

不同暗沟间距对垂柳光谱和光合特性的影响

宋沙沙¹, 何欣燕¹, 赵海艳¹, 乔雪涛¹, 何俊², 孙兆军², 范秀华¹

(1. 北京林业大学 森林资源与生态系统过程北京市重点实验室,
北京 100083; 2. 宁夏大学 新技术应用研究开发中心, 宁夏 银川 750021)

摘要: [目的] 通过评估不同处理的改良效果, 为西北地区利用暗沟处理措施改良盐碱土提供理论依据, 从而解决西北地区大面积的盐渍土现象, 实现土地的高效利用。[方法] 以 2 年生垂柳为试验材料, 对比分析了不同暗沟间距处理措施(CK 为对照; T₁ 为暗沟间距 3 m; T₂ 为暗沟间距 6 m; T₃ 为暗沟间距 9 m; T₄ 为暗沟间距 15 m)对土壤理化性质、垂柳的生长和叶片光谱光合特性的影响。[结果] (1) 4 种处理的土壤含水率、pH 值和土壤含盐量与对照相比均有所降低; 除 T₄ 处理外, 其余处理均与对照之间具有显著性差异($p < 0.05$), T₃ 处理的土壤含盐量下降最多。(2) 通过处理垂柳的各项生长指标均比对照组有所提高, T₁ 处理效果最好, T₄ 处理效果最差, T₁ 与 T₂, T₃ 处理之间差异不显著($p > 0.05$)。(3) 4 种暗沟间距处理都能显著提高垂柳的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)和叶绿素含量, T₁ 与 T₂, T₃ 处理之间差异不显著($p > 0.05$), T₄ 处理效果不及另外 3 种处理。[结论] 在西北地区采用挖设暗沟排盐的方法可以有效排出盐分, 综合考虑经济成本等因素, T₃ 处理为最佳方案。

关键词: 盐碱化; 暗沟; 垂柳; 土壤理化性质; 光谱; 光合

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)05-0086-06

中图分类号: S156.4

文献参数: 宋沙沙, 何欣燕, 赵海艳, 等. 不同暗沟间距对垂柳光谱和光合特性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5):86-91. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.015; Song Shasha, He Xinyan, Zhao Haiyan, et al. Effects of blind ditch spacing on spectral and photosynthetic characteristics of *Salix babylonica*[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5):86-91. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.015

Effects of Blind Ditch Spacing on Spectral and Photosynthetic Characteristics of *Salix Babylonica*

SONG Shasha¹, HE Xinyan¹, ZHAO Haiyan¹,

QIAO Xuetao¹, HE Jun², SUN Zhaojun², FAN Xiuhua¹

(1. The Key Laboratory for Forest Resources & Ecosystem Processes of Beijing,

Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research and Development Center of New Technology Application, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia Hui Autonomous Region 750021, China)

Abstract: [Objective] The aim of the study was to provide theoretical basis for the improvement of saline soils by evaluating the improvements in different spacing treatments of blind ditch in the northwest area. Whereby, the salinization prevailed in the widespread area of Northwest China was expected to be restrain and the lands were expected to be use efficiently. [Methods] Saline soil and Two years old *Salix babylonica* growing on it was used as the experimental materials. The effects of different blind ditch spacing (CK was control, T₁ was 3 m, T₂ was 6 m, T₃ was 9 m, T₄ was 15 m) on soil physical and chemical properties, the growth, leaf spectral photosynthetic characteristics of weeping willow were studied. [Results] (1) Soil water content, pH value and soil salinity of the four treatments were all lower than the corresponding values of the control. The water content of 4 treatments were significantly different from the control ($p < 0.05$) except T₄. The soil salinity of T₃ treatment decreased the most. (2) All the growth indexes of weeping willow were improved in comparison with those of the control treatment. The effect of T₁ ditch spacing treatment is the best and T₄ treatment is the worst. The differences among T₁ and T₂ and T₃ treatments were not significant ($p > 0.05$). (3) Four kinds of ditch spacing treatment significantly increased the leaf photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomata conductance (G_s) and chlorophyll content of weeping willows. The differences

收稿日期: 2017-03-08

修回日期: 2017-04-07

资助项目: 国家林业公益性行业科研专项“西北盐碱地生态恢复关键技术研究示范”(201504402)

第一作者: 宋沙沙(1992—), 女(汉族), 山东省德州市人, 硕士研究生, 主要研究方向为光与植物生理生态。E-mail: 292227154@qq.com.

通讯作者: 孙兆军(1963—), 男(汉族), 宁夏回族自治区银川市人, 博士, 研究员, 主要从事农业水土工程研究。E-mail: sunzhaojunyx@126.com.

among T_1 and T_2 and T_3 treatments were not significant ($p > 0.05$). The effect of T_4 spacing treatment is less than the ones of other three treatments. [Conclusion] Therefore, the ditch spacing treatment can effectively discharge salt. When selecting the blind ditch spacing, T_3 ditch spacing treatment is the best solution for its low economic cost.

Keywords: salinization; blind ditch; *Salix babylonica*; soil physical and chemical properties; spectral; photosynthetic

据统计,世界范围内的盐碱地面积已达到 $1.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$,中国盐碱地面积已有 $3.46 \times 10^7 \text{ hm}^2$ [1]。20世纪末至21世纪初以来,中国人地矛盾愈发激烈,因此,盐碱土地的改良利用和生态农业的高效发展对于扩充土地面积,提升耕地生产力水平具有重要的现实意义 [2]。宁夏地处中温带干旱区,常年干旱少雨,蒸发强烈,再加上宁夏地区一直以来农业灌溉多采用黄河水大水漫灌,长期以往,造成次生盐渍化现象 [3]。盐碱地主要分为:自然发生的原生盐碱化及由于人类活动引发的次生盐碱化 [4]。土壤发生盐碱化后对植物的伤害分为中性盐(如 NaCl , Na_2SO_4)和碱性盐(如 Na_2CO_3 , NaHCO_3)的胁迫。过量的盐分通过渗透和离子毒害作用,引起营养失调,限制植物必需营养元素的吸收,导致农作物减产或者植物受损 [5-6]。碱胁迫能够破坏离子平衡,造成微量元素缺乏,改变植物体内抗氧化酶、氨基酸和碳水化合物组分 [7-10]。

对于盐碱地的治理,国内外都进行了一系列相关研究,国内相较于国外起步较晚,治理方式主要分为4种:生物治理、化学治理、物理治理和水利治理。

盐渍土的形成跟水有密不可分的关系,遵循“盐随水来,盐随水去”的水盐运移原理。预防盐碱危害从控制水着手,一方面应控制地下水位保持在临界水位以下,另一方面减少地下水蒸发。水利治理的关键是保证良好的排水状态,通过水的淋洗作用将盐分带走,降低地下水位,排出高矿化度的地下水 [11-13]。目前为止,应用暗沟技术改良盐碱地的研究较少,而且存在一定的弊端。任玉民等 [14]、杨延春等 [15] 分别在辽宁省西南部和江苏滨海盐碱地研究了不同暗沟间

距及不同暗沟深度对盐碱地的改良效果,取得了很好的效果,结果表明,暗沟提升了地下水的排降速度,并且暗沟间距越小,地下水排降速度越快。但试验中暗沟的填埋材料存在易分解、持续时间短等缺点。因此,本研究选用砾石作为填埋材料进行改进研究。

垂柳(*Salix babylonica*)分布广泛,成本低廉,是园林绿化中常用的行道树,喜生活在湿地和水边,中度耐盐碱,因此是用于盐碱地植物改良和干旱地区的防护林建设的重要树种。本文拟以垂柳为试验材料,研究大田中不同暗沟间距对西北地区盐渍土的土壤特性及垂柳生长的影响,从而评估不同暗沟间距的控盐改土效果,以期为西北地区大面积盐渍土改良和防护林营造等林业生态工程建设提供理论依据,通过改良大面积的盐碱土地,植树种草,增加植被覆盖率,保护利用水土资源,防止水土流失。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验区位于宁夏回族自治区(以下简称宁夏)吴忠市树新林场,位于黄河上游,宁夏平原中部,地处 $105^\circ 21' - 106^\circ 21' \text{E}$, $37^\circ 36' - 38^\circ 15' \text{N}$ 。该区为中温带大陆性气候,冬无严寒,夏无酷暑,四季分明,昼夜温差大,全年日照数 2 955 h,年平均气温 $8.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,无霜期 176 d,年降水量 260.7 mm。试验区土壤为碱化盐土,pH 值 8.5,全盐平均 4.6 g/kg ,碱化度 22% 左右。一般地下水位 1.5 m 左右。土壤质地黏重,透水性差,矿化度为 $0.6 \sim 15 \text{ g/L}$ (表 1)。

表 1 研究区试验地土壤基本理化性质

土层深度/ cm	有机质/%	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙度/ %
0—20	1.24	0.29	9.53	57.93	1.32	43.90

1.2 试验材料与方法

选取垂柳为试验树种,种植时间为 2015 年 5 月。树木种植之前,对试验区土壤进行改良。每个小区按照脱石膏 22.5 t/hm^2 ,糠醛渣 15 t/hm^2 ,牛粪 $45 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的标准施入改良物料,并通过深翻和旋耕使改良物料与表层土壤充分混合。树坑直径 1.0 m,深 1.0 m。在树坑底部设置 15 cm 秸秆垫层,同时将坑土与脱石膏 4.5 kg/坑 ,糠醛渣 3 kg/坑 ,牛粪 $0.009 \text{ m}^3/\text{坑}$ 充分混合后回填。种植间距 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$,栽植垂柳苗木均为 2 年生带土根苗,栽植方法为截干栽植,栽培管理

措施一致,每月灌溉 1 次,所有处理灌水量相同。

试验共设置 5 个处理: T_1 为暗沟间距 3 m, T_2 为暗沟间距 6 m, T_3 为暗沟间距 9 m, T_4 为暗沟间距 15 m,CK 为对照。暗沟设计标准:沟宽 0.8 m,沟北侧深 1.0 m,沟南侧深 1.2 m,沟底砾石垫层 30 cm,秸秆垫层 10 cm。试验区的外侧设置了 1.5 m 深的明沟用于排水。试验区大小为 $81 \text{ m} \times 30 \text{ m}$,共有垂柳 104 棵。

1.3 土壤理化指标的测定

每个小区采集表层土壤样品(0—20 cm),3 次重复,土壤含水量采用烘干法测定;土样自然风干后过

1 mm 土壤筛进行理化性质的测定,按 5:1 水土比与去离子水混合,充分振荡摇匀再过滤,取上清液测定 pH 值和电导率,pH 值用 SartoriusPB-10 pH 计测量,电导率用 MP522 电导率仪测定,全盐采用电导法测定。

1.4 生长指标的测定

于 2016 年 8 月测定垂柳的株高,冠幅(南北、东西),胸径(南北、东西)以及成活率。每个处理测定 4 个重复,每个重复选取 2 棵树。

1.5 叶片光合特性测定

2016 年 7 月 27—29 日,在晴朗无云的 3 d 中,对垂柳叶片进行光合特性测定。利用 TPS-2 便携式光合分析仪测定垂柳叶片的净光合速率 [P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、气孔导度 [G_s , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、蒸腾速率 [T_r , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 和胞间 CO_2 浓度 (C_i , 10^{-6})。同时记录光合有效辐射 (PAR)、环境 CO_2 浓度 [C_a , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、空气相对湿度 (R_H , %) 和气温 (T_a , $^{\circ}\text{C}$) 等环境参数。每个处理选择 4 株垂柳,每株选取树冠中部 4 个方位的 4 片生长良好的成熟叶片进行活体测定,当光合速率趋于稳定时,记录 3 次数值,取平均值。最后数值均为 3 d 的平均值。叶片瞬时水分利用效率 (LWUE, $\mu\text{mol}/\text{mol}$) 的计算公式为: $\text{LWUE} = P_n / T_r$ 。

1.6 叶片光谱特性的测定

本试验采用 Unispec-SC 光谱仪进行叶片反射光谱的测量,测定的波长范围是 310~1 130 nm,测定时卤光灯的光强设定为 100%,整合时间 4 ms,重复扫描次数设置为 3 次,叶夹上光纤探头与叶片成 60° 夹角,每 10 min 进行一次参比扫描。每个处理 4 个重复,每个重复选取 2 株垂柳,每株垂柳选取 5 片叶子,每片叶片测 4 个不同的位置。采集时间为 2016 年 8 月,叶片采用离体测定,且在 4 h 内进行测定^[16]。

光谱仪数据利用 Multispec5.1 软件进行初步处理,得到光谱反射率 R_λ 。常用的光谱指数有植被归一化指数 (NDVI, normalized difference vegetation index), $\text{NDVI} = (R_{750} - R_{675}) / (R_{750} + R_{675})$ ^[17]; 结构不敏感植被光谱指数 (SIPI, structure independent pigment index), $\text{SIPI} = (R_{800} - R_{445}) / (R_{800} + R_{680})$ 计算^[18]; 光化学反射指数 (PRI, photochemical reflectance index): $\text{PRI} = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$ ^[19]; 叶绿素归一化指数 (ChlNDI, chlorophyll normalized

index), 其计算公式为: $\text{ChlNDI} = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705})$ ^[20]。本文中对这 4 种光谱指数均进行了计算。红边位置 (red wavelength, λ_{Red}) 是红光范围内反射光谱的一阶导数最大值所对应的波长。

1.7 统计分析

统计分析运用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件,数据均为 4 次重复的平均值 \pm 标准差,采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 比较不同数据组间的差异显著性,水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同暗沟间距对土壤理化性质的影响

由表 2 可以看出,4 种处理的土壤含水率均小于 CK,随着暗沟间距的减小,土壤含水率逐渐减小, T_4 处理与 CK 差异不显著 ($p > 0.05$),其余处理之间均差异显著 ($p < 0.05$); 4 种处理的 pH 值均小于对照,并且与 CK 之间差异显著 ($p < 0.05$), T_1 , T_2 和 T_3 处理之间差异不显著 ($p > 0.05$); 同样,通过处理,土壤含盐量降低,4 种处理均与 CK 差异显著 ($p < 0.05$), T_1 , T_2 和 T_3 处理之间差异不显著 ($p > 0.05$)。

表 2 不同暗沟间距处理对土壤理化性质的影响

处理	土壤含水率/%	pH 值	土壤含盐量/%
T_1	0.178 \pm 0.0003 ^d	8.309 \pm 0.053 ^c	1.545 \pm 0.005 ^c
T_2	0.193 \pm 0.0003 ^c	8.307 \pm 0.012 ^c	1.554 \pm 0.005 ^c
T_3	0.214 \pm 0.0008 ^b	8.317 \pm 0.021 ^c	1.520 \pm 0.010 ^c
T_4	0.255 \pm 0.0006 ^a	8.957 \pm 0.049 ^b	3.087 \pm 0.031 ^b
CK	0.259 \pm 0.0001 ^a	9.120 \pm 0.010 ^a	3.657 \pm 0.031 ^a

注:同列中不同小写字母代表处理间在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 不同暗沟间距对垂柳生长的影响

4 个处理中,垂柳的胸径、冠幅和树高均大于 CK 植株(表 3)。其中,4 个处理的东、西冠幅均与 CK 之间具有显著差异 ($p < 0.05$),与 CK 相比, T_1 , T_2 , T_3 和 T_4 处理的东、西冠幅分别增加了 45%, 43%, 47% 和 20%; T_1 , T_2 和 T_3 处理的树高、胸径和南北冠幅与 CK 差异显著 ($p < 0.05$),而 T_4 处理的树高、胸径和南北冠幅均与 CK 差异不显著 ($p > 0.05$),东、西冠幅与 CK 差异显著 ($p < 0.05$)。说明 T_1 , T_2 和 T_3 处理对垂柳生长影响效果大致相同;与 CK 相比, T_4 处理对垂柳生长效果无显著提高。

表 3 不同暗沟间距处理对垂柳生长的影响

处理	树高/cm	南北胸径/cm	东西胸径/cm	南北冠幅/cm	东西冠幅/cm
T_1	447.13 \pm 35.16 ^a	51.55 \pm 3.30 ^a	49.62 \pm 2.56 ^a	285.63 \pm 25.37 ^a	271.88 \pm 31.37 ^a
T_2	445.13 \pm 23.06 ^{ab}	47.37 \pm 5.73 ^a	46.50 \pm 5.18 ^a	250.38 \pm 25.94 ^b	268.75 \pm 29.62 ^a
T_3	417.13 \pm 37.75 ^b	47.95 \pm 7.42 ^a	47.89 \pm 6.79 ^a	280.75 \pm 39.26 ^{ab}	275.88 \pm 33.37 ^a
T_4	346.25 \pm 2.46 ^c	37.95 \pm 2.09 ^b	38.19 \pm 1.90 ^b	210.00 \pm 24.61 ^c	226.13 \pm 13.99 ^b
CK	333.13 \pm 28.58 ^c	33.42 \pm 1.42 ^b	34.11 \pm 1.58 ^b	177.75 \pm 39.94 ^c	188.13 \pm 39.59 ^c

2.3 不同暗沟间距处理对垂柳叶片光合特性和水分利用效率的影响

从图1可以看出,通过不同暗沟间距处理,净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和水分利用效率(LWUE)值与CK相比均有显著差异($p < 0.05$)。T₁处理垂柳的 G_s 与T₂和T₃处理下的 G_s 不具有显著差异($p > 0.05$),其余各处理垂柳的 G_s 值均具有显著差异($p < 0.05$),4种处理下的 G_s 值均高于CK;T₁和T₄处理下垂柳的 T_r 值差异不显著($p > 0.05$),T₂和T₃处理下垂柳的 T_r 值不具有显著差异($p > 0.05$),其余各处理垂柳的 T_r 值均具有显著差异($p < 0.05$),4种处理下的 T_r 值均高于CK;对于 P_n 来说,T₁的 P_n 值略小于T₂,并且两者之间差异不显著($p > 0.05$),其余各处理之间均差异显著($p < 0.05$),但T₁、T₂和T₃处理间 C_i 值差异不显著($p > 0.05$);暗沟处理对垂柳叶片水分利用效率的影响与 P_n 、 G_s 、 T_r 、 C_i 不同,CK的LWUE值显著高于T₄、T₃和T₂处理($p < 0.05$),但低于T₁处理,且具有显著性差异($p < 0.05$)。

2.4 不同暗沟间距处理对垂柳叶片反射光谱参数的影响

2.4.1 不同处理下垂柳叶片反射光谱特征

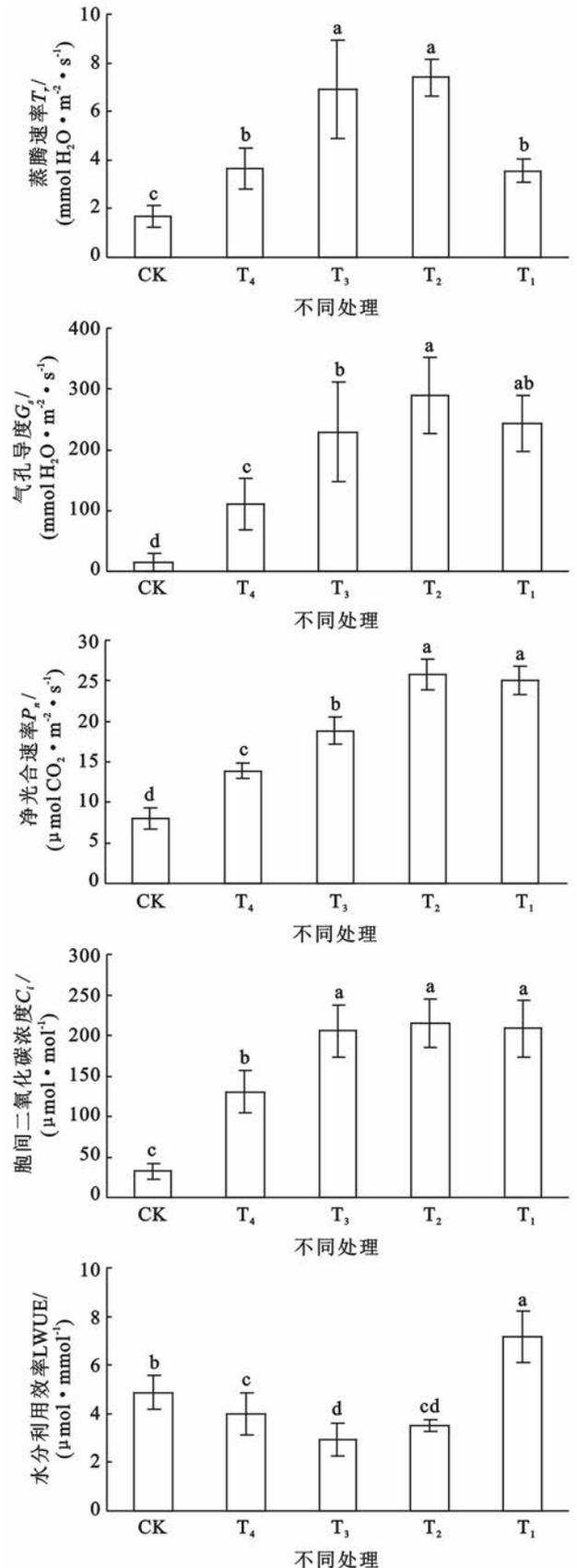
由图2可以看出不同处理下,垂柳叶片的反射光谱曲线均具有典型的反射光谱特征,在420~500 nm处出现蓝光谷,600~680 nm处出现红光谷,680~740 nm处出现红边区的快速上升,以及780~1 000 nm的近红外高原平台现象。但是反射光谱的反射率大小在不同处理方法下则存在差异,尤其是在525~605 nm的绿光区和780~1 000 nm的近红外区差异明显,并且CK明显高于其他处理,在780~1 000 nm的区域,T₄处理下的反射光谱曲线高于CK。

从垂柳叶片的一阶导数曲线可以看出,5种处理的整体变化趋势也是一致的,在505~545 nm的蓝光区和680~750 nm的红光区出现最大峰值,560~640 nm的黄光区出现最小峰值,但5种处理的一阶导数曲线差异变化不大,单从图中无法看出红边位置的位移情况。

2.4.2 不同处理下垂柳叶片反射光谱参数变化

由表4可以看出,4种暗沟间隔处理的光谱参数PRI和NDVI均大于CK,并且与CK的差异显著($p < 0.05$),说明4种处理下的植物光合速率更高,因此含有更多的叶绿素;对于光谱参数SIPI来说CK>T₄>T₃>T₂>T₁,说明CK植物受到的胁迫最大,叶绿素的含量较低,而类胡萝卜素的含量较高;T₁、T₂和T₃的ChINDI值均大于CK,并且差异显著($p < 0.05$),T₄处理下的ChINDI值稍小于CK,但与CK差异不

显著($p > 0.05$)。经过暗沟处理后,植物的生长均得到了不同程度的改善,T₁、T₂和T₃处理效果较好。



注:不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。

图1 不同暗沟间距处理垂柳叶片光合特性和水分利用效率变化

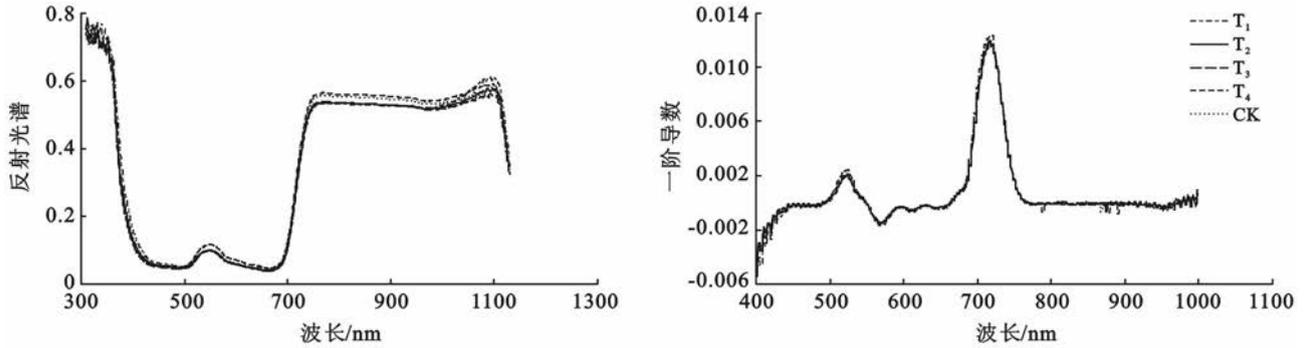


图 2 垂柳叶片反射光谱曲线和一阶导数曲线

表 4 不同处理垂柳叶片反射光谱参数变化

处理	NDVI	SIPI	PRI	ChINDI
T ₁	0.850±0.013 ^a	0.806±0.016 ^c	0.045±0.008 ^a	0.548±0.024 ^a
T ₂	0.845±0.015 ^b	0.819±0.013 ^b	0.044±0.007 ^a	0.547±0.022 ^a
T ₃	0.841±0.015 ^c	0.820±0.015 ^b	0.043±0.007 ^a	0.549±0.024 ^a
T ₄	0.835±0.014 ^d	0.821±0.012 ^b	0.033±0.007 ^c	0.523±0.026 ^b
CK	0.837±0.014 ^d	0.830±0.014 ^a	0.035±0.010 ^b	0.525±0.037 ^b

3 讨论

3.1 不同暗沟间距处理对土壤理化性质的影响

由表 2 看出,随着暗沟间距的减小,土壤含水量逐渐降低,pH 值和土壤含盐量下降,T₁、T₂ 和 T₃ 处理的土壤含盐量差异不显著,原因是暗沟越密集,排水越快,导致土壤水分含量下降,而盐离子溶于水中随水排出,由于 T₁ 和 T₂ 处理的暗沟间距较密集,排水速度过快,使得盐分没有充分溶解在水中,所以和 T₃ 处理相比 pH 值和土壤含盐量差异并不显著,T₄ 处理下的盐离子虽然可以较充分地溶解于水中,但是由于排水速度慢,而当地蒸发强烈,使得水分在排出之前蒸发掉,盐分留在土壤中,并未大幅度下降。

3.2 不同暗沟间距处理对垂柳生长的影响

植物在盐碱胁迫下最为明显的表现是其生长受到抑制^[21],因此植物在受到胁迫的时候,会通过改变生长和形态特征,如降低植株高度、叶面积和冠幅大小等来适应逆境条件,从而保证植物在逆境条件下的存活和生长^[22-23],每种植物都有自己可以存活的盐碱适应范围,在这个范围内,便可以正常生长,反之,则会生长受损甚至死亡。本试验中,通过设置暗沟处理,与 CK 相比,植物的生长指标均有不同程度的改善,其中 T₄ 处理下的植物生长指标与 CK 相比有所提高,但是差异不显著,而其他 3 种处理植物生长指标与 CK 相比有显著提高,T₁ 处理的改良效果最好,但与 T₂ 和 T₃ 处理相比,差异不明显,说明在这 3 种

处理下,土壤的盐碱值均下降到了垂柳可以正常生长的范围。

由表 2 和表 3 可以看出,不同处理的树高、胸径和冠幅的变化规律与土壤的 pH 值和含盐量的变化规律相似,并且树高的变化规律与土壤含水率相反,说明影响植物生长的因素是土壤的 pH 值和含盐量,土壤含水量在 20% 以上为垂柳生长的适宜范围,本研究的 T₁ 处理和 T₂ 处理的土壤含水率均低于 20%,但本文中植物的生长并没有受到影响,可能的原因是垂柳的形态指标对土壤含水率的响应不够敏感,此范围的土壤含水量还不足以对垂柳的生长产生影响。

3.3 不同暗沟间距处理对垂柳光合及水分利用效率的影响

随着暗沟间距的减小,垂柳的净光合速率、气孔导度和胞间 CO₂ 浓度大体呈升高趋势,说明垂柳净光合速率的下降主要是由气孔因素引起的。植物气孔具有尽可能维持一个适度开度的特性,以保证光合作用和蒸腾作用的正常进行。气孔导度与胞间二氧化碳浓度、蒸腾、饱和差、叶水势和土壤水分等要素间存在着复杂的反馈和前馈作用,胞间二氧化碳浓度降低使得大量 K⁺ 进入保卫细胞,保卫细胞膨胀,气孔张开,允许二氧化碳作为光合原料扩散进入叶片;相反,胞间二氧化碳浓度升高,气孔关闭。当蒸腾作用过于强烈,前馈机制启动,保卫细胞的膨胀度变弱,气孔发生关闭。当土壤水分不足,植物根部产生 ABA,并随着蒸腾作用所需的水分输送到叶片,气孔接收到水分

亏缺的信号,发生关闭^[24]。土壤含水量在 20% 以上为垂柳生长的适宜范围, T_1 处理的土壤含水量较低,造成土壤水分亏缺,而土壤水分亏缺使 T_r 有所降低。所以即使 3 种处理的 pH 值和土壤含盐量差异不显著,但 T_1 处理的 T_r 显著小于 T_2 和 T_3 处理。叶片的水分利用效率(LWUE)是叶片在气体交换过程中二氧化碳和水汽的交换比率,其比值大小可用来反映植物适应逆境的能力强弱。影响 LWUE 的重要外部和内部因素分别为土壤水分含量和叶片气孔导度^[25]。当植物通过气孔的开闭(气孔导度大小)在得到二氧化碳和失去水分的调节中达到最优时,植物的水分利用效率达到最大值。在自然界中,环境对 LWUE 的影响是多种相互关联的因子共同作用的结果,LWUE 的变化取决于光合和蒸腾两者之间增大幅度的对比。 T_1 处理的蒸腾速率低,而 T_1 处理的光合速率又较高,因此 T_1 处理具有最高的水分利用效率。当不做暗沟处理或暗沟处理间距较大的时候,垂柳的光合速率、蒸腾速率和水分利用效率都减小,但水分利用效率仍高于其他处理,说明植物可以通过自身的主动调节适应胁迫,但超出一定范围后,则无法通过这种作用抵消胁迫对光合的影响。

3.4 不同暗沟间距处理对垂柳叶片反射光谱参数的影响

T_4 处理和 CK 的反射光谱曲线明显高于其他处理,说明这 2 种处理没有起到好的控盐改土效果,植物叶片的叶绿素含量较低。色素是影响植物光谱响应的主要因素,其中叶绿素所起的作用最为重要。健康的绿色植被,其光谱反射曲线呈现“峰和谷”的图形。

植物叶片光合色素主要包含叶绿素和类胡萝卜素。NDVI,ChI,NDI 是常用的光谱指数,均与叶绿素含量呈正相关的关系,但 NDVI 对叶绿素含量表现出一定的饱和性,ChI,NDI 则恰好弥补了这一不足。试验结果显示通过不同暗沟间距处理,垂柳叶片的叶绿素含量得到不同程度的提高,较明显的是 T_1 , T_2 和 T_3 处理,说明植物可以在其生长环境下有一个更好地生长,且 3 种处理之间差异不显著;单位叶绿素的类胡萝卜素含量可反映植物受胁迫的情况,当含量高时,说明植物受到较强胁迫^[26]。试验结果中 CK 的 SIPI 值最大,说明不做暗沟处理的垂柳受到的胁迫最严重, T_1 处理下的效果最好。

4 结论

通过处理,与 CK 相比,4 种处理下的土壤理化指标、生长指标、光合指标与光谱指标均得到了不同程

度的改善,其中, T_1 , T_2 和 T_3 处理的效果更加显著,且 3 种处理之间差异不大,而 T_4 处理改良效果不明显。

综合所有的试验结果可以看出,通过不同暗沟间距处理,植物的生长均得到了不同程度的改善,但综合考虑经济成本和人力耗损来看,最优的试验方案是 T_3 处理即开设 9 m 的暗沟间距,既可以达到所需的试验效果,又可以节省成本。

[参 考 文 献]

- [1] 周和平,张立新,禹锋,等. 我国盐碱地改良技术综述及展望[J]. 现代农业科技,2007(11):159-161.
- [2] 于淑会,刘金铜,李志祥,等. 暗管排水排盐改良盐碱地机理与农田生态系统响应研究进展[J]. 中国生态农业学报,2012,20(12):1664-1672.
- [3] 樊丽琴,杨建国,许兴,等. 宁夏引黄灌区盐化土壤盐分特征与相关性分析[J]. 中国土壤与肥料,2012(6):17-23.
- [4] 张建锋,宋玉民,邢尚军,等. 盐碱地改良利用与造林技术[J]. 东北林业大学学报,2002,30(6):124-129.
- [5] Grattan S R, Grieve C M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops[J]. Scientia Horticulturae, 1998,78(1):127-157.
- [6] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59: 651-681.
- [7] Alam S M, Naqvi S S M, Ansari R. Impact of soil ph on nutrient uptake by crop plant [M] // Mohammad P, Handbook of Plant and Crop Stress, New York: Marcel Dekker, Inc, 1999:51-60.
- [8] Biljana K, Filis M, Nina J. Effects of mixed saline and alkaline stress on the morphology and anatomy of *Pisum sativum L.*: The role of peroxidase and ascorbate oxidase in growth regulation[J]. Archives of Biological Sciences, 2013,65(1):265-278.
- [9] 石德成,赵可夫. NaCl 和 Na_2CO_3 对星星草生长及营养液中主要矿质元素存在状态的影响[J]. 草业学报, 1997,6(2):51-61.
- [10] Zhang Pingping, Fu Jinmin, Hu Longxin. Effects of alkali stress on growth, free amino acids and carbohydrates metabolism in *Kentucky bluegrass (Poa pratensis)*[J]. Ecotoxicology, 2012,21(7):1911-1918.
- [11] 赵可夫,冯立田. 中国盐生植物资源[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [12] 王胡军,李纯,钟香梅,等. 盐碱地改良技术研究进展[J]. 农业工程,2014,4(S1):44-47.
- [13] 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.

综上所述,与荆条相比,酸枣的茎解剖构造更有利于其在干旱季节维持较高的树干液流,进而得以维持正常的生长,因此更适合于干旱区造林。

[参 考 文 献]

- [1] 王连春. 酸枣荆条液流特征及其耗水尺度扩展研究[D]. 北京:北京林业大学,2013.
- [2] 陈宝强,张建军,张艳婷,等. 晋西黄土区辽东栎和山杨树干液流对环境因子的响应[J]. 应用生态学报,2016,27(3):746-754.
- [3] 孙琳旒,汤斌,高瑞馨. 植物茎解剖结构对于旱缺水环境的响应及适应性[J]. 林业勘察设计,2016(2):43-46.
- [4] Carlquist S, Comparative Wood Anatomy[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988:41-81.
- [5] Gamage H K, Ashton M S, Singhakumara B M P. Leaf structure of *Syzygium* spp. (Myrtaceae) in relation to site affinity within a tropical rain forest[J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2003,141(3):365-377.
- [6] 史刚荣,刘蕾. 淮北相山三种群落中优势树种次生木质部的解剖学特征[J]. 云南植物研究,2006,28(4):363-370.
- [7] 于红博,杨劼,臧春鑫,等. 皇甫川流域中国沙棘树干液流日变化及其相关因子[J]. 生态学杂志,2008,27(7):1071-1076.
- [8] 夏桂敏,康绍忠,李王成,等. 甘肃石羊河流域干旱荒漠区柠条树干液流的日季变化[J]. 生态学报,2006,26(4):1186-1193.
- [9] 王林,王延书,高勇富,等. 刺槐根、茎木质部水力结构特征[J]. 山西农业科学,2015,43(6):689-692.
- [10] 王秀伟,毛子军. 输导组织结构对液流速度和树干 CO₂ 释放通量的影响[J]. 北京林业大学学报,2013,35(4):9-15.
- [11] 艾绍水,李秧秧,陈佳村,等. 陕北沙地 3 种典型灌木根木质部解剖结构及水力特性[J]. 应用生态学报,2015,26(11):3277-3284.
- [12] 李荣,党维,蔡靖,等. 6 个耐旱树种木质部结构与栓塞脆弱性的关系[J]. 植物生态学报,2016,40(3):255-263.
- [13] 张海昕,李姗,张硕新,等. 4 个杨树无性系木质部导管结构与栓塞脆弱性的关系[J]. 林业科学,2013,49(5):54-61.
- [14] 任玉民,陈家驹. 暗沟排水对洗盐效果的初步观察[J]. 土壤通报,1960(5):21-31.
- [15] 杨延春,潘德峰,邹志国. 江苏滨海盐渍土区水稻秸秆暗沟排水降渍试验[J]. 江苏农业科学,2015,43(3):373-375.
- [16] Richardson A D, Berlyn G P. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA[J]. American Journal of Botany, 2002,89(1):88-94.
- [17] Gamon J A, Surfus J S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer[J]. New Phytologist, 1999,143(1):105-117.
- [18] Peñuelas J, Filella I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status[J]. Trends in Plant Science, 1998,3(3):151-156.
- [19] Demmig-Adams B, Walliam W A. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis [J]. Trends in Plant Science, 1996,1(1):21-26.
- [20] Gitelson A, Merzlyak M N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. Leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation [J]. Journal of Plant Physiology, 1994,143(3):286-292.
- [21] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress[J]. Plant Cell & Environment, 2002,25(2):239-250.
- [22] Falster D S, Westoby M. Plant height and evolutionary games[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003,18(7):337-343.
- [23] Grotkopp E, Rejmánek M, Rost T L. Toward a causal explanation of plant invasiveness: Seedling growth and life-history strategies of 29 pine (*Pinus*) species[J]. The American Naturalist, 2002,159(4):396-419.
- [24] 于贵瑞. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [25] 曹生奎,冯起,司建华,等. 植物叶片水分利用效率研究综述[J]. 生态学报,2009,29(7):3882-3892.
- [26] Richardson A D, Berlyn G P, Gregoire T G. Spectral reflectance of *Picea rubens* (Pinaceae) and *Abies balsamea* (Pinaceae) needles along an elevational gradient, Mt. Moosilauke, New Hampshire, USA[J]. American Journal of Botany, 2001,88(4):667-676.

(上接第 91 页)