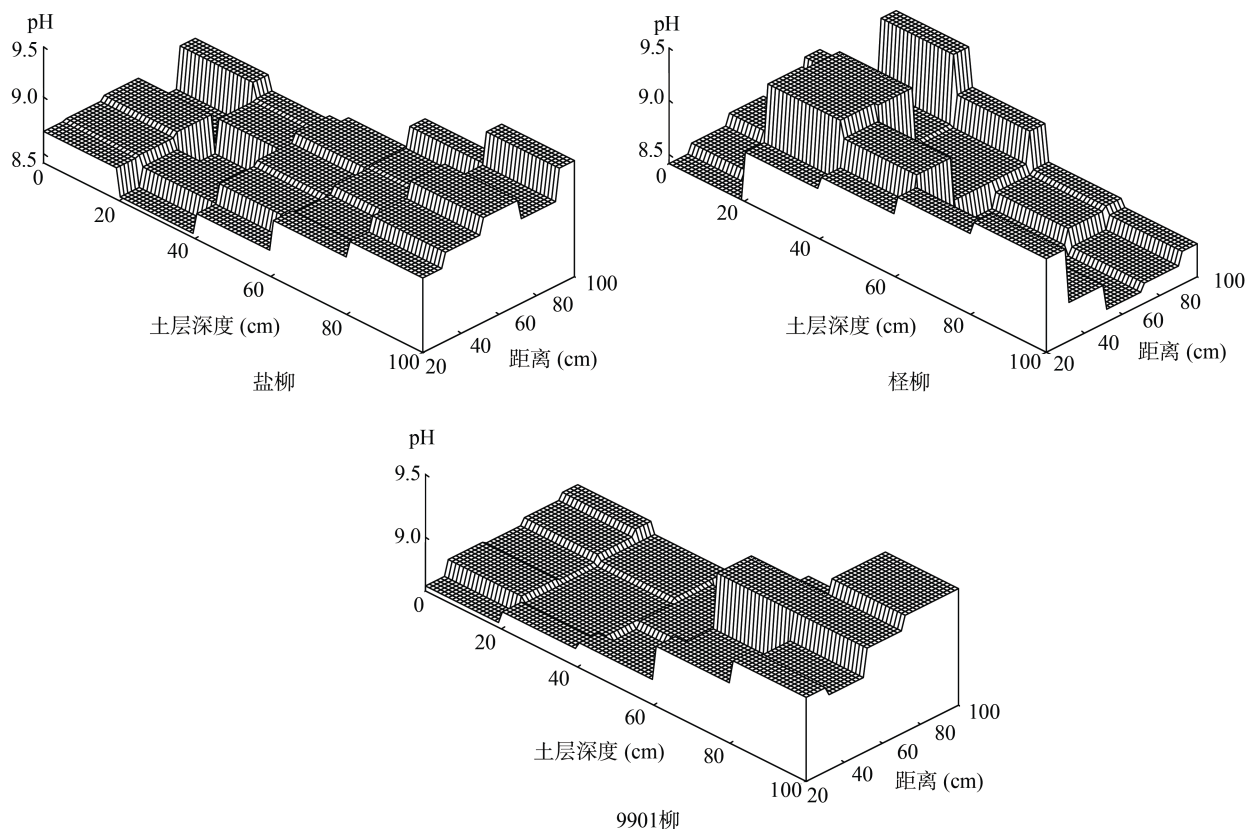


图 3 三种树木土壤 pH 空间分布

Fig. 3 Spatial distributions of soil pH under three afforestation trees

2.4 不同造林树木条件下土壤容重空间分布特征

用 4—10 月平均值进行土壤容重空间分布特征分析,空地 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 土层土壤容重分别为 1.53、1.54、1.8、1.73、1.71 g/cm³。种植树木后土壤容重低于空地,空地土壤容重均高于 1.5 g/cm³,种植树木后靠近树干区域

表层土壤容重较低,均低于 1.37 g/cm³(图 4)。盐柳小区树干附近表层土壤容重降低较明显,距树干 60 cm 范围内 0~20 cm 土层土壤容重低于其他土层,随树干距离增加土壤容重呈增加趋势,根系对靠近树干的土壤容重影响较明显;距树干 20 cm 处表层土壤容重最低,随土层深度增加土壤容重呈增加趋势。盐柳、

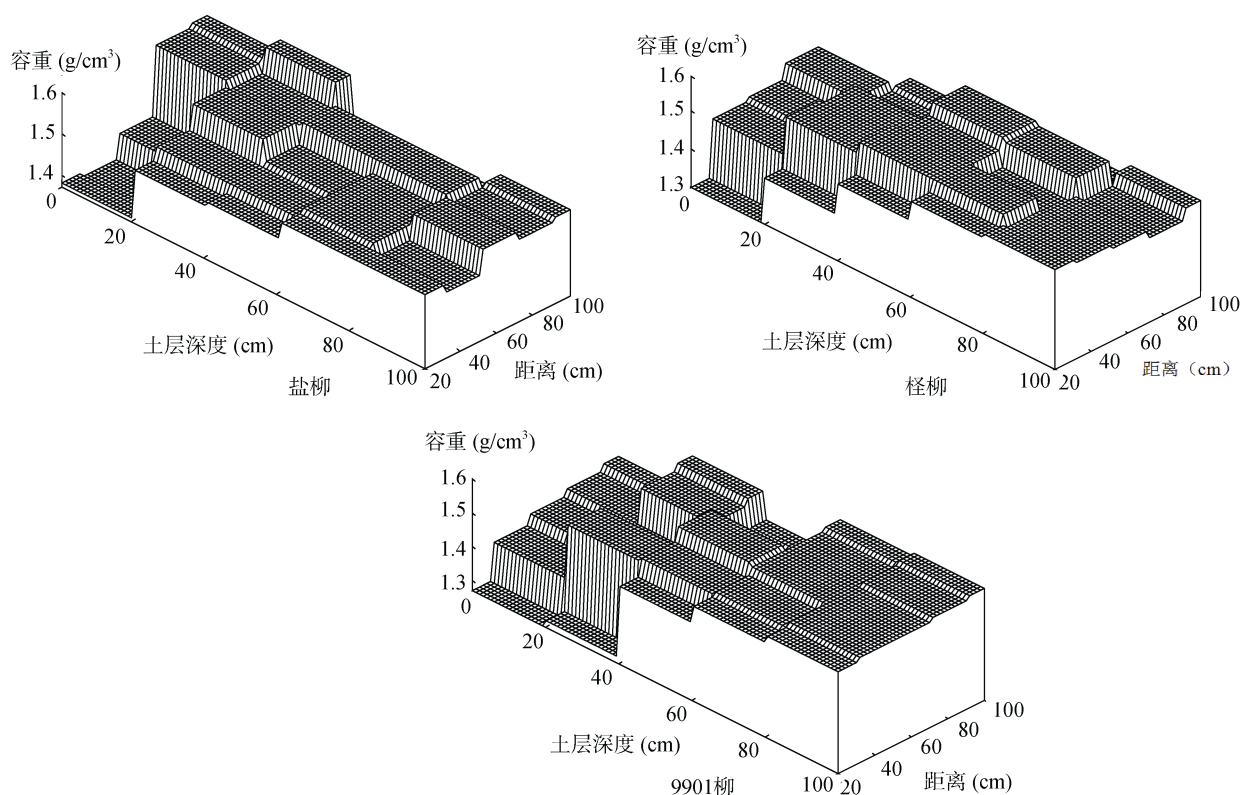


图 4 三种树木土壤容重空间分布

Fig. 4 Spatial distributions of soil bulk density under three afforestation trees

桤柳、9901 柳小区 0 ~ 20 cm 土层土壤容重比空地分别降低 9.8%、15.0%、16.3%。桤柳小区 0 ~ 20 cm 土层土壤容重为 1.3 g/cm³，随树干距离增加，土壤容重呈增加的趋势；距树干 20 cm 随土层深度增加，土壤容重呈增加的趋势，但其他区域均随土层深度增加土壤容重呈先增加后降低的趋势。9901 柳小区 0 ~ 20 cm 土层土壤容重最低，为 1.28 g/cm³，60 cm 土层以下土壤容重高于其他土层，随土层深度增加土壤容重呈增加的趋势，随树干距离增加 0 ~ 20 cm 土层土壤容重呈增加的趋势。

2.5 不同造林树木条件下土壤盐碱化指标描述性统计特征

变异系数能在一定程度上反映变量的空间分布特征，变异系数 < 10% 为弱变异，变异系数 10% ~ 100% 为中等变异，变异系数 > 100% 为强变异^[21]。对 3 种树木不同水平距离土样的含水率、含盐量、pH、容重指标进行统计分析(表 1)，土壤 4 个指标的变异系数均低于 100%，无强变异，说明土壤水分、盐分、pH、容重空间分布相对均匀。其中 3 种树木土壤的 pH、容重在不同土层变异系数均低于 10%，属弱变异，说明 3 种树木条件下土壤的酸碱性和容重空间分布较均匀。3 种造林树木 0 ~ 20 cm 土壤水分的变异

系数均高于 10%，属中等变异，其他土层属弱变异，这是由于表层土壤受蒸发与根系吸水的影响较大，水分变化较剧烈。盐柳、9901 柳小区土壤盐分在不同土层深度变异系数介于 10% ~ 100%，属中等变异；桤柳小区 0 ~ 40 cm 土壤盐分属中等变异，40 cm 以下土层属弱变异。

3 讨论

桤柳枝叶繁茂、绿期长、耐盐碱、耐旱，具有泌盐的特性；9901 柳树干通直、冠幅窄，顶端优势明显；盐柳冠幅大、枝条自然下垂，覆盖度高。种植 3 种树木显著影响土壤水盐变化，种植树木的小区土壤盐分明显低于空地。表层土壤受蒸发与根系吸水的影响较大，土壤水盐变化较明显，在本研究中表层土壤水分的变异系数高于 10%，属中等变异。盐柳、9901 柳小区土壤盐分属中等变异；桤柳小区 0 ~ 40 cm 土壤盐分属中等变异，40 cm 以下土层属弱变异。雷金银等^[13]通过研究不同耐盐植物的生物改良效果同样得出相似的规律，同时发现根系较发达的耐盐植物对土壤含水率影响显著，有明显的生物排水作用。在宁夏银北种植桤柳、苇状羊茅、油葵对盐碱土 0 ~ 20 cm 土层土壤容重降低明显，降幅均超过 24%，这是由于

表 1 不同土层土壤盐碱化指标描述性统计特征
Table 1 Descriptive statistics of soil salinization indexes in different layers

深度(cm)	特征值	盐柳				桤柳				9901 柳			
		A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
0 ~ 20	最大值	18.18	0.75	8.88	1.61	16.41	0.69	8.76	1.50	19.58	0.98	8.81	1.45
	最小值	12.70	0.59	8.59	1.37	13.20	0.48	8.55	1.30	16.09	0.68	8.61	1.27
	平均值	16.58	0.67	8.76	1.48	15.86	0.61	8.64	1.42	17.63	0.82	8.72	1.39
	标准差	2.25	0.07	0.11	0.12	1.75	0.08	0.08	0.08	1.89	0.09	0.07	0.07
	变异系数(%)	13.59	10.11	1.21	8.00	11.03	13.13	0.92	5.41	10.72	10.98	0.85	5.10
20 ~ 40	最大值	24.45	1.10	8.78	1.64	21.82	0.65	9.18	1.55	22.65	1.3	8.72	1.56
	最小值	18.80	0.55	8.54	1.50	17.88	0.48	8.81	1.42	17.45	0.91	8.69	1.29
	平均值	22.38	0.79	8.67	1.57	19.45	0.54	9.01	1.50	19.36	1.04	8.71	1.47
	标准差	2.18	0.22	0.11	0.05	1.89	0.06	0.18	0.05	1.84	0.16	0.02	0.11
	变异系数(%)	9.73	27.78	1.29	3.48	9.71	11.81	2.00	3.49	9.50	14.97	0.17	7.67
40 ~ 60	最大值	19.05	1.29	8.94	1.59	21.49	0.72	9.04	1.59	20.45	1.68	8.77	1.59
	最小值	15.00	0.62	8.72	1.51	17.61	0.59	8.80	1.48	16.31	1.36	8.57	1.47
	平均值	16.52	0.82	8.85	1.54	19.93	0.63	8.90	1.54	17.79	1.67	8.68	1.52
	标准差	1.54	0.28	0.08	0.03	1.96	0.05	0.11	0.05	1.68	0.18	0.07	0.05
	变异系数(%)	9.33	33.82	0.91	1.91	9.80	8.54	1.19	3.19	9.44	10.78	0.85	3.34
60 ~ 80	最大值	21.22	1.04	9.12	1.59	15.93	0.72	8.99	1.58	16.75	1.54	9.39	1.59
	最小值	17.49	0.65	8.92	1.54	12.69	0.62	8.67	1.52	14.40	1.21	8.96	1.55
	平均值	18.59	0.82	8.99	1.56	13.79	0.69	8.79	1.55	15.63	1.38	9.07	1.57
	标准差	1.74	0.16	0.08	0.02	1.26	0.05	0.12	0.03	0.99	0.15	0.18	0.02
	变异系数(%)	9.40	19.90	0.87	1.20	9.16	6.96	1.36	1.94	6.36	10.87	1.98	1.04
80 ~ 100	最大值	24.99	0.94	9.35	1.59	22.93	0.72	9.06	1.56	17.67	1.24	9.5	1.6
	最小值	20.76	0.65	9.06	1.53	17.58	0.59	8.62	1.52	14.63	0.97	9.17	1.57
	平均值	23.10	0.78	9.19	1.56	19.76	0.63	8.77	1.54	16.14	1.12	9.36	1.58
	标准差	1.64	0.11	0.12	0.02	1.95	0.05	0.17	0.02	1.26	0.12	0.15	0.01
	变异系数(%)	7.10	14.71	1.26	1.54	9.87	8.54	1.98	0.98	7.82	10.89	1.61	0.72

注：A1、A2、A3、A4 分别表示土壤含水率(%)、土壤含盐量(g/kg)、土壤 pH、土壤容重(g/cm³)。

树木对根系附近土壤产生穿插作用,使土壤变得相对疏松,土壤容重降低^[22]。在本研究中,3 种树木对土壤容重的影响也呈现相似规律。3 种树木土壤的 pH、容重的变异系数均低于 10%,属弱变异,3 种树木条件下土壤的 pH、容重空间分布较均匀,本试验种植树木条件下土壤的酸碱性和容重空间分布较均匀。有研究指出在宁夏盐碱土种植桤柳,可在深度 0 ~ 25 cm、树干 0 ~ 15 cm 范围内形成“低盐、低 pH”的优化区域^[23]。但在本研究中桤柳小区 0 ~ 100 cm 深度、树干 100 cm 范围内土壤 pH 空间分布较均匀,可能是由于桤柳的树龄不同导致的。3 种树木之间的生物生态学特性不同,对土壤水盐空间分布的影响有差异。桤柳根系较浅,主要吸收利用靠近树干区域 0 ~ 40 cm 土壤水分;9901 柳根系较深,主要吸收利用 60 cm 以下土层土壤水分;9901 柳冠幅窄、根系深,株高高于其他 2 种树木,盐分主要累积于 40 ~ 80 cm 土层且比较稳定。耐盐植物被喻为“生物脱盐器”,在整个生育期都发挥其生物吸盐作用^[23]。桤柳是泌盐型植物,在本试验中 0 ~ 100 cm 土壤剖面盐分明显

低于其他 2 种树木;盐柳冠幅优势明显,有较高的覆盖度,对地表遮阴效果明显,可抑制地表返盐,但盐分并非 3 种树木中最低;表明在树木生育期内桤柳泌盐特性对土壤盐分的降低效果优于盐柳冠幅带来的覆盖抑盐效果。值得注意的是,桤柳不同于牧草,耐盐牧草通过刈割能带走土壤盐分,而桤柳通过盐腺的分泌作用,盐分会随叶片凋落或受雨水影响落回地表,在本研究中桤柳小区土壤盐分未增加可能是因为采样期间桤柳的叶片还未整体变黄凋落。

林草根系的 活动,能改善土壤结构,影响土壤水盐分布特征;此外,植物覆盖度高,能削弱地表蒸发,进而抑制地表积盐。董利苹等^[24]的研究发现,表层土壤脱盐效果明显,土壤剖面脱盐效果与植物根系活动范围有关。肖克飏等^[22]通过监测秋季土壤盐分分布特征发现盐分在植物树干区域表现明显的区化特征,土壤盐分在植物冠幅边缘滞留聚集,形成“盐岛”。但在本研究中未发现类似的规律,可能是研究区及采样时间不同造成的。土壤 pH 降低,主要受根系活动及土壤微生物的影响,植物根系生长过程中分泌有机

酸,同时植物残体在土壤微生物分解作用下产生有机酸,可在一定程度上中和土壤碱性^[25]。宁夏地处内陆干旱半干旱区,干旱少雨、蒸发强烈导致土壤水盐以垂直方向为主,同时也是土壤积盐的主要驱动力。树木生长过程中改善了土壤理化性质,土壤耗水方式由土壤地表蒸发转变为植物蒸腾,增强了对土壤水的吸收利用,加速了土壤水分向根系所在区域流动;依据“盐随水动”原理,高覆盖植被对地表的遮阴效果好可抑制地表返盐。在本试验中,盐柳冠幅较大,盐柳小区地表土壤含水率高于其他 2 种树木。3 种树木均属于多年生落叶植被,枯落物会在土壤表层持续积累,且种植后地表基本无耕作扰动有利于表层土壤有机质积累,本研究中靠近树干的表层土壤水盐环境较好,土壤容重、pH 均有较大的改善。

4 结论

1) 造林树木显著影响土壤水盐空间分布,表层土壤受蒸发与根系吸水的影响较大,土壤水盐变化较明显。盐柳小区越靠近树干土壤盐分越低,而桤柳、9901 柳小区盐分在 60 cm 以下土层累积。

2) 3 种造林树木条件下表层土壤水分属中等变异,其他土层属弱变异;盐柳、9901 柳小区土壤盐分属中等变异,桤柳小区 40 cm 以下土层属弱变异。

3) 种植树木降低土壤 pH、容重,越靠近树干效果越明显,盐柳、桤柳、9901 柳 3 种树木种植下土壤的 pH、容重空间分布较均匀。

参考文献:

- [1] Yu H L, Gu W, Tao J, et al. Impact of addition of FGDB as a soil amendment on physical and chemical properties of an alkali soil and crop yield of maize in Northern China coastal plain[J]. *Journal of Chemistry*, 2015, 2015: 1–11.
- [2] 王旭,樊丽琴,李磊,等. 种植方式和灌溉定额对碱化盐土及紫穗槐生长的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(5): 88–95.
- [3] 杨劲松,姚荣江,王相平,等. 中国盐渍土研究: 历程、现状与展望[J]. *土壤学报*, 2022, 59(1): 10–27.
- [4] 杨劲松. 土壤盐渍化治理和盐碱地利用研究的进展与展望[R]. 第八届世界土壤日学术会议, 江苏南京, 2021.
- [5] Liu T, Wang B T, Xiao H J, et al. Differentially improved soil microenvironment and seedling growth of *Amorpha fruticosa* by plastic, sand and straw mulching in a saline wasteland in northwest China[J]. *Ecological Engineering*, 2018, 122: 126–134.
- [6] 肖克飏. 宁夏银北地区耐盐植物改良盐碱土机理及试验研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [7] Ahmad S, Ghafoor A, Akhtar M E, et al. Implication of gypsum rates to optimize hydraulic conductivity for variable-texture saline-sodic soils reclamation[J]. *Land Degradation & Development*, 2016, 27(3): 550–560.
- [8] Nie Y, Wang D Q, Zhao G, et al. Effects of betaine aldehyde dehydrogenase-transgenic soybean on phosphatase activities and rhizospheric bacterial community of the saline-alkali soil[J]. *BioMed Research International*, 2016, 2016: 1–9.
- [9] 王旭,孙兆军,杨军,等. 几种节水灌溉新技术应用现状与研究进展[J]. *节水灌溉*, 2016(10): 109–112, 116.
- [10] 王合云,李红丽,董智,等. 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征[J]. *土壤学报*, 2015, 52(3): 706–712.
- [11] 董世德,万书勤,康跃虎,等. 低洼重度盐碱地滴灌垄作模式土壤水盐运移规律研究[J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(8): 82–89.
- [12] 陈苗苗. 不同树种对黄河三角洲滨海盐碱地的土壤改良效应评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [13] 雷金银,张建宁,班乃荣,等. 不同类型耐盐植物对盐碱土物理性质的影响[J]. *宁夏农林科技*, 2011, 52(12): 58–60.
- [14] 张平. 不同造林树种对盐碱地土壤理化性质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [15] Boyrahmadi M, Raiesi F. Plant roots and species moderate the salinity effect on microbial respiration, biomass, and enzyme activities in a sandy clay soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2018, 54(4): 509–521.
- [16] Mishra A, Tanna B. Halophytes: Potential resources for salt stress tolerance genes and promoters[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 829.
- [17] 付丽,刘加珍,陶宝先,等. 盐生植物对盐渍土壤环境的适应机制研究综述[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(15): 32–39.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 樊丽琴,李磊,吴霞,等. 种植方式对宁夏银北灌区盐碱地土壤水热盐及玉米生长的影响[J]. *土壤通报*, 2020, 51(6): 1403–1408.
- [20] 周利颖,李瑞平,苗庆丰,等. 排盐暗管间距对河套灌区重度盐碱土盐碱特征与肥力的影响[J]. *土壤*, 2021, 53(3): 602–609.
- [21] 王瑞萍,万核洋,陈帅,等. 河套灌区乌拉特灌域春季土壤盐碱化空间分布特征[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(15): 105–113.
- [22] 肖克飏,吴普特,雷金银,等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(12): 2433–2440.
- [23] 雷金银,班乃荣,张永宏,等. 桤柳对盐碱土养分与盐分的影响及其区化特征[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(2): 73–76.
- [24] 董利苹,曹靖,李先婷,等. 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): 2813–2821.
- [25] 王旭. 甘肃靖远旱区碱化盐土水盐运移及调控效应研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.