

不同含盐量土壤对盐柳 1 号苗木生长影响

田生昌¹,李月祥^{2*}

(1. 宁夏农林科学院 银北盐改站,宁夏 平罗 753400;2. 宁夏农林科学院,宁夏 银川 750002)

摘 要:为研究土壤盐分对盐柳 1 号(*Salix psammophila* ‘Yanliu-1’)苗木生长发育进程的影响,在 3 种不同盐分含量的土壤上栽植该树种,把株高和地径生长累积量变化作为主要因子,各选 20 株从萌芽开始每隔约 10 d 左右测量 1 次株高和地径,至其生长值停止增长为止,对测量结果进行分析比较,探讨土壤含盐量对苗木生长的影响。结果表明:1)该树种在 3 种不同盐分含量的土壤上,苗木成活率和保存率都很高,分别 $\geq 95\%$ 、 $\geq 93\%$,其耐盐碱能力较强,具有一定的抗盐碱特性,适宜本地栽植;2)该树种在 2 种低含盐量的土壤上,苗木生长量基本接近,无明显差异,与高含盐量土壤上栽植的苗木相比,生长量差异极其显著,株高是后者的 2.13~2.18 倍,地径是后者的 1.78~1.88 倍;3)该树种株高和地径的生长规律符合 S 型生长曲线,对 Logistic 方程分析均达到了极其显著的水平,苗木 4 月 29 日萌芽,7 月 30 日左右进入生长高峰期,10 月 13 日后转入生长停止增长期,整个苗木的生长期约为 180 d;4)应用 Logistic 方程深化分析后可知,3 种不同含盐量的土壤对该树种苗木的生长期影响不明显,各生长阶段基本上相互重合,即土壤盐分含量过高,它对苗木株高和地径生长的负面作用时间较长,基本上涵盖了全生育期;5)在 3 种不同盐分含量的土壤上栽植苗木后,土层 0~20 cm 内土壤全盐含量明显降低,土层 20~50 cm 内土壤全盐含量略有降低,而土壤 pH 值、养分含量变化不明显。总之,该树种具有较强的耐盐碱特性,适宜当地栽植,要使该树种苗木快生快长,关键是做好苗木速生期的栽培管理工作。

关键词:土壤盐分含量;盐柳 1 号;苗木生长;影响

中图分类号:S714.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)01-0120-06

Effects of the Soils with Different Salt ContentS on the Seedling Growth of *Salix psammophila* ‘Yanliu-1’

TIAN Sheng-chang¹, LI Yue-xiang^{2*}

(1. Yinbei Saline Land Improvement Station, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Pingluo, Ningxia 753400, China;

2. Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: To understand the effects of soil salinity on the growth process of *Salix psammophila* ‘Yanliu-1’, the seedlings were planted in the soils with three different salt contents. The plant height and diameter growth were taken as the main factors. The results showed that 1) both survival and preservation rates of the seedlings that were planted in the soils with different salt contents were high, over 95% and 93% respectively, indicating that *S. psammophila* ‘Yanliu-1’ had high salt tolerance. 2) Seedlings that were planted in two soils with low salt contents exhibited no significant differences in growth, while compared to those that were planted in high salt content soil, the differences in growth were extremely significant, 2.13 to 2.18 times higher for height growth and 1.78 to 1.88 times higher for diameter growth. 3) Both the

收稿日期:2017-03-24 修回日期:2017-07-04

基金项目:中央财政林业科技推广示范一般项目“宁夏引(扬)黄灌区耐盐碱林木良种盐柳 1 号造林示范与推广”(宁[2016]TG07 号);宁夏农林科学院自主科技成果孵化项目“抗盐碱林木良种繁育及技术示范”(NNKCGFH-2017-16)。

作者简介:田生昌,男,副研究员,研究方向:农业资源与利用。E-mail:nxpltsc@163.com

*通信作者:李月祥,男,正高级林业工程师,研究方向:林学。E-mail:m13709589473@163.com

growth of tree height and ground diameter presented “S-type” curves, the equation reached the extremely remarkable level with Logistic equation analysis: seedling sprouting occurred on April 29th, peak growth began on July 30th, and the growth stopped after October 13th, the whole growth period lasted about 180 d. 4) The application of Logistic equation for further analysis showed that the soils with different salt contents had no obvious effect on the growth period, the growth stages were basically coincident with each other, high salt content had a negative effect on seedling height and ground diameter growth, which basically covered the whole growth period. 5) After seedlings were planted in the soils with three different salt levels, the salt contents significantly decreased in 0—20 cm soil layer, slightly decreased in 20—50 cm soil layer, while no significant changes in soil pH and nutrients. In short, *S. psammophila* ‘Yanliu-1’ demonstrated strong resistance to salt and alkaline, it was suitable to plant in study area. To promote seedling growth, cultivation management should be carried out during the fast growing period.

Key words: soil salt content; *Salix psammophila* ‘Yanliu-1’; seedling growth; effect

宁夏地区现有盐碱地约 12 万 hm^2 ,而在银北地区,盐碱地面积就有 8.47 万 hm^2 ,占区域耕地面积的 54%。可见,这里土壤盐碱化问题表现突出,造林绿化受到很大的限制。因此,选用抗逆性强,尤其是抗盐碱性强的盐柳 1 号树种在盐碱地区造林,能够起到防风固沙、改良土壤,提高植被覆盖率和维持生态平衡的作用^[1-3]。

盐碱地是各种盐土和碱土以及不同程度盐化和碱化土壤的总称,具有不良的物理化学性质,能使植物生长受到抑制^[4-6]。盐碱地作为潜在的耕地资源,存在着巨大的开发潜力,改良利用盐碱地,不仅能够增加耕地面积,提高耕地质量,而且,对于该地区植被恢复和生态系统建设、发展循环经济等都具有重要意义。在盐碱地区进行植树绿化,主要障碍是土壤黏重,表层下有碱化层,含盐量和碱化度高,改良利用难度大,栽种耐盐碱树种后,其蒸腾作用有利于降低地下水位,使其免受高矿化度地下水的浸泡,上部灌水和降雨的淋洗作用使土壤逐渐脱盐,树木枝叶覆盖减少了地面水分的蒸发,从而减少了下部盐分的上升,使其含盐量逐渐下降,是控制盐分的一条有效措施。在盐碱地上造林主要问题是成活率低、成林难、森林蓄积量积累慢。针对此类问题,林业技术人员选育和应用了抗盐碱林木新品种、新技术,在中度及以下盐碱地上,基本上解决了这些问题,但是,在中度以上盐碱地进行造林建设,这些问题仍然存在^[7-9]。国内外研究人员在盐碱地改良利用方面做了广泛而深入细致的研究,据赵可夫^[10]等调查表明应用生物措施治理盐碱地是很有效的一条途径。中国现有盐生维管植物 423 种,耐盐植物能够改良盐碱地的功能主要表现在植物能增加地表覆盖,减缓地表径流,调节小气候,减少水分蒸发,抑制盐分上升,防止返盐;同时,植物的蒸腾作用可降低地下水位,防止盐分向地表积累;植物根系生长可改善土

壤物理性状,根系分泌的有机酸及植物残体经微生物分解产生的有机酸还能中和土壤碱性,植物的根、茎、叶返回土壤后又可以增加土壤有机质含量,改善土壤结构和根际微环境,有利于土壤微生物的活动,从而提高土壤肥力,抑制盐分积累^[11-12]。土壤盐碱化与地下水位密切相关,地下水补充源于灌溉和降雨。当有树木存在时,土壤中的水分有一部分被树木利用或蒸腾,另一部分滞留在枯枝落叶层中,从而降低了地下水位^[13-14]。以上这些研究成果具有很好的利用价值,值得借鉴和参考。

总之,在盐碱地域进行造林,存在着树种单一^[15]、造林技术措施针对性不强等,其结果是幼林成活率与保存率低,林木生长缓慢,不能发挥应有的防护效能。要提高造林质量,加快绿化速度,就要根据苗木的抗逆性和适应自然条件的特点,有针对性地落实造林技术措施。本研究就此探讨土壤盐碱对盐柳 1 号苗木生长进程的影响,提出适宜的造林措施,以此指导盐碱地域生态林建设工作。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于宁夏平罗县银北盐改站基地($38^{\circ}36'18''$ — $39^{\circ}05'13''\text{N}$, $105^{\circ}57'42''$ — $106^{\circ}58'02''\text{E}$),平均海拔 1 080 m,属温带干旱半干旱大陆性气候,年均降水量 176 mm,主要集中在 6—9 月(136.8 mm),约占全年降水量的 78%左右,年均气温 8.8°C ,历年最低气温 -28.2°C ,最高气温 38.9°C ,全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 3 223.6 $^{\circ}\text{C}$,年均蒸发量 1 888.7 mm,年日照时数 3 073.6 h,年无霜期平均 171 d。该地区的地貌类型为黄河冲积平原,地势平坦,地下水位深 1.5 m,土壤次生盐渍化较为严重,有盐碱地 8 万 hm^2 以上,严重阻碍了当地农业生产的发展^[4,16]。境内土壤类型主要以灌淤土、灰钙土、

潮土、盐土为主。试验区主要林木有柳树(*Salix*)、杨树(*Populus*)、槐(*Sophora*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、怪柳(*Tamarix*)、杏树(*Armeniaca vulgaris*)等 15 种。干鲜果品主要有苹果(*Malus*)、桃(*Prunus persica*)、李(*Prunus salicina*)、白梨(*Pyrus ussuriensis*)、枸杞(*Lycium barbarum*)、枣(*Zizyphus*)等 11 种。主要草本植物有芦苇(*Phragmites australis*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)等。

1.2 试验树种

盐柳 1 号^[15](*Salix psammophila* ‘Yanliu-1’)为杨柳科柳属落叶乔木,是由北沙柳和旱柳经过自然杂交,从实生苗中优选出的,具有广泛的适应性。2012 年宁夏农林科学院从山东省林科院东营市分院引进盐柳 1 号进行育苗和造林试验,该树种与本地乡土树种旱柳相比,具有明显的生长优势,它能够适应宁夏气候特点,具有生长迅速,抗逆性强,病虫害少、耐盐碱等特性,适宜用作生态防护林和园林绿化树种。

1.3 试验经过

试验于 2014—2016 年开展,在 3 种不同含盐量的土壤上(表 1)进行,为期 3 a。试验前做好整地、

施肥等工作,选择 1 年生生长充实、无病虫害、无机械损伤的苗干,制成插穗,按照株行距 20 cm×60 cm 扦插,扦插时踩实,扦插后及时灌水,灌水后使上端的芽露出地面约 1.0~1.5 cm,并及时将插穗与土壤间缝覆土,以防插穗抽干,达到保水提温的效果。全年灌水 5~7 次。当萌条生长到 10~15 cm 时选一个健壮的保留,其余剪掉;苗高达到 2 m 后,下方出现 2~3 个头时要及时去掉多余的,只留 1 个。在苗木生长期间分 3 次追肥,第 1 次追施肥 300 kg·hm⁻² 尿素,第 2 次追施肥 375 kg·hm⁻² 尿素,第 3 次追含 N、P、K 各 15% 的复合肥 600 kg·hm⁻²,施肥前进行松土除草。做好病虫害防治工作,从 4 月中旬注意柳蓝叶甲的危害,喷洒敌百虫、菊酯类药防治,冬季做好防治鼠、兔危害工作。

试验开始前和试验结束后采集土样测定 pH 值、全盐量、全量氮等^[17]。试验苗圃地 3 块,面积各为 1 333 m²,土壤为灌淤土,灌溉条件较好,地下水位埋深≤1.5 m,为黄河自流灌区。

选定各土壤编号下的苗木 20 株,从 5 月 10 日至 10 月 31 日,用米尺和游标卡尺每隔 10 d 测定 1 次株高和地径,观察盐柳 1 号苗木生长情况,计算株高(或地径)日增长量等。

表 1 试验地土壤类型
Table 1 Soil types in study area

土壤编号	土壤类型	面积 /m ²	土层深度 /cm	pH	全盐 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全量氮 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效氮 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
I	灌淤土	1 333	0~20	8.2	1.39	1.06	66	34.4
			20~50	8.46	1.35	0.6	34	6.5
II	灌淤土	1 333	0~20	8.15	1.66	1.06	67	27.9
			20~50	8.45	1.35	0.56	36	8.2
III	盐化灌淤土	1 333	0~20	8.38	4.9	0.94	50	24.6
			20~50	8.55	2.85	0.54	21	10.0

1.4 数据处理

采用 Excel 2003、SPSS 19.0 软件进行统计分析,用 Origin 软件作图。

生长模型方程^[18-20]采用 $\hat{y} = \frac{k}{1 + ae^{-bt}}$ 。式中, \hat{y} 表示生长量(具体表示为株高或地径), t 表示调查日期, k 为极限生长量(用三点法), a 、 b 分别为常数。

2 结果与分析

2.1 土壤盐碱对苗木成活率与保存率的影响

2014 年 7 月 12 日调查了苗木的成活率,2015 年 10 月 13 日调查了苗木的保存率,其苗木平均成活率在 95% 以上,保存率在 93% 以上,该树种适宜本地繁育(表 2)。

表 2 苗木成活情况调查

Table 2 Seedling survival and preserved rates					
土壤编号	调查株数	成活株数	保存株数	成活率 /%	保存率 /%
I	100	98	98	98	98
II	100	96	96	96	96
III	100	95	93	95	93

2.2 土壤盐碱对苗木生长的影响

苗木于 4 月 16 日扦插,4 月 29 日萌芽。3 种不同土壤条件对苗木生长的影响见表 3。

由表 3 可见,2 种低含盐量土壤对苗木生长的影响差异不显著,基本接近,但是,其与含盐量高的土壤苗木生长量相比,差异极其显著,株高是后者的 2.13~2.18 倍、地径是后者的 1.78~1.88 倍。

表 3 苗木株高和地径的年生长情况
Table 3 Annual growth of seedling height and ground diameter

调查日期 (月-日)	土壤编号					
	I (含盐量低)		II (含盐量低)		III (含盐量较高)	
	株高/cm	地径/mm	株高/cm	地径/mm	株高/cm	地径/mm
04-16	—	—	—	—	—	—
04-29	—	—	—	—	—	—
05-18	26.4±1.57	—	22.20±0.42	—	19.0±2.26	—
05-28	40.2±1.72	—	44.70±0.64	—	26.2±2.68	—
06-07	54.2±1.91	3.72±0.14	70.4±1.69	3.86±0.09	33.2±2.78	3.0±0.13
06-20	75.0±1.98	5.15±0.16	84.2±3.10	5.28±0.09	44.4±2.82	3.72±0.14
06-30	96.8±1.88	6.32±0.21	113.5±2.56	6.63±0.12	56.2±3.71	4.12±0.20
07-12	131.1±2.56	8.10±0.31	140.2±3.13	8.40±0.16	70.4±5.17	4.65±0.28
07-21	157.2±3.21	9.50±0.33	178.3±3.84	9.87±0.22	88.1±6.32	5.52±0.33
08-01	192.4±3.78	11.61±0.50	215.7±5.07	13.09±0.31	107.7±7.50	6.55±0.38
08-18	240.0±4.25	14.81±0.66	249.3±5.01	15.54±0.28	123.2±7.94	8.43±0.48
09-02	283.0±4.81	17.32±0.70	283.6±4.84	17.49±0.55	135.4±7.37	9.44±0.65
09-15	314.1±6.59	18.78±0.75	313.8±5.57	19.46±0.63	150.9±8.70	10.5±0.69
10-13	353.0±7.78Aa	20.62±0.92Aa	345.7±5.95Aa	21.85±0.69Aa	162.1±9.97Bb	11.60±0.71Bb

注:不同大写字母表示达到 0.01 极显著性水平,不同小写字母表示达到 0.05 的显著性水平。

2.3 土壤盐碱对苗木生长期的影响

2.3.1 株高和地径生长量累积曲线类型的确立 3 种不同土壤条件下株高和地径累积生长量定期观测结果见图 1、图 2。

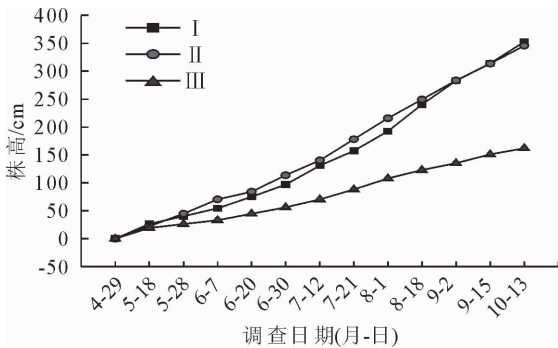


图 1 3 种土壤条件下株高生长量累积变化

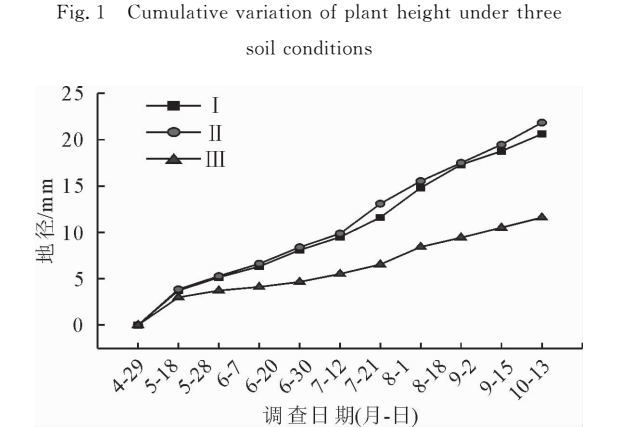


图 2 3 种土壤条件下地径生长量累积变化

Fig. 1 Cumulative variation of plant height under three soil conditions

Fig. 2 Cumulative change of ground diameter growth under three soil conditions

株高和地径的生长基本符合 S 型生长规律,故

可应用 Logistic 方程分析其生长期,从而计算出 3 种不同土壤条件对苗木生长期的影响大小。

2.3.2 苗木生长期的划分 3 种不同土壤条件下苗木株高和地径的生长曲线方程及生长期划分见表 4。以调查时间 t 为自变量,植株累积高度、地径各为因变量,用 SPSS 软件拟合分析,经卡方检验后其生长量指标拟合曲线方程均达到了极其显著的水平,说明生长量指标拟合曲线方程回归结果可靠性度高,可以进一步分析和应用。

通过田间观测和分析,从 4 月 16 日扦插、4 月 29 日萌芽,7 月 30 日左右进入高峰生长期,10 月 13 日后转入生长停止增长期,整个苗木的生长期约为 180 d。

从表 4 看出,3 种不同土壤条件对该树种苗木的生长期影响不明显,各生长期基本上相互重合。可见,盐分含量过高的土壤主要制约了该树种整个生育期内各生育阶段苗木的生长量,使苗木株高和地径的生长受到了严重限制,因此表现出了明显的差异性。

2.4 栽植该树种苗木前后土壤盐分含量的变化

土壤盐分含量高低对苗木生长具有一定程度的影响,栽植苗木后土壤盐分含量高低亦会发生变化。在苗木栽植前(2014 年 4 月上旬)、栽植后(越冬前为 2014 年 11 月上旬)分别取土样测定土壤盐分和养分含量值(表 5),并对结果进行分析。可见:苗木栽植后 0~20 cm 土壤全盐含量显著降低;20~50 cm 土壤全盐含量略有降低,降低不显著;而土壤 pH 值、养分含量变化不显著。

表 4 3 种不同土壤条件下苗木的生长期比较

Table 4 Comparison of seedling growth period under three different soil conditions

土壤编号及土壤类型	I (灌淤土)	II (灌淤土)	III (盐化灌淤土)
株高生长曲线方程	$\hat{y}=\frac{379.75}{1+36.312e^{-0.03388t}}$ $R^2=0.999\ 3^{**}$	$\hat{y}=\frac{356.26}{1+34.7618e^{-0.03704t}}$ $R^2=0.988\ 4^{**}$	$\hat{y}=\frac{169.48}{1+25.9766e^{-0.03469t}}$ $R^2=0.996\ 0^{**}$
地径生长曲线方程	$\hat{y}=\frac{22.61}{1+28.07687e^{-0.03195t}}$ $R^2=0.998\ 0^{**}$	$\hat{y}=\frac{23.60}{1+29.74973e^{-0.03261t}}$ $R^2=0.997\ 4^{**}$	$\hat{y}=\frac{13.82}{1+14.97415e^{-0.02471t}}$ $R^2=0.991\ 5^{**}$
生长期/(月-日)			
生长初期	04-16—06-20	04-16—06-17	04-16—06-11
旺盛生长期	06-20—09-08	06-17—09-03	06-11—09-10
生长减缓期	09-08—10-13	09-03—10-13	09-10—10-13
旺盛生长期总天数	80	78	91
生长高峰期	07-30	07-27	07-25

表 5 苗木栽植前后土壤盐分和养分含量变化

Table 5 Changes of soil salt and nutrient content before and after seedling planting

编号及土壤类型	土层深度/cm	全量氮/(g·kg ⁻¹)		速效氮/(mg·kg ⁻¹)		速效磷/(mg·kg ⁻¹)		pH		全盐/(g·kg ⁻¹)	
		栽植前	栽植后	栽植前	栽植后	栽植前	栽植后	栽植前	栽植后	栽植前	栽植后
I (灌淤土)	0~20	1.06	0.98	66.0	62.0	34.4	27.7	8.20±0.11	8.35±0.11	1.39±0.47a	0.72±0.47b
	20~50	0.6	0.62	34.0	41.0	6.5	12.8	8.46±0.01	8.44±0.01	1.35±0.40a	0.78±0.40a
II (灌淤土)	0~20	1.06	1.02	67.0	86.0	27.9	30.9	8.15±0.06	8.24±0.06	1.66±0.45a	1.02±0.45b
	20~50	0.56	0.57	36.0	43.0	8.2	43.0	8.45±0.04	8.39±0.04	1.35±0.08a	1.24±0.08a
III (盐化灌淤土)	0~20	0.94	0.98	50.0	64.0	24.6	33.1	8.38±0.12	8.55±0.12	4.90±0.38a	2.94±0.38b
	20~50	0.54	0.50	21.0	35.0	10.0	18.6	8.55±0.24	8.89±0.24	2.85±0.11a	2.70±0.11a

3 结论与讨论

本研究针对不同含盐量的土壤对盐柳 1 号苗木生长影响进行了调查,主要从土壤盐碱度对苗木成活率与保存率的影响,不同盐碱度对苗木生长指标的影响,不同盐碱度对苗木生长期的影响进行了论述。但对植物生长期的研究今后还需要做深入细致的工作^[5,16,20],在植物生长期的划分上最好能与植物的物候期结合起来进行,其他像施肥、灌水等方面亦会影响苗木生长,这些还需要进一步研究。本研究对盐柳 1 号苗木生长期的划分是依据宁夏的气候特征而作出的,其他气候区的划分结果可能不同,需要做进一步的探讨。

- 1)在 3 种不同含盐量的土壤上栽植盐柳 1 号,其苗木的成活率和保存率分别在 95%和 93%以上,表明该树种耐盐碱能力较强,具有一定的抗盐碱特性,适宜本地栽植。
- 2)3 种不同含盐量的土壤对苗木生长的影响:2 种低含盐量土壤对苗木生长的影响差异不显著,基本接近,但是,其与含盐量高的土壤苗木生长量相比,差异极其显著,株高是后者的 2.13~2.18 倍、地径是后者的 1.78~1.88 倍。
- 3)盐柳 1 号苗木株高和地径的生长基本符合 S

- 型生长规律,可用 Logistic 方程分析并划分出生长期,所得方程经卡方检验后其生长量指标拟合曲线方程均达到了极其显著的水平,说明生长量指标拟合曲线方程回归结果可靠度高,可以作深入分析,依此划分出在 3 种不同盐分含量的土壤上所栽植苗木的生长期。盐柳 1 号从 4 月 16 日扦插、4 月 29 日萌芽,7 月 30 日左右进入高峰生长期,10 月 13 日后转入生长停止增长期,整个苗木的生长期约为 180 d。
- 4)3 种不同含盐量的土壤对该树种苗木的生长期影响不明显,各生长阶段基本上相互重合。可见,土壤盐分含量过高,它对苗木株高和地径生长的负面作用时间较长,基本上涵盖了全生育期。
- 5)在 3 种不同含盐量的土壤上栽植盐柳 1 号,苗木栽植后土层 0~20 cm 内土壤全盐含量明显降低;土层 20~50 cm 内土壤全盐含量略有降低;而土壤 pH 值、养分含量变化不明显。
- 参考文献:
- [1] 李茜,孙兆军,秦萍.宁夏盐碱地现状及改良措施综述[J].安徽农业科学,2007,35(33):10808-10810,10813.

[2] 苏莉,孟森,张胜,等.国槐氮素转运对干旱胁迫的分子响应机制[J].西北林学院学报,2017,32(1):1-11.

SU L,MENG S,ZHANG S,*et al.* Mechanism of molecular re-

sponses of nitrogen transport to drought stress in *Sophora japonica*[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2017, 32(1):1-11. (in Chinese)

[3] 田菊,朱嘉磊,王永福,等. NaCl 胁迫下小胡杨杨树的离子吸收规律与分配特征研究[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(6):65-70.

TIAN J, ZHU J L, WANG Y F, *et al.* Regularities of the Ion uptake and allocation characteristics for *Populus simonii* × *P. euphratica* varieties under NaCl stress[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(06):65-70. (in Chinese)

[4] 田生昌,张永宏. 土壤盐分对柳树二品种生长发育影响的研究[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(6):81-87.

TIAN S C, ZHANG Y H. Study on growth and development of influence of 2 varieties of soil salinity on willow[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(6):81-87. (in Chinese)

[5] 杨斌. 柳树苗期年生长模型的研究[J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(6):97-99.

YANG B. Studies on annual growth model of willow at seeding stage[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21(6):97-99. (in Chinese)

[6] 姜瑞芳,刘艳红. 土壤基质和水分对珙桐幼苗生长的影响[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4):134-139.

JIANG R F, LIU Y H. Effects of soil matrix and moisture on the growth of *Davidia involucrata* seedlings[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4):134-139. (in Chinese)

[7] 贾敬敦,张富. 依靠科技创新推进我国盐碱地资源可持续利用[J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16(5):1-7.

JIA J D, ZHANG F. Sustainable utilization of saline-alkali land resources though scientific and technological innovation in China[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, 16(5):1-7. (in Chinese)

[8] 王红玲,施士争,黄瑞芳,等. 6 种柳树对富营养化灌溉污水的氮磷富集能力比较[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4):59-66.

WANG H L, SHI S Z, HUANG R F, *et al.* Comparison of the enriching ability of nitrogen and phosphorus between 6 willow species Irrigated by artificial eutrophic water[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4):59-66. (in Chinese)

[9] 姜鹏,韩璐,梁文静,等. 不同生长势杉木成熟林胸径-树高生长曲线研究[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(4):195-200.

JIANG P, HAN L, LIANG W J, *et al.* Height, BDH growth models of *Cunninghamia lanceolata* with different growth potentials[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4):195-200. (in Chinese)

[10] 赵可夫,李法曾,张福锁. 中国盐生植物[M]. 2 版. 北京:科学出版社, 2013.

[11] 施士争. 柳树的园林应用类型与改良[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(4):200-204.

SHI S Z. Application and improvement of willow in garden landscape[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(4):200-204. (in Chinese)

[12] 张玮,张国盛,宁明世,等. 北沙柳种质资源的初步调查与分析[J]. *水土保持通报*, 2010, 30(3):148-152.

ZHANG W, ZHANG G S, NING M S, *et al.* Preliminary investigation and analysis on germplasm resources of *Salix psammophila* [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(3):148-152. (in Chinese)

[13] 苏纪帅,金晶炜,白于,等. 宁夏油松林细根生物量和土壤特性研究[J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(4):1-7.

SU J S, JIN J W, BAI Y, *et al.* Studies on fine root biomass and soil properties of *Pinus tabulaeformis* forests in Ningxia [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(4):1-7. (in Chinese)

[14] 李伟,马志波,曹珊珊,等. 林业资源数据特征分析[J]. *西北林学院学报*, 2014, 29(6):200-206.

SUN W, MA Z B, CAO S S, *et al.* Analysis on the characteristics of forest resource data[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(6):200-206. (in Chinese)

[15] 李月祥,田生昌,孙建新,等. 盐柳 1 号栽培技术[J]. *宁夏农林科技*, 2016, 57(9):14-16.

[16] 田生昌,李月祥. 渤海柳 2 号扦插苗生长动态模拟及生长阶段划分[J]. *宁夏大学学报:自然科学版*, 2016, 37(2):211-215.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.

[18] 许世夫,彭刚强,邓文平,等. 遗传算法对 5 种理论生长方程的最优拟合研究[J]. *森林工程* 2013, 29(6):36-39, 65.

XU S F, PENG G Q, DENG W P, *et al.* Optimal fitting study on applying genetic algorithm to five theoretical growth equations[J]. *Forest Engineering*, 2013, 29(6):36-39, 65. (in Chinese)

[19] 殷祚云. Logistic 曲线拟合方法研究[J]. *数理统计与管理*, 2002, 21(1):41-46.

YIN Z Y. Study on the fitting methods of logistic curve[J]. *Mathematical Statistics and Management*, 2002, 21(1):41-46. (in Chinese)

[20] 崔觉群. Logistic 曲线方程的解析与拟合优度测验[J]. *数理统计与管理*, 2005, 24(1):112-115.

CUI D Q. Analysis and making good fitting degree test for Logistic curve regression equation[J]. *Mathematical Statistics and Management*, 2005, 24(1):112-115. (in Chinese)