

郑旭, 赵文静, 刘兴满, 等. 苏北滨海盐渍土土壤基本性质及其对中山杉生长的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(9): 1854-1861.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.09.007

苏北滨海盐渍土土壤基本性质及其对中山杉生长的影响

郑旭¹, 赵文静¹, 刘兴满¹, 张康², 王文成³, 秦波², 唐罗忠²

(1. 连云港市农业科学院, 江苏 连云港 222000; 2. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心/南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037; 3. 江苏银宝林业有限公司, 江苏 盐城 224100)

摘要: 通过对江苏省盐城市大丰区不同中山杉(*Taxodium*)造林地的土壤盐分含量、有机质含量等土壤性质指标及中山杉成活率、胸径和树高等生长指标调查, 分析了不同指标之间的相互关系, 明确了土壤含盐量对中山杉生长的影响。结果表明, 12 块造林样地 0~50.0 cm 深度范围的土壤含盐量为 0.04%~0.80%, 不同造林地之间的土壤含盐量差异较大; 土壤有机质含量为 4.37~11.52 g/kg, 普遍偏低; 土壤全氮含量与含盐量呈显著负相关, 与有机质含量呈极显著正相关; 中山杉的成活率、胸径以及树高与土壤含盐量之间均呈负相关关系, 可用一元二次方程拟合土壤含盐量对中山杉生长指标的定量关系; 当土壤盐分含量高于 0.60% 时, 中山杉的成活率低于 50%, 胸径和树高明显偏低, 当土壤盐分含量低于 0.30% 时, 中山杉的成活率在 80% 以上, 胸径和树高也比较正常。

关键词: 滨海盐渍土; 土壤含盐量; 中山杉; 成活率

中图分类号: S156.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)09-1854-08

Basic properties of coastal saline soil in northern Jiangsu and their effects on the growth of *Taxodium* ‘Zhongshanshan’

ZHENG Xu¹, ZHAO Wen-jing¹, LIU Xing-man¹, ZHANG Kang², WANG Wen-cheng³, QIN Bo², TANG Luo-zhong²

(1. Lianyungang Academy of Agricultural Sciences, Lianyungang 222000, China; 2. Co-innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University/College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 3. Jiangsu Yinbao Forestry Co., Ltd., Yancheng 224100, China)

Abstract: Based on the investigation of soil salt content, organic matter content, tree survival rate, diameter at breast height (DBH) and tree height of *Taxodium* ‘Zhongshanshan’ in different afforestation sites in Dafeng District, Yancheng City, Jiangsu province, the relationship between soil properties and tree growth indices was analyzed. The influence of soil salt content on the growth of *Taxodium* ‘Zhongshanshan’ was clarified. The results showed that the soil salt content in the depth range of 0–50.0 cm in 12 afforestation sites was between 0.04% and 0.80%, and the difference in soil salt content among forestation sites was great. The content of soil organic matter was 4.37–11.52 g/kg, which was generally low. The soil total nitrogen content was significantly negatively correlated with the salt content and significantly positively correlated with the organic matter content. There was a negative correlation between the survival rate, DBH, tree height and

soil salt content, and the quadratic polynomial equation could be used to describe the quantitative relationship between soil salt content and the growth indices of *Taxodium* ‘Zhongshanshan’. When the soil salt content was higher than 0.60%, the survival rate was less than 50%, and the DBH and tree height were significantly lower.

收稿日期: 2022-08-12

基金项目: 江苏省林业科技创新与推广项目[LYKJ(2021)30]

作者简介: 郑旭(1994-), 男, 江苏连云港人, 硕士, 实习研究员, 主要从事耐盐树种研究。(E-mail) 190716747@qq.com

通讯作者: 唐罗忠, (E-mail) luozhongtang@njfu.edu.cn

When the soil salt content was lower than 0.30%, the survival rate of *Taxodium* 'Zhongshanshan' was more than 80%, and the DBH and tree height were also nearly to normal level.

Key words: coastal saline soil; soil salt content; *Taxodium* 'Zhongshanshan'; survival rate

土壤盐渍化是一个全球性问题,严重威胁着世界各国的土地质量和生态环境^[1]。全球盐渍化土壤面积约为 $8.31 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ^[2],中国的盐渍化土壤面积约 $3.60 \times 10^7 \text{ hm}^2$,主要分布在华北、东北、西北平原以及滨海区域^[3-4]。此外,由于气候变化、不合理的耕作制度等因素,土壤次生盐渍化现象有日趋加重的趋势^[5-6]。因此,加强盐渍土的改良对改善区域生态环境、促进区域工农业生产和经济发展至关重要^[7]。

传统的盐渍土换土改良方法,投入高,且难以根除盐渍化问题^[8]。灌溉洗盐亦需要结合一定的工程措施,且对地下水位较高的滨海地区难以实现^[9-12]。恢复植被是抑制土壤盐渍化,改良盐渍土的有效措施^[13-15]。但盐渍土较高的含盐量易导致植被光合速率降低,生物量积累减少,生长缓慢^[16]。有关盐渍土耐盐树种的选育与筛选、树种的耐盐指标等已有一些研究^[17-18]。这些研究结果为缓解盐渍土生态危机,增加林木种质资源,促进生态林业发展提供了较好的基础。

滨海地区的地理位置往往比较优越,交通比较便利,资源比较丰富,开发利用潜力较大。但滨海盐渍土受海水的影响较大,盐分组成与海水盐分关联度高,土壤剖面由上而下均匀分布着氯化物盐类^[19]。江苏北部滨海盐渍土资源比较丰富,近年来开展了大规模的造林绿化工程,其中,中山杉(*Taxodium*)的种植面积比较大。但不同地块种植的中山杉成活率和长势呈现出较大的差异,其主要原因是地块间的土壤含盐量存在较大差异。目前,对自然环境下,土壤含盐量对中山杉成活率和长势的影响尚不明确。因此,为明确土壤含盐量、有机质含量等基本性状指标与中山杉生长的关系,本研究在江苏省北部滨海盐渍地选择典型地块调查中山杉成活率、生长量以及土壤基本性质,分析中山杉的耐盐性,以期江苏北部沿海地区和类似区域的盐渍地造林提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

江苏省盐城市大丰区(北纬 $33^{\circ}05'$,东经

$120^{\circ}49'$)处于北亚热带和暖温带的交界地带,季风气候明显,春季盛行东南风和东风,风速较大,夏季多发台风。年平均气温 14.1°C ,1月为最冷月,平均气温 0.8°C ,7月为最热月平均气温 27.0°C 。年平均降雨量 $1\,068.0 \text{ mm}$,年平均蒸发量 $1\,361.0 \text{ mm}$ 。滨海淤泥质土壤,粉砂比例较高,土壤肥力较低。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集与分析 采用标准地调查法。2019年8月中旬,根据中山杉的成活率、生长情况以及林下植被状况,在盐城市大丰区沿海林场、上海农场以及江苏省沿海造林试验站选择3年生中山杉造林地设置12块调查样地(图1)。样地面积为 400 m^2 。在每块调查样地内用口径为 4.5 cm 的不锈钢土钻分别取 $0\sim 20.0 \text{ cm}$ 和 $20.1\sim 50.0 \text{ cm}$ 两个土层土样,按照“Z”形走向取样9次,每3份土样合并为1份混合样品,装入自封袋保存,共72份土样。放至阴凉处摊开,自然风干15 d至土样质量基本稳定,捡出土样中的杂质,并过 2 mm 孔径的土壤筛,称得各土样的质量。过筛后的土壤用于测定含盐量、电导率、有机质含量、全氮含量和全钠含量。测定方法如下:

含盐量:精确称取 20 g 过筛土样放入容量为 500 ml 的玻璃瓶中,加入 100 ml 的超纯水,震荡 5 min ,在 $4\,000 \text{ r/min}$ 的转速下离心 30 min ,将上清液进一步过滤后,精确量取 50 ml 滤液放入已知质量为 W_1 的清洁干燥玻璃瓶中,经水浴处理,待溶液蒸干后(溶液蒸干后为白色,有机质含量忽略不计),再在电热鼓风烘箱中将玻璃瓶烘干至恒质量(W_2),用下式计算土壤盐分含量:

$$\text{土壤水溶性盐总量}(\%) = \frac{W_2 - W_1}{20 \times 50 / 100} \times 100\%$$

式中, W_1 为玻璃瓶质量(g), W_2 为玻璃瓶加水溶性盐质量(g)。

电导率:按照水土质量比 $5:1$ 的比例,称取 10 g 过筛风干土放入 100 ml 离心管中,加入 50 ml 的去离子水,震荡 5 min 后离心 30 min ,在 25°C 环境下,使用DDS-307型电导率仪(上海仪电科学仪器股份有限公司产品)测定上清液的电导率。

有机质含量:采用重铬酸钾加热法测定^[20]。

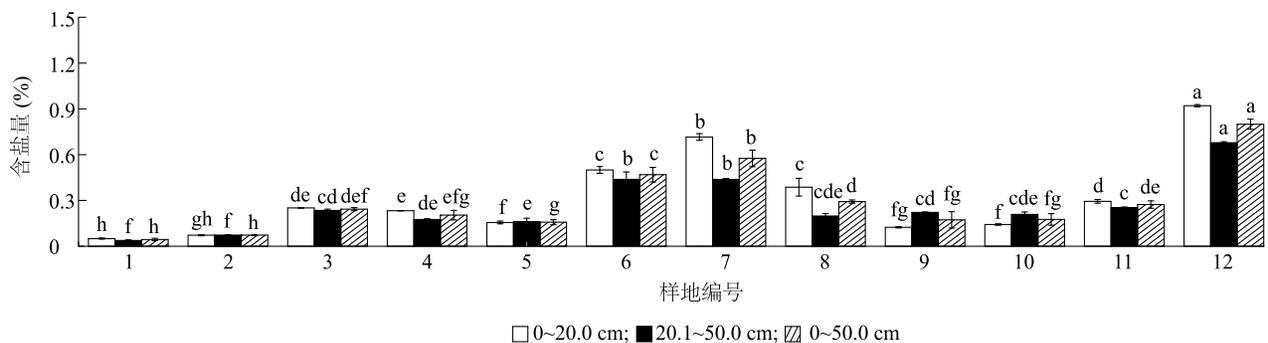
全氮和全钠含量:参照鲁如坤^[21]和鲍士旦^[22]的方法,用浓硫酸和高氯酸混合酸消煮后,采用靛酚蓝比色法测定全氮含量,采用原子吸收分光光度法测定全钠含量。



—: 区界; 1~12: 样地编号。

图1 盐城市大丰区中山杉调查样地分布

Fig.1 Distribution of sample plots of *Taxodium 'Zhongshanshan'* in Dafeng District of Yancheng City



相同土层不同样地之间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 12个样地不同土层土壤含盐量

Fig.2 Soil salt content in different soil layers of twelve sample plots

2.1.3 土壤有机质含量 由图4可知,所有样地的上层土壤有机质含量均大于下层土壤,除了样地8和样地10以外,其他样地的上下层土壤有机质含量差异均达显著水平。样地9的上层土壤有机质含量最高,达到17.50 g/kg,其他样地有机质含量均在12.00 g/kg以下。方差分析结

果表明,相同土层不同样地之间的土壤有机质含量差异较大,上层和下层土壤有机质含量的变异系数分别为35.1%和23.8%。与一般的农业和林业土壤相比,滨海盐碱地土壤有机质含量较低,这与成土时间较短、土壤含盐量较高、植被较少等因素有关。

2 结果与分析

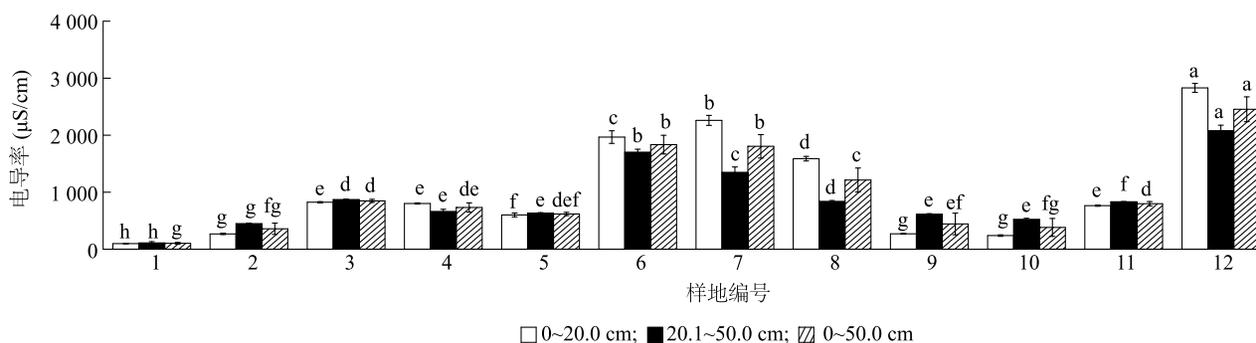
2.1 土壤基本性质

2.1.1 土壤含盐量 由图2可知,不同样地之间的土壤水溶性盐含量存在较大差异。含盐量较高的样地上层土壤的含盐量往往高于下层土壤,呈现出明显的土壤表面盐分聚积现象;而含盐量较低的样地上下层之间的土壤含盐量差异较小。大部分样地土壤含盐量低于0.30%,但样地6、7、8和12的土壤含盐量较高,其中样地12的0~20.0 cm、20.1~50.0 cm土层含盐量分别高达0.92%和0.68%。

2.1.2 土壤电导率 由图3可知,各样地土壤电导率分布规律与土壤含盐量基本一致。上层土壤电导率在1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下的样地,基本上呈现出下层土壤电导率大于上层。电导率较高的样地(电导率在1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上),上层土壤电导率均显著大于下层。样地12的0~20.0 cm和20.1~50.0 cm土层电导率最大,分别为2790.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 和2080.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

2.1.4 土壤全氮含量 由图 5 可知,不同样地的土壤全氮含量变化规律与土壤有机质含量(图 4)相似,下层土壤全氮含量普遍低于上层土壤,且差异多数达到了显著水平。各样地土壤全氮含量均在 0.4

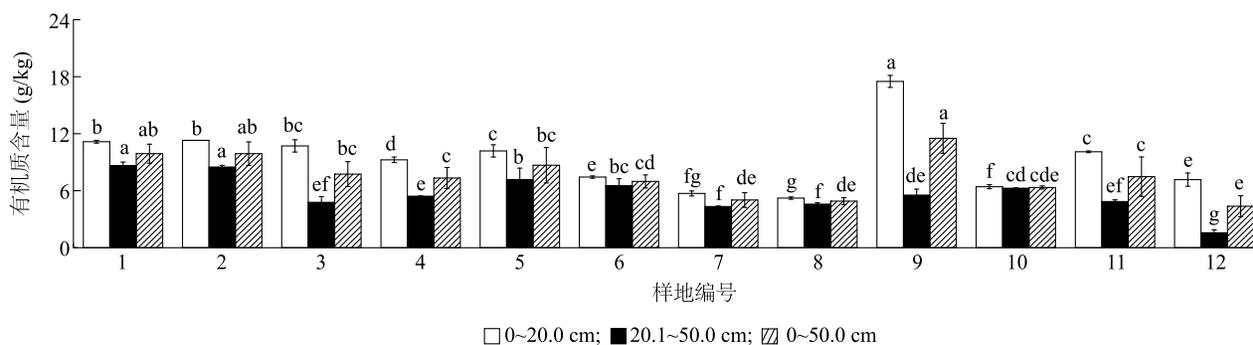
g/kg以下。相同土层、不同样地之间的土壤全氮含量存在较大差异,上层和下层土壤全氮含量的变异系数分别为 28.9%和 27.6%。



相同土层不同样地之间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 12 个样地不同土层土壤电导率

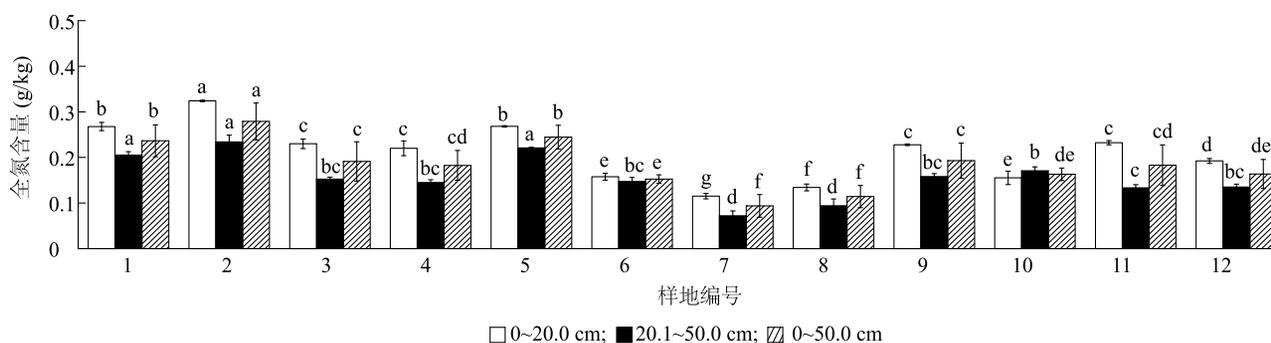
Fig.3 Soil electrical conductivity in different soil layers of twelve sample plots



相同土层不同样地之间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 12 个样地不同土层土壤有机质含量

Fig.4 Soil organic matter content in different soil layers of twelve sample plots



相同土层不同样地之间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 5 12 个样地不同土层土壤全氮含量

Fig.5 Soil total nitrogen content in different soil layers of twelve sample plots

2.1.5 土壤全钠含量 由图 6 可知,各样地土壤全钠含量变化趋势与含盐量(图 2)、电导率(图 3)

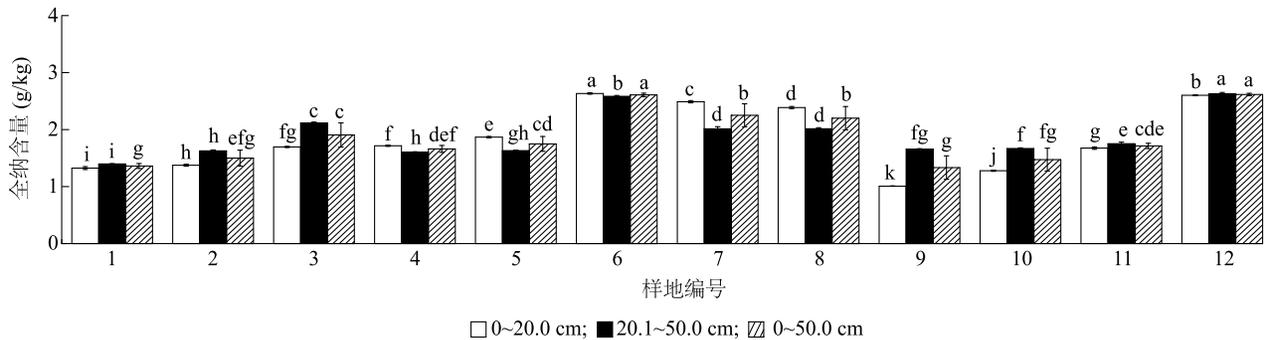
基本一致。大部分样地不同土层之间土壤全钠含量差异显著;在全钠含量较高的样地,上层土壤全

钠含量基本上均高于下层土壤。12 个调查样地中,样地 12 的下层土壤全钠含量最高,为 2.63 g/kg。

2.2 不同样地中山杉生长状况

由表 1 可知,不同样地的中山杉成活率、胸径和

树高之间存在较大差异。样地 1 的中山杉成活率最高,达 98%,最低的为样地 12,成活率为 0。11 号样地的中山杉平均胸径和平均树高最大,分别达 6.58 cm、3.68 m,显著大于其他样地。中山杉的成活率随着造林地土壤含盐量的增高而降低。



相同土层不同样地之间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图 6 12 个样地不同土层土壤全钠含量

Fig.6 Soil total sodium content in different soil layers of twelve sample plots

表 1 不同样地中山杉生长状况

Table 1 Growth status of *Taxodium* 'Zhongshanshan' at different sample plots

样地号	密度 (株, 1 hm ²)	成活率 (%)	平均胸径 (cm)	平均树高 (m)
1	1 111	98	3.12±0.09d	3.30±0.07b
2	1 111	92	2.20±0.06f	2.37±0.06c
3	1 111	92	2.58±0.04e	2.00±0.05d
4	1 111	86	2.32±0.09f	2.27±0.03cd
5	1 111	80	2.08±0.08f	2.07±0.06cd
6	1 111	78	1.73±0.09g	1.72±0.04e
7	1 111	51	2.05±0.10f	2.17±0.07cd
8	1 111	11	1.82±0.06g	1.63±0.03e
9	714	97	5.17±0.04b	3.45±0.03b
10	714	60	3.88±0.02c	2.40±0.10c
11	625	87	6.58±0.08a	3.68±0.12a
12	714	0	0±0h	0±0f

同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 土壤含盐量对中山杉成活率和生长指标的影响

由图 7 可知,0~50.0 cm 土壤含盐量与中山杉成活率、平均胸径以及平均树高之间均呈负相关关系,即:中山杉成活率、胸径和树高均随着土壤含盐量的增高而降低,可以用一元二次方程进行定量拟合。根据拟合方程可知,如果土壤含盐量为 0.20% 时,中山杉成活率可达到 90% 左右,胸径和树高分别为 3.0 cm 和 2.7 m 左右;当含盐量为 0.40% 时,

中山杉成活率为 76% 左右,胸径、树高分别为 2.4 cm 和 2.1 m 左右;当土壤含盐量为 0.60% 时,中山杉成活率仅为 45%,胸径、树高也分别偏小、变矮。如果以树木成活率达到 50% 以上,且具有一定生长量作为树种耐盐性的基本标准,则中山杉可耐受 0.50% 左右的土壤含盐量。当土壤盐分含量低于 0.30% 时,中山杉的成活率在 80% 以上,胸径和树高也比较正常。

2.4 土壤性质与中山杉生长指标的相关性分析

12 个样地 0~50.0 cm 土壤性质指标和中山杉生长指标的相关性如表 2 所示。从表 2 可以看出,土壤含盐量、电导率和全钠含量相互之间呈极显著正相关关系,三者与土壤有机质含量和全氮含量均呈负相关关系,其中土壤有机质含量与土壤含盐量、电导率和全钠含量之间呈极显著负相关,土壤全氮含量与土壤含盐量、电导率和全钠含量呈显著负相关,土壤有机质含量与土壤全氮含量呈极显著正相关。土壤含盐量、电导率、有机质含量以及全钠含量与中山杉的成活率和胸径、树高等生长指标均具有相关性,其中土壤含盐量、电导率与中山杉成活率、树高之间呈极显著负相关,土壤有机质与中山杉成活率之间呈极显著正相关,与树高之间呈显著正相关,土壤全钠含量与树高之间呈极显著负相关,与成活率、胸径之间呈显著负相关。

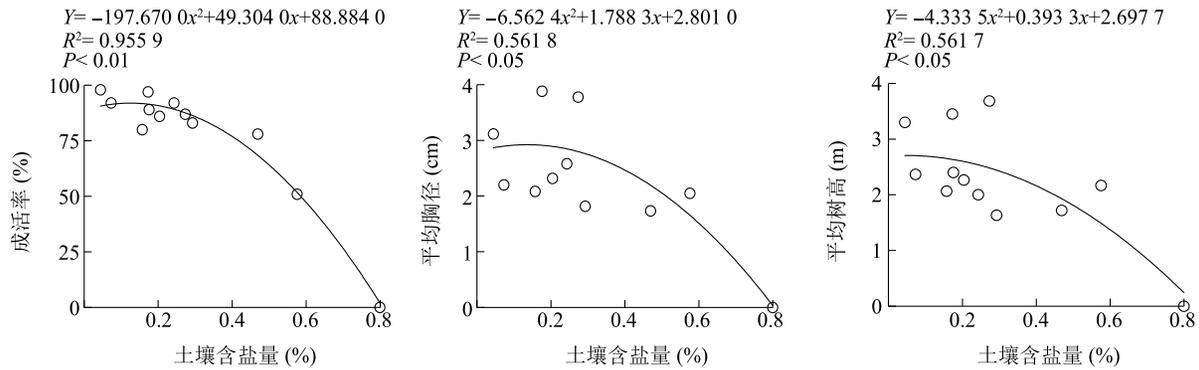


图7 0~50.0 cm 土壤含盐量对中山杉成活率、胸径及树高的影响

Fig.7 Effects of soil salt content (0~50.0 cm) on the survival rate, diameter at breast height and height of *Taxodium* 'Zhongshanshan'

表2 0~50.0 cm 土壤性质指标与中山杉生长指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between soil characteristics (0~50.0 cm) and growth indices of *Taxodium* 'Zhongshanshan'

指标	含盐量	电导率	有机质含量	全氮含量	全钠含量	胸径	树高	成活率
含盐量	1.000							
电导率	0.976**	1.000						
有机质含量	-0.749**	-0.756**	1.000					
全氮含量	-0.646*	-0.643*	0.763**	1.000				
全钠含量	0.878**	0.956**	-0.763**	-0.610*	1.000			
胸径	-0.497	-0.581*	0.474	0.131	-0.636*	1.000		
树高	-0.717**	-0.762**	0.688*	0.306	-0.778**	0.892**	1.000	
成活率	-0.719**	-0.713**	0.835**	0.613*	-0.679*	0.565	0.765**	1.000

* 表示指标间显著性相关($P < 0.05$); ** 表示指标间极显著性相关($P < 0.01$)。

3 讨论

江苏省沿海滩涂资源十分丰富,面积占全国滩涂总面积的1/4,且每年以 $1.33 \times 10^3 \text{ km}^2$ 的速度淤涨^[23]。沿海滩涂是重要的后备土地资源,利用中山杉等耐盐树种绿化和改良沿海滩涂,对于耕地保护具有重要意义。本研究中12块调查样地0~50.0 cm深度范围的土壤含盐量为0.04%~0.80%,不同样地之间的土壤含盐量差异较大,其主要原因可能是这些样地的地势和地下水位不同。含盐量较高的样地,呈现出典型的土壤表面盐分聚积现象;含盐量较低的样地,其上层土壤含盐量往往低于下层土壤。很多研究表明,土壤含盐量与电导率的相关性显著^[24-26],有学者直接用土壤电导率表示土壤含盐量^[27-30]。本文亦发现,各样地的土壤含盐量与土壤电导率之间存在极显著的正相关关系。

有机质能吸附较多的阳离子,改善土壤理化性质,提高土壤保肥能力和缓冲性能。土壤有机质既是土壤氮、磷的重要来源,也是土壤微生物必不可少的碳源和能源^[31-32]。本研究中,上层土壤的有机质含量普遍高于下层土壤,表明种植中山杉以及自然草本植被有利于上层土壤积累有机质。但各调查样地0~50.0 cm深度范围的土壤有机质含量为4.37~11.52 g/kg,普遍偏低,这可能与该区域土壤形成时间较短、土壤含盐量较高有关^[33-34]。

土壤盐分会抑制土壤养分积累^[16,35],研究结果发现,土壤全氮含量和有机质含量与土壤含盐量呈显著负相关,这与王娜娜等^[36]和毛思慧等^[37]的研究结果一致。各样地土壤全钠含量与土壤含盐量之间存在极显著正相关关系^[38],表明滨海盐渍土中钠盐的比重较高。

成活率和生长量是反映植物耐盐能力的重要指标,当植物受到盐胁迫时,生长量会下降,受到

严重胁迫时会导致死亡^[39-40]。本研究中的中山杉成活率和树高与土壤含盐量之间均呈极显著负相关,当土壤含盐量高于0.60%时,中山杉的成活率和生长量均明显较低,在此情况下,有必要先进行土壤改良,降低含盐量,以提高中山杉的成活率和生长量;当土壤含盐量低于0.30%时,中山杉的成活率和生长量均接近正常。土壤含盐量为0.30%至0.50%时,中山杉亦具有一定的成活率,说明其具有较高的耐盐性,能够在含盐量为0.50%以下的滨海盐碱地造林。

4 结论

江苏沿海地区中山杉造林地0~50.0 cm深度范围的土壤含盐量在0.04%~0.80%,含盐量较高的样地呈现出土壤表面盐分聚积现象。土壤含盐量与土壤有机质含量之间存在极显著负相关关系,与土壤电导率和全钠含量之间存在极显著正相关关系。土壤含盐量与中山杉的成活率、胸径、树高之间均呈负相关关系。当土壤盐分含量高于0.60%时,中山杉的成活率、胸径和树高均明显较低,当土壤盐分含量低于0.3%时,中山杉的表现接近正常。

参考文献:

- [1] JAMI A, RIAZ S, ASHRAF M, et al. Gene expression profiling of plants under salt stress[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2011, 30(5):435-458.
- [2] FAHAD S, HUSSAIN S, MATLOOB A, et al. Phytohormones and plant responses to salinity stress;a review[J]. *Plant Growth Regulation*, 2015, 75(2):391-404.
- [3] 王佳丽,黄贤金,钟大洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. *地理学报*, 2011, 66(5):673-684.
- [4] 俞仁培,陈德明. 我国盐渍土资源及其开发利用[J]. *土壤通报*, 1999, 30(4):158-159, 177.
- [5] WONG V N L, GREENE R S B, DALAL R C D, et al. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils;a review[J]. *Soil Use and Management*, 2010, 26(1):2-11.
- [6] 丛山. 不同改良技术对松嫩平原盐碱地土壤盐碱特征的影响[D]. 北京:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2022.
- [7] 季洪亮,路艳. 滨海盐碱地生态修复效果评价[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(2):301-307.
- [8] 梅红,赵放中,梁磊. 改土排盐工程措施成功应用——盘锦船舶工业基地四号路绿化[J]. *中国城市林业*, 2011, 9(1):14-16.
- [9] 张振石,葛海峰. 内蒙古东部地区盐渍土资源概况及改良利用[J]. *土壤通报*, 2001(S1):136-137.
- [10] 窦旭,史海滨,李瑞平,等. 暗管排水条件下春灌定额对土壤水盐运移规律的影响[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(10):318-328.
- [11] 毛景林,闫成璞,龙显助,等. 松嫩平原盐渍化土壤的利用改良及问题[J]. *土壤*, 1995(1):35-37.
- [12] 王彩虹,张文博,高子舒. 巴彦淖尔市盐碱地改良技术的研究进展[J]. *农业技术与装备*, 2021(3):49-51.
- [13] 孙泐. 苏打碱化盐土不同植被类型的根层土壤盐碱化程度的研究——吉林省大安草原盐碱土调查报告[J]. *吉林农业科学*, 1986(3):69-74.
- [14] 朱虹,祖元刚,王文杰,等. 盐碱地的植被恢复与盐碱地改良方法的评述[J]. *吉林林业科技*, 2007, 36(5):14-21, 27.
- [15] 秦嘉海,刘惠玲. 河西走廊盐渍土的分布及改良利用措施[J]. *甘肃农业科技*, 2002(11):37-38.
- [16] 王丽琴. 滨海盐碱地不同造林模式对土壤理化性质及水盐运动的影响[D]. 泰安:山东农业大学, 2014.
- [17] 刘寅. 天津滨海耐盐植物筛选及植物耐盐性评价指标研究[D]. 北京:北京林业大学, 2011.
- [18] ZHANG G J, WANG C L, YANG H Y, et al. Experimental research on improving the salt tolerance of plants in coastal saline soil—a case study of Huanghua City in Hebei Province of China[J]. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2018, 17(2):459-468.
- [19] 赵志怀. 大同盆地盐碱地治理洗盐规划及册田与镇子梁水库矿化度预测[D]. 太原:太原理工大学, 1990.
- [20] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第6部分:土壤有机质的测定;NY/T 1121.6-2006[S]. 北京:中华人民共和国农业部, 2006.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [23] 刘友兆,吴春林,马欣. 江苏滩涂资源开发利用研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2004, 25(3):6-9.
- [24] 王洪影. 天津土壤盐渍化及其对土壤碳酸盐、有机碳分布的影响[D]. 天津:天津师范大学, 2014.
- [25] 王艳,王正祥,廉晓娟,等. 天津滨海地区土壤电导率的测定及其与含盐量的关系[J]. *天津农业科学*, 2011, 17(2):18-21.
- [26] 王彤,封超年,靳瑞萍,等. 苏北滨海盐碱土壤盐碱化特征[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(19):339-343.
- [27] 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.
- [28] 刘广明,杨劲松,姚荣江. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究[J]. *土壤学报*, 2005, 42(2):247-252.
- [29] 郭彩华. 土壤溶液常规分析中离子含量和电导率之间的关系

- [J]. 科技情报导刊,2006,16(14):153-154,165.
- [30] 张建旗,张继娜,杨虎德,等. 兰州地区土壤电导率与盐分含量关系研究[J]. 甘肃林业科技,2009,34(2):21-24, 30.
- [31] 赵 懿,杜建军,张振华,等. 秸秆还田方式对土壤有机质积累与转化影响的研究进展[J]. 江苏农业学报,2021,37(6):1614-1622.
- [32] 王秋君,郭德杰,马 艳. 连续施用有机肥下设施土壤碳氮磷化学计量学特征及其与土壤有效磷的关系[J]. 江苏农业学报,2021,37(4):893-901.
- [33] 姜右锦,张松林,刘 阳. 盐碱地土壤养分和盐分含量的空间变异特征研究[J]. 河南农业科学,2020,49(3):70-78.
- [34] 刘文全,卢 芳,徐兴永,等. 废弃盐田复垦利用后土壤盐分与有机质含量空间变异特征[J]. 生态学报,2018,38(4):1311-1319.
- [35] 邹桂梅,黄明勇,苏德荣,等. 滨海盐碱地城市绿地土壤肥力的时空变化特征[J]. 中国农学通报,2010,26(5):110-115.
- [36] 王娜娜,齐 伟,王 丹,等. 基于样带的滨海盐碱地土壤养分和盐分的空间变异[J]. 应用生态学报,2012,23(6):1527-1532.
- [37] 毛思慧,谢应忠,许冬梅. 宁夏盐池沙化草地土壤质量分析与评价[J]. 农业科学研究,2013,34(1):1-7.
- [38] 刘文光,李云芝,刘惠芬,等. 烟台高新区沿海土壤理化分析[J]. 安徽农业科学,2017,45(14):91-93.
- [39] 支晓蓉,杨秀艳,任坚毅,等. 我国园林植物耐盐性评价及鉴定研究进展[J]. 世界林业研究,2018,31(5):51-57.
- [40] 曹 容. 苏北沿海树种耐盐特性研究[D]. 南京:南京林业大学,2015.

(责任编辑:石春林)