

引种沙地海岸松 (*Pinus pinaster* Ait.) 幼苗 对环境因子的响应

赵 雪¹, 李俊清^{1,*}, 王丽辉², 孙玖世³, 曹蓉芬³, 丁大伟³

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 烟台市莱山区林业局, 山东 264003;
3. 烟台市森林资源监测管理站, 山东 264000)

摘要:通过对沙地海岸松种子萌发和育苗试验的研究, 结果表明: 正交试验可提高沙地海岸松种子萌发率, 在实验室的最优组合分别是基质土, 无菌根, 1d 喷水 1 次; 在苗圃的最优组合是覆土厚度 1cm, 1d 喷水 1 次, 栽植密度 800 株/m²; 生根粉及其浓度对沙地海岸松种子萌发率的影响不同, GGR 生根粉在 10mg/kg 浓度下的发芽率最高, 其次依次为 GGR 40mg/kg、ABT 40mg/kg 和 GGR 25mg/kg。沙地海岸松的第 1 个生长季共分四个时期; 在第 1 年和第 2 年的生长中, 其高生长都出现了二次生长高峰期; 从幼苗的高与地径生长来看, 裸根苗均高于容器苗, 浙江引种地的幼苗均高于山东的幼苗; 法国种源在引种地的生长表现比西班牙种源要好; 沙地海岸松耐盐性强, 且在养分含量高、偏酸性土壤中生长占优势。

关键词:沙地海岸松; 发芽率; 生长进程

文章编号: 1000-0933(2008)09-4162-11 中图分类号: Q142, Q945, Q948, S718.5 文献标识码: A

Response of the introduced seedling of *Pinus pinaster* Ait. to the environmental factors in Shandong and Zhejiang provinces

ZHAO Xue¹, LI Jun-Qing^{1,*}, WANG Li-Hui², SUN Jiu-Shi³, CAO Rong-Fen³, DING Da-Wei³

1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Forestry Bureau of Lai Shan District in Yan Tai, Shandong, 264003, China

3 Management Station of Forest Resources Monitoring in Yan Tai, Shandong, 264000

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4162 ~ 4172.

Abstract: The objective of this paper is to study the response of the introduced *Pinus pinaster* Ait. seedlings to the environmental factors. Some of the suitable conditions of seed germination and seedling growth have been considered. The results showed that the suitable conditions which can improve the seed germination percentage during the orthogonal design both in the nursery and laboratory are as followings, the substrate soil, non-mycorrhizae and irrigating once a day are key factors in the laboratory; covered with 1cm soil, irrigating once a day and with the density of 800 stems/m² are suitable combinations in the nursery. Different rooting powder and concentration treatments caused different seed germination percentage, using GGR 10mg/kg has highest seed germination percentage, the next are GGR 40mg/kg、ABT 40mg/kg and GGR 25mg/kg. There are 4 phases during the *Pinus pinaster* seedlings growth. In the first and second growing season, the height growth all showed two peaks. As to the total height growth and ground diameter growth, the bare-root seedlings are

基金项目: 林业部“948”技术引进资助项目

收稿日期: 2007-12-27; 修订日期: 2008-05-26

作者简介: 赵雪 (1983 ~), 女, 北京人, 硕士, 主要从事沙地海岸松引种工作. E-mail: shinesnow1983@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijq@bjfu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by 948 technology introduction item of ministry of forestry

Received date: 2007-12-27; **Accepted date:** 2008-05-26

Biography: ZHAO Xue, Master, mainly engaged in introduction of *Pinus pinaster*. E-mail: shinesnow1983@163.com

higher than the container ones; seedlings provenance from Zhejiang province have good performance than those from Shandong province. Also, the seedlings from France growth better than those from Spain; *Pinus pinaster* has strong salinity tolerance and grows better in the soil with slight acid and higher nutrient content.

Key Words: *Pinus pinaster* Ait. germination percentage growth process

沙地海岸松(*Pinus pinaster* Ait.) 是一种高大的喜光乔木,树干高大通直,生长迅速,成熟树木可达 20 ~ 35m,球果长达 10 ~ 22cm,是法国西南沿海地区重要的沙地造林树种,对风沙、土壤干旱和盐碱有很强的耐受适应能力,尤其适宜生长在气候温暖、湿润、土壤或生理干旱明显的沿海沙地、沙丘地区^[1]。该树种分布在大西洋沿岸 450km 的沙地海岸线上,具有重要的防风固沙和木材、树脂生产的作用,发挥着巨大的生态效益和经济效益^[2]。法国有 1400 万 hm^2 森林,其中有 116 万 hm^2 沙地海岸松林,占法国森林总面积的 8.3%^[3]。除法国外,原产地的意大利、西班牙、摩洛哥等国都先后开展了海岸松在沙地和沙丘上的造林试验,并且获得成功^[4,5];周边国家如阿尔及利亚、卡塔尼亚等国也先后引进沙地海岸松,现已营造了大面积滩涂海岸松林。澳大利亚西部经过长期的沙地海岸松引种驯化试验,找出了最适宜当地气候条件的两个种源,即朗德种源和莱里亚种源^[6]。目前尚未发现该物种对引种地区生态系统的不良影响以及扩散而侵害其他生态系统的现象^[7]。

国外对沙地海岸松的形态建成、高生长模型及年树干结构的研究很多^[8~12],与其它树种相比沙地海岸松生长方式不同,比如它在第 2 个生长期中地下比地上部分生长速度快^[13],树高是从第 4 年开始迅速生长的,枝条长度的增长是在 8 ~ 22a 之间,球果数量是在第 9 年后开始增多^[14],以及从沙地海岸松第 2 个生长期开始,施肥不但不促进其苗木的生长,反而容易使其受病虫害的侵袭等^[5,15,16]。沙地海岸松在法国分布的面积最大,该地区受海洋性气候的影响,冬季温和,夏季凉爽,但是受纬度、海拔等综合因素的影响,气候具有多样性,东南部和科西嘉岛,以地中海气候为主,夏季炎热干燥,而沿海平原也会偶见降雪与霜冻^[1,17],此外,适合沙地海岸松生存的土壤也是多样的,主要是酸性土壤,但在盐碱或者瘠薄土壤上依旧能够生存^[18,19]。

在我国,从胶东半岛的沿海沙地、华北河流沙地和古河床沙地到长江流域以南地区的各种沙地,都有着与沙地海岸松原产地类似的气候和土壤条件,那么是否可以引种沙地海岸松,为我国增加一个新的造林树种?目前,国内关于沙地海岸松的研究非常匮乏,基本处于空白状态,本文在对沙地海岸松种子萌发试验的研究基础上^[20],总结出其种子萌发的适宜条件,并探讨不同环境因子对沙地海岸松幼苗生长的影响,从而得出沙地海岸松在中国的种子萌发适宜条件及育苗适宜环境因子,为大田育苗和造林推广提供基础数据和技术支持。

1 研究方法

1.1 试验地概况

本文沙地海岸松引种试验选择在山东烟台和浙江温州两个沿海地区,并同时进行适生条件的实验研究。两地均具备与沙地海岸松原产地类似的气候条件,其自然条件概况见表 1。

1.2 试验材料

引种试验中的沙地海岸松种子由中国林木种子分公司直接从法国、西班牙两国进口。按照 ISTA(国际种子检验协会)种子检验规程^[21],法国种源和西班牙种源的种子千粒重分别为 52.55g 和 58.5g,变异系数均小于 6%;采用四唑(TTC)1%浓度测定种子的生活力,均大于 90%,种子检验合格。

1.3 试验方法

1.3.1 正交设计下沙地海岸松种子的萌发试验

正交试验是一种多因素、多水平研究最佳因子组合的科学方法^[22],分别在实验室和苗圃进行,以培养土类型、菌根剂、喷水次数和覆土厚度、密度大小、喷水次数为因素进行正交设计,从而找出适宜沙地海岸松种子萌发的适应条件。

表 1 两个引种自然条件概况对比

Table 1 Compared with the natural conditions of two introducing places

条件 Conditions	山东 Shandong	浙江 Zhejiang
引种地 Introducing region	蓬莱市 Penglai	温州市 Wenzhou
经纬度 Latitude and longitude	E:120°34' ~ 121°9' N: 37°25' ~ 37°49'	E:119°37' ~ 121°18' N:270°3' ~ 280°36'
地势 Terrain	南部多丘陵和浅山区,北部临海为平原地带 Hills and shallow mountain in the southern area, plains in the northern coastal area	西部中低山区,中部低山丘陵盆地区,东部平原滩涂区和沿海岛屿区 Low mountains in the western area, basin in central hilly areas, coastal plain area and island in the eastern area
气候带 Climate zone	温带季风区大陆性气候 Temperate monsoon and continental climate	亚热带海洋性季风气候 Subtropical oceanic and monsoon climate
气候特点 Climatic characteristics	气候宜人,冬无严寒,夏无酷暑 Winter and summer without expense cold and heat.	温暖湿润,四季分明,雨量充沛 Warm and humid, four distinct seasons and abundant rainfall
土壤 Soil	棕壤土,占总面积的 73.65%,其它为轻壤土、风砂土和潮土,偏酸性 Most are brown soil, accounting for 73.65 percent of the total area, the others are light loam, aeolian sand and alluvial soil	丘陵处红壤和黄壤居多,属酸性土壤,沿海一带偏碱性,部分为盐碱地 Red and yellow soil in hilly area belongs to acid soil; soil in coastal area belongs to alkaline soil, partial of it are saline-alkali land
气温 Temperature	年平均气温 13.8℃,最热月份 7、8 月份,最冷月份 1、2 月份,昼夜温差 10 ~ 13℃,1、2 月份平均气温:5 ~ 6℃ Annual mean temperature is 13.8℃, the hottest month is July and August, and the coldest month is January and February. Diurnal temperature is 10 ~ 13℃, average temperature in Jan. and Feb. is 5 ~ 6℃	年平均气温为 17.9℃,最冷月为 1 月,平均气温 8.1℃,极端最低气温 -0.8℃;最热为 7 月,平均气温 28.3℃,极端最高气温达 36.7℃ Annual mean temperature is 17.9℃, the coldest month is January, and the average temperature is 8.1℃, extreme minimum temperature is -0.8℃; The hottest month is July, and the average temperature is 28.3℃, extreme maximum temperature is 36.7℃
光照 Light	年日照时间 3139 h,日平均 8.6 h,年平均有效积温(10℃)3400 ~ 3500℃ Total sunshine is 3139h per year, and the daily average is 8.6h. the average effective accumulated temperature (10℃) 3400 ~ 3500℃.	平均日照时数 1700 ~ 2000 h,年平均日照率 42% 年平均有效积温(10℃)5600 ~ 5700℃ Average sunshine is 1700 ~ 2000h, and average sunshine duration is 42%. Average effective accumulated temperature (10℃) is 5600 ~ 5700℃
降雨量 Rainfall	全年平均降雨量为 600mm,南部丘陵山区降雨多于北部沿海区,6 ~ 9 月份为雨季 Average annual rainfall is 600 mm. Rainfall in the southern hilly area is higher than northern coastal region. Rainy season are from June to September	全年平均降水量 1674.1mm,3 ~ 9 月降水占全年的 70%,其中 3 ~ 4 月为春雨期,5 ~ 6 月为梅雨期,7 ~ 9 月为台风雨期 Average annual rainfall is 1674.1mm, and the rainfall from March to September is 70% of the total year. Spring rainy period are March and April, Mei-yu period are May and June, typhoon rainy period are from July to September

气象资料由中国气象局提供 Meteorological data was provided by China Meteorological Administration(2006 ~ 2007)

试验选用沙地海岸松法国种源,采用 L4(23) 正交表,共设 3 个因素,每个因素分为 2 个水平^[21],具体试验设计见表 2,试验共设 4 个小区,每个小区分 4 组,每组 100 粒种子。室内试验的因素 1 为土壤类型(处理 1 为腐殖质;处理 2 为基质);因素 2 为 Pt 菌根剂(处理 1 为植入;处理 2 为未植入);因素 3 为喷水次数(处理 1 为 1 次/d;处理 2 为 1 次/2d),其中基质是用草炭土、蛭石和珍珠岩按 4:1:1 的比例配制而成的;腐殖质是优质腐殖土与适量黄土的混合物;Pt 菌根剂由中国林业科学院菌根中心提供。苗圃试验的因素 1 为覆土厚度(处理 1 为 1cm;处理 2 为 2cm);因素 2 为喷水次数(处理 1 为 1 次/d;处理 2 为 1 次/2d);因素 3 为密度(处理 1 为 800 粒/m²;处理 2 为 600 粒/m²)。

1.3.2 生根粉对沙地海岸松种子发芽率影响

生根粉是一种无公害、非激素生理活性物质,具有调节植物生长发育及器官形态建成,达到提高苗木成活率,增强植物抵御逆境的能力^[23]。本实验采用中国林科院 ABT 研究中心研发的 ABT 和 GGR 两种生根粉,其中 ABT 稀释成 25mg/kg 和 40mg/kg 两种浓度;GGR 稀释成 10、25mg/kg 和 40mg/kg 三种浓度。把消毒好的种

子(法国种源)分别放入装有各种浓度生根粉的烧杯中,浸种 24h 后取出,放入培养皿中,每个培养皿摆放 100 粒种子,重复 3 次。在培养箱中培育,并记录每天的发芽个数。

1.3.3 盐分胁迫对沙地海岸松、黑松和赤松种子萌发的影响

由于沙地海岸松对土壤盐碱有很强的适应性,研究其种子的耐盐雾特征,旨在为我国沿海防护林选择适生植物提供科学依据。本实验根据近年来气象资料记载,沿海典型盐雾天气的持续时间最长可达 4d^[24]。在实验室中模拟盐雾天气,分别用清水做对照,采用 50,100,200,400 mmol/L 的 NaCl 溶液处理沙地海岸松种子(法国种源),用喷雾器每天对其喷雾。每个处理 100 粒种子,3 次重复,同时用黑松(*Pinus thunbergii*)和赤松(*Pinus densiflora*)的种子做对比。

1.3.4 沙地海岸松育苗试验

2005 年 5 月对进口的沙地海岸松(西班牙种源)进行播种,待 6 月 3 日幼苗出土后,每隔 10 日进行观测,直到 9 月 23 日苗木封顶,第 1 个生长季结束为止。2006 年 4 月对进口的沙地海岸松(法国种源)播种,测定沙地海岸松不同种源(西班牙与法国)、不同苗木类型(裸根苗与容器苗)以及在不同的立地条件下的生长状况,分别在 2007 年 3 月、8 月、11 月的同一时间测定其高、径生长数据,即观测不同物候期(春季苗木萌动、夏季旺盛生长和冬季停止生长)的生长量。

1.4 数据分析

发芽率计算方法为:发芽率(%) = $n/N \times 100$, 其中, n 为发芽终止时全部正常发芽粒数, N 为供试种子粒数^[25,26]。采用经典的统计方法计算出发芽率和生长量的平均值,单因素方差分析是根据组间和组内自由度查 F 界值表(方差分析用),得出 P 值。进行 F 检验,如果 $F < F_{0.05}$, $P > 0.01$ 时,说明样本差异不显著; $F > F_{0.05}$, $P < 0.05$ 时,说明样本差异显著;如果 $F > F_{0.01}$, $P < 0.01$ 时,说明样本差异极显著^[27]。

2 结果与分析

2.1 沙地海岸松种子萌发试验

2.1.1 培养土、菌根剂和喷水处理的正交试验

表 3 得出,第 1 因素(土壤类型)的极差最大(24.5),其次是第 3 因素(喷水次数, 10.5)。说明土壤类型对沙地海岸松种子的发芽率影响最大,其次是喷水次数。第 1 因素的第 2 水平最高,第 2 因素的第 2 水平最高,第 3 因素的第 1 水平最高。各因素的最好组合是基质土,无菌根,1d 喷水 1 次。表 4 方差分析得出, $F_1 > F_{0.01} > F_{0.05} > F_3 > F_2$, 说明土壤类型对沙地海岸松种子萌发率的作用最显著, Pt 菌根剂和喷水次数的影响不大。

2.1.2 覆土厚度、密度大小和喷水处理的正交试验

表 5 得出,第 1 因素(覆土厚度)的极差最大(5),其次是第 2 因素(喷水次数,4)。说明覆土厚度对沙地海岸松种子的发芽率影响最大,其次是喷水次数。第 1 因素的第 1 水平最高,第 2 因素的第 1 水平最高,第 3 因素的第 1 水平最高。沙地海岸松种子在大田苗圃中萌发的最好组合是覆土厚度 1cm,1d 喷水 1 次,800 株/ m^2 。综上所述,此次正交设计试验的结果与烟台的试验基本吻合,也就是覆土厚度为 1cm 时,最适宜沙地海岸松种子的萌发。表 6 方差分析得出, $F_1 > F_{0.05} > F_2 > F_3$, 说明覆土厚度对沙地海岸松种子萌发率的作用显著,密度和喷水次数的影响不大。

表 2 各因素及其水平的设计

Table 2 The design of each factor and level

区组 Block	试验号 Test number	因素 1 Factor 1	因素 2 Factor 2	因素 3 Factor 3
1	1	1	1	1
	2	1	2	2
	3	2	1	2
	4	2	2	1
2	3	2	1	2
	4	2	2	1
	1	1	1	1
	2	1	2	2
3	1	1	1	1
	4	2	2	1
	3	2	1	2
	2	1	2	2
4	4	2	2	1
	1	1	1	1
	2	1	2	2
	3	2	1	2

表 3 正交设计的数据分析
Table 3 Data analysis of Orthogonal design

试验号 Test number	水平 Level			
	1 土壤类型 Soil types	2 Pt 菌根剂 Pt mycorrhizal	3 喷水次数 The frequence of water spraying	发芽率% Germination percentage%
1	1	1	1	23.5
2	1	2	2	16
3	2	1	2	37.5
4	2	2	1	51
K_1	39.5	61	74.5	128
K_2	88.5	67	53.5	
$\bar{x}_1$	19.75	30.5	37.25	
$\bar{x}_2$	44.25	33.5	26.75	
极差 R	24.5	3	10.5	

表 4 方差分析
Table 4 Variance analysis

方差来源 The source of variance	离均差平方和 SS	自由度 df	方差 V	F	显著性 Significant
1 土壤类型 Soil types	1200.5	1	79.25	15.15	**
2 Pt 菌根剂 Pt mycorrhizal	18.0	1	276.33	0.07	NS
3 喷水次数 The frequence of water spraying	220.5	1	242.58	0.91	NS

** : 差异极显著 very significant differences ;NS: 差异不显著 not significant differences

表 5 正交设计的数据分析
Table 5 Data analysis of orthogonal design

水平 Level 试验号 Test number	1 覆土厚度 Soil thickness	2 喷水次数 The frequence of water spraying	3 密度/m ² Density	发芽率% Germination percentage%
1	1	1	1	65.25
2	1	2	2	60.5
3	2	1	2	59.5
4	2	2	1	56.25
K_1	125.75	124.75	121.5	241.5
K_2	115.75	116.75	120	
$\bar{x}_1$	62.875	62.375	60.75	
$\bar{x}_2$	57.875	58.375	60	
极差 R	5	4	0.75	

表 6 方差分析
Table 6 Variance analysis

方差来源 The source of variance	离均差平方和 SS	自由度 df	方差 V	F	显著性 Significant
1 覆土厚度 Soil thickness	260	1	67.7	5.140297	*
2 喷水次数 The frequence of water spraying	64	1	90.27	0.709001	NS
3 密度/m ² Density	2.25	1	94.68	0.023765	NS

* : 差异显著 significant differences ;NS: 差异不显著 not significant differences

2.1.3 生根粉对沙地海岸松种子发芽率的影响

由图 1 所示,沙地海岸松种子的萌发情况随生根粉的种类和浸种浓度不同而异。除 ABT 25mg/kg 处理外,其它处理均从第 8d 开始萌发,比对照和 ABT25mg/kg 提前 2d。从不同浓度来看,GGR 10mg/kg 的发芽率最高,为 79.2%,高出对照(42.0%)37.2%,其次依次为 GGR 40mg/kg(62.5%)、ABT 40mg/kg(58.3%)和 GGR

25mg/kg(54.2%),分别高出对照 20.5%、16.3% 和 12.2%,而 ABT 25mg/kg 的发芽率最低,仅为 33.3%。

2.1.4 盐分胁迫对沙地海岸松种子发芽率的影响

由表 7 所示,清水对照的发芽率最高,为 43%;盐分胁迫下,沙地海岸松种子发芽率随盐分浓度的增加而降低,依次为 50mmol/L (25%), 100mmol/L (23%) 和 200mmol/L (5%);当浓度增加到 400mmol/L 时,停止萌发。沙地海岸松的发芽天数随盐分浓度的增加有所延迟,当盐分浓度增加到 200mmol/L 时,发芽时间比其它处理(7d)延迟 1d。

见表 8,9,与沙地海岸松相比,黑松与赤松的种子发芽率均在清水对照下最高,分别为 83% 和 58%;在盐分胁迫下,其种子发芽率也是随盐分浓度的增加而降低,在 50mmol/L 和 100mmol/L 的盐分浓度下,黑松发芽率均为 73%;赤松发芽率分别为 30% 和 18%,且它们的发芽时间分别比沙地海岸松延迟 1,2d;当盐分浓度增加到 200mmol/l 时,黑松与赤松种子停止萌发。

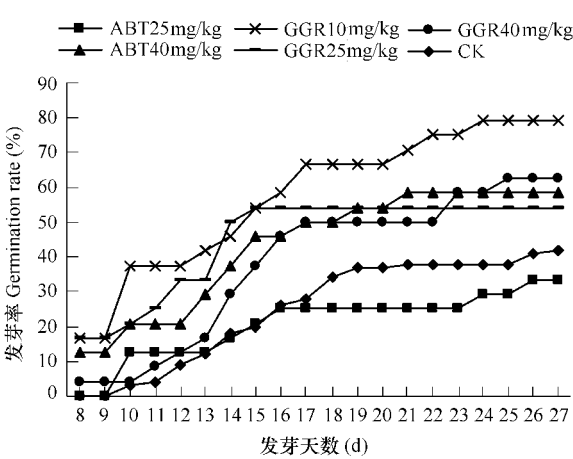


图 1 生根粉及其浓度对沙地海岸松种子发芽率的影响
Fig.1 Effects of rooting powder and concentration treatments on seed germination course of *P. pinaster*

表 7 盐分胁迫对沙地海岸松种子的发芽率影响 (%)

NaCl (mmol/L)	发芽天数 Days (d)												
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0 CK	3	5	5	8	15	28	28	40	40	40	40	40	43
50	3	3	3	3	3	15	15	15	15	18	20	23	25
100	3	3	3	5	5	8	8	10	15	18	23	23	23
200	0	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 8 盐分胁迫对黑松种子的发芽率影响 (%)

NaCl (mmol/L)	发芽天数 Days (d)												
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0 CK	0	5	23	35	48	73	73	78	83	83	83	83	83
50	0	3	8	13	18	50	53	53	70	70	70	73	73
100	0	8	18	23	28	43	43	50	60	63	70	70	73
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 9 盐分胁迫对赤松种子的发芽率影响 (%)

NaCl (mmol/L)	发芽天数 Days (d)										
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0 CK	5	13	15	33	43	48	53	53	58	58	58
50	3	5	8	13	13	13	25	30	30	30	30
100	0	3	5	8	13	13	13	15	15	18	18
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2 沙地海岸松育苗试验

2.2.1 沙地海岸松幼苗年生长进程的初步研究

图2所示,沙地海岸松在第一个生长季中,其幼苗的高、径生长是从6月初开始直线稳步上升,从生长趋势线来看,7月到9月份,随着气温的增高,苗床温度不断上升,到9月初达到苗木生长所需的最适温度,高、径生长也达到最高峰,在此期间沙地海岸松高、径均增长较快,之后增长缓慢,最终停止生长,9月底苗木封顶进入硬化期,其地上部分逐渐木质化。其中沙地海岸松在高峰期的苗高与地径的生长分别占整个生长季的58.8%和74.2%。

图3中高生长出现2次高峰期,即出现2次生长现象。沙地海岸松幼苗生长可划分为4个时期,即出苗期、幼苗期、速生期和硬化期,试验中把第1次生长高峰期归在出苗期和幼苗期内,苗木的速生期在7月末到8月初,此时生长量是全年最多的,9月开始进入硬化期,高、径生长量下降,苗木开始木质化。图中地径的增长量在苗高增长大幅度下降过程中,出现1次生长高峰期,随后停止生长。

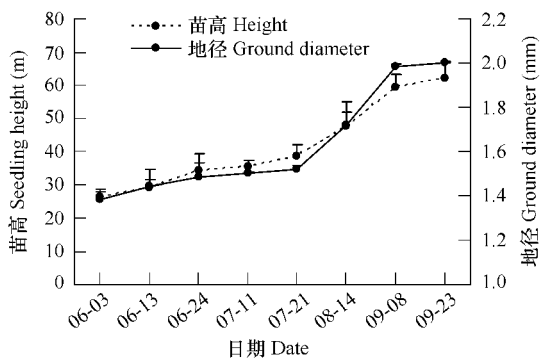


图2 沙地海岸松苗高、地径的年生长变化图

Fig. 2 Annual growth changes of height and ground diameter on *P. pinaster*

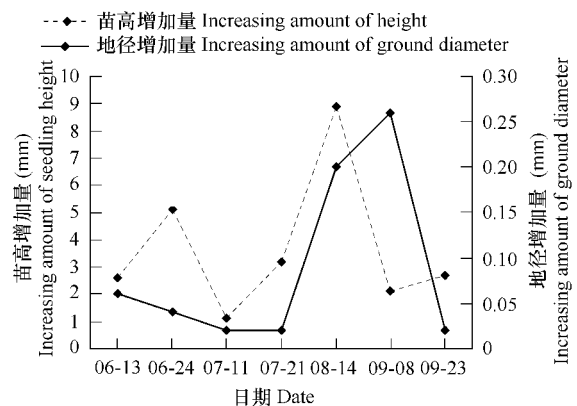


图3 沙地海岸松苗高、地径增长量变化图

Fig. 3 Increasing changes of height and ground diameter on *P. pinaster*

图4所示,沙地海岸松幼苗针叶数目的增加与苗高、地径的增加趋势相反,在生长前期,针叶迅速增加,而在高、径生长高峰期,针叶增加量减小。当9月沙地海岸松幼苗的高、径生长缓慢时,针叶数目的增长进入第2个生长高峰期,当针叶数目达到一定数量后,苗高、地径、针叶数目均进入平稳生长期,苗木封顶,地上部分逐渐木质化。

以上是对1年生沙地海岸松年生长进程的初步探讨,其中提到了2次生长现象,而其幼苗在第2年秋季也出现了2次生长现象,这主要由于连续出现了10d左右的降雨,温度回升,为沙地海岸松的生长提供了良好的水热条件。图5描述了沙地海岸松的不同苗木类型,即裸根苗与容器苗的春夏生长高度与秋末2次生长高度的对比。其中沙地海岸松容器苗的总生长高度为42.2cm,2次生长高度为11.7cm;而裸根苗的总生长高度是52.8cm,2次生长高度为19cm,裸根苗与容器苗的2次高生长存在极显著差异($P < 0.01$)。

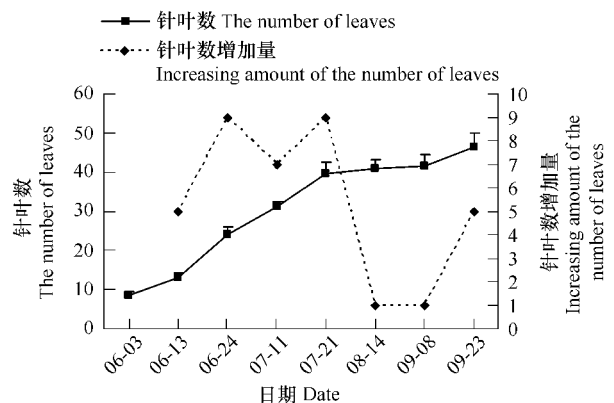


图4 沙地海岸松幼苗针叶数年生长变化图

Fig. 4 Annual growth changes of leaf's number of seedling on *P. pinaster*

2.2.2 不同种源的沙地海岸松苗木生长进程

图 6 对比分析了沙地海岸松两个种源的生长情况,在 3 月苗木开始生长时,西班牙和法国种源的苗高差异不大,分别为 17.4cm 和 17.9cm;而到 11 月入冬前,苗木停止生长后,此时的法国种源高生长大于西班牙种源,法国种源的苗高(2 年生,80.2cm)与西班牙种源(3 年生,65.5cm)存在极显著差异($P < 0.01$)。而地径生长恰恰相反,3 次测量数据分析得出,3 年生西班牙种源均高于 2 年生法国种源,且经方差分析 3~11 月的地径均存在极显著差异($P < 0.01$)。

2.2.3 不同苗木类型的沙地海岸松生长进程

裸根育苗和容器育苗是最基本的两种育苗方式,在 2006 年对沙地海岸松种子进行播种时,选用了以上两种苗木类型进行对比试验。由图所示,从高生长看,沙地海岸松裸根苗的高生长高于容器苗,3 月份的裸根苗和容器苗的苗高分别为 21.6cm 和 17.9cm,两者存在极显著差异($P < 0.01$);而 11 月份的裸根苗(88.92cm)和容器苗(80.16cm)的苗高差异显著($P < 0.05$)。从 3 月和 8 月的地径生长看,裸根苗分别为 0.40cm 和 0.62cm;容器苗分别为 0.36cm 和 0.61cm,地径差异不大;而 11 月的地径存在极显著差异($P < 0.01$),总的来讲,沙地海岸松裸根苗的地径生长速度快于容器苗。

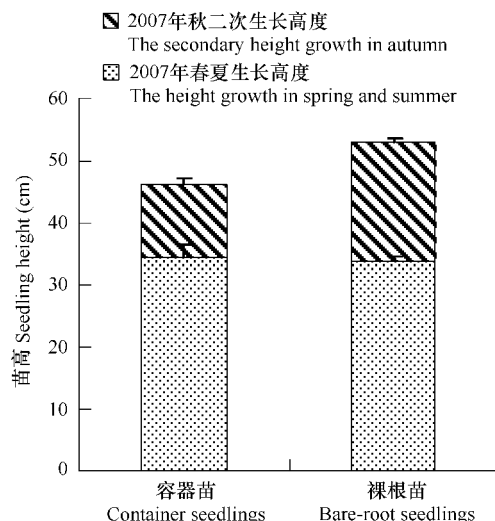


图 5 沙地海岸松二次高生长对比图

Fig. 5 The secondary height growth of *P. pinaster*

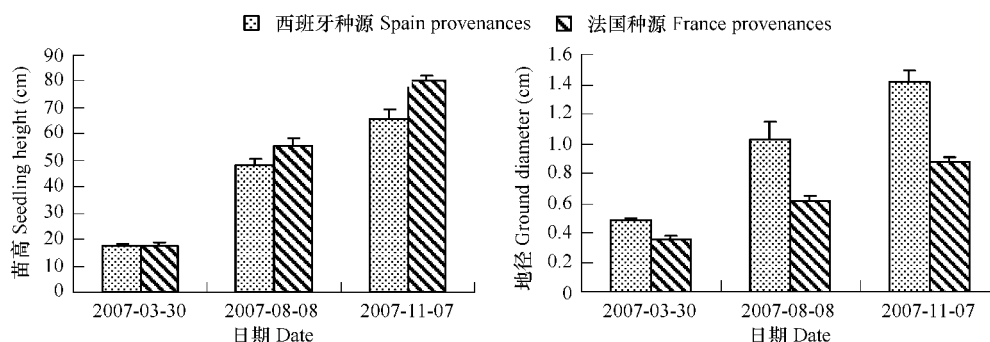


图 6 沙地海岸松西班牙与法国种源生长对比研究

Fig. 6 Compared with the growth rhythm of *P. pinaster* between Spain and France provenances

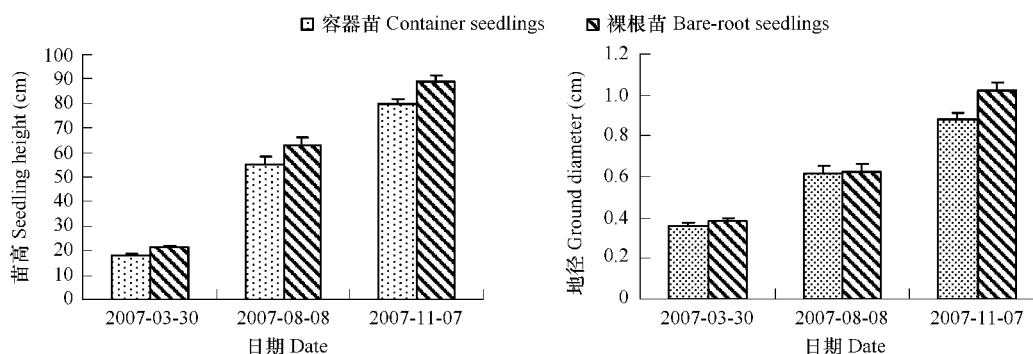


图 7 沙地海岸松裸根苗与容器苗的生长对比研究

Fig. 7 Compared with the growth rhythm of *P. pinaster* between bare-root seedlings and container seedlings

2.2.4 不同立地条件下的沙地海岸松生长进程

2006 年分别在山东蓬莱和浙江温州进行沙地海岸松(法国种源)的育苗对比试验,并对苗圃土壤的养分含量进行分析。表 10 所示,温州苗圃的土壤中全氮、速磷、速钾和有机质的含量均高于蓬莱两个苗圃,且 pH 值小于 7,土壤偏酸性;而蓬莱两苗圃的土壤 pH 值大于 7,土壤偏碱性。

表 10 土壤理化分析
Table 10 Soil physical and chemical analyses

采样时间 Time	地点 Place	全氮(%) Total nitrogen (%)	速磷(mg/kg) Phosphorus	速钾(mg/kg) Potassium	pH	含盐量(ms/cm) Salt content (ms/cm)	有机质(%) Organic matter (%)
2006-03-25	蓬莱杏吕苗圃地 Xinglu in Penglai	0.081	3.556	70	7.26	0.16	0.285
2007-03-30	蓬莱大柳行苗圃地 Daliuhang in Penglai	0.034	14.1	80	7.08	0.125	0.527
2007-04-13	温州苗圃地 Wenzhou	0.120	59.09	120	5.81	0.192	1.867

图 8 所示,蓬莱大柳行和温州苗圃的苗高(88.9, 116.9cm)和地径(1.02, 1.36cm)平均值均显著高于杏吕苗圃(苗高为 37.1cm,地径为 0.78cm),而温州与蓬莱大柳行对比,苗高与地径的生长均存在极显著差异($P < 0.01$),说明在温州引种的沙地海岸松,其高、径生长均显著高于蓬莱地区。

3 结论与讨论

影响植物生长的主要因子包括气候、土壤、地形等生态因子^[28]。德国著名林学家 Mayr H. 提出的“气候相似论”对树木引种驯化的实践有一定的指导意义^[29]。沙地海岸松自然分布在地中海和大西洋沿岸的国家^[30,31]。在过去的十年里,沙地海岸松被成功的引种到南非、新西兰和澳大利亚等很多国家^[32]。总的来说,沙地海岸松的自然分布区域与引种地山东烟台和浙江温州的气候大致相近,为引种试验提供了有利的前提条件。

沙地海岸松生长迅速^[1],在中国引种后 1 年生幼苗的高与针叶数生长都出现了 2 次高峰期,此时的生长量最高,对水分和养分的要求较多^[33]。在 9 月中旬生长高峰期结束后,适量追加 K 肥,促进苗木木质化,增强抵御冻害的能力,使其安全过冬^[34]。Zas 等^[5]认为从第 2 个生长期开始,对沙地海岸松施肥易受病虫害(松树皮象类)的侵袭,在此需要借鉴其意见并进一步去考证。

根据法国农业与环境研究中心 INRA 和法国波尔多阿坤廷地区森林管理局的研究,西班牙种源、意大利种源和葡萄牙种源海岸松的抗逆性都不如法国种源好^[3]。沙地海岸松在中国引种试验中,法国种源无论是在种子萌发试验上,还是在苗木生长发育上都要优越于西班牙种源。海岸松西班牙种源在育苗期间,受猝倒病的危害死亡率非常高,仅存 10%,而法国种源并未感染任何病虫害,成活率达到 95% 以上。法国种源抗寒性强于西班牙种源,从 2007 年初对两个种源的苗期越冬保存率调查数据得出,2005 年西班牙种源的保存率仅为 2006 年法国种源的 1/2,说明了法国种源在中国引种的适应性较强。

适合沙地海岸松生存的土壤类型多种多样,主要是酸性土壤,但在碱性甚至盐碱或者瘠薄土壤上依旧可以生存^[19]。引种沙地海岸松试验的 3 个苗圃中,土壤的盐分含量都是在 0.1% ~ 0.3% 之间(%),属于中度盐化土,这种土壤对于盐分很敏感的作物可能受到影响^[35]。而温州苗圃的土壤含盐量高于蓬莱两个苗圃,且

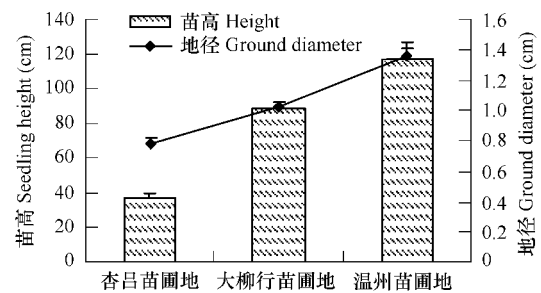


图 8 沙地海岸松在不同立地条件下的生长状况对比图
Fig. 8 Compared with the growth rhythm of *P. pinaster* in different soil conditions

沙地海岸松在温州的生长表现最好,说明了沙地海岸松的耐盐性强。就土壤 pH 值而言,温州苗圃的土壤偏酸性,蓬莱两苗圃的土壤偏碱性,而沙地海岸松在温州生长较好,验证了 Bravo 的研究结论^[19]。

总之,通过 3a 的沙地海岸松引种工作,证明了沙地海岸松种子的耐盐性比黑松、赤松更强,在高浓度盐分胁迫下黑松与赤松种子均不萌发,而沙地海岸松种子依然可达 5% 的发芽率,赤松种子对盐分的忍耐能力最弱,随着盐分浓度的增加其发芽所需时间更长。因此,沙地海岸松是适宜在沿海地区引种栽培的,其种子在盐碱土壤中萌发的潜力很大。关于在山东和浙江沿海地区引进了这一树种,浙江引种地的幼苗生长速度比山东地区要快;法国种源比西班牙种源更适宜在我国沿海地区生长,它的抗寒及抗病虫能力都较强,且生长速度较快;在苗圃中沙地海岸松裸根苗比容器苗生长迅速,但其抗寒能力没用容器苗强,移栽成活率较低。该树种可以作为沿海防护林备选树种进一步的进行适应性研究和小规模的造林试验,本试验所得的种子萌发试验以及育苗试验结果可以作为生产实践的理论与技术指导。

References:

- [1] Alía R, Martín S. EUFORGEN-Technical Guidelines for genetic conservation and use for Maritime pine (*Pinus pinaster*). International Plant Genetic Resources Institute, 2003, (6): 1–6.
- [2] Montero G, Ortega C, Canellas I, *et al.* Productividad aereay dinamica de nutrientes en una poblacion de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos reg? menes de claras, 1999, (1): 175–206.
- [3] Véronique Cucchi, Céline Meredieu, Alexia Stokes, *et al.* Root anchorage of inner and edge trees in stands of Maritime pine growing in different podzolic soil conditions. *Trees*, 2004, 18:460–466.
- [4] Alía R, Moro J, Denis J B. Performance of *Pinus pinaster* Ait. provenances in Spain: interpretation of the genotype-environment interaction. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(10): 1548–1559.
- [5] Zas R, Sampedro L, Prada E, Lombardero M J, *et al.* Fertilization increases *Hylobius abietis* L. damage in *Pinus pinaster* Ait. Seedlings. *Forest Ecology and Management*, 2006, 222: 137–144.
- [6] Conifer Specialist Group. *Pinus pinaster*. IUCN Red List of Threatened Species, 2006. 23–25.
- [7] Rouget M, Richardson D M, Mathieu R, *et al.* Predicting invasion dynamics of four alien *Pinus* species in a highly fragmented semi-arid Shrubland in South Africa. *Plant Ecology*, 2001, 152: 79–92.
- [8] Doak C C. Evolution of foliar types, dwarf shoots, and cone scales of *Pinus*. *Illinois Biological Monographs*, 1935, 13: 1–106.
- [9] Bugnon P, Bugnon F. Feuilles juveniles et pousses multinodales chez le Pin maritime. *Bulletin de la Societe d'Histoire naturelle de Toulouse*, 1951, 86: 18–23.
- [10] Debazac E F. Morphologie et sexualite chez les pins. *Revue Forestiere Francaise*, 1963, 15:293–303.
- [11] Kremer A, Roussel G. Composantes de la croissance enhauteur chez le pin maritime(*Pinus pinaster* Ait). *Annales des Sciences Forestieres*, 1982, 39: 77–98.
- [12] Kremer A, Nguyen A, Lascoux M, *et al.* Morphogenese de la tige principale et croissance primmaire du pin maritime(*Pinus pinaster* Ait). In: De la foret cultivee a l'industrie de demain, Actes du 3eme colloque sciences et industries du bois, 1990. 333–349.
- [13] Alexia Stokes, Stephane Berthier, Sylvie Sacriste, *et al.* Variations in maturation strains and root shape in root systems of Maritime pine. *Trees*, 1998, 12(6):334–339.
- [14] Patrick Heuret, Celine Meredieu, Thierry Coudurier, *et al.* Ontogenetic trends in the morphological features of main stem annual shoots of *Pinus Pinaster*, *American Journal of Botany*, 2006, 93(11):1577–1587.
- [15] Mutikainen P, Walls M, Ovaska J, *et al.* Herbivore resistance in *Betula pendula*: effect of fertilization, defoliation, and plant genotype. *Ecology*, 2000, 81(1):49–65.
- [16] VanAkker L, Alfaro R, Brockley R. Effects of fertilization on resin canal defences and incidence of *Pissodes strobi* attack in interior spruce. *Forest Res*, 2004, 34(4):855–862.
- [17] Varelides C, Kritikos T. Effect of site preparation intensity and fertilization on *Pinus pinaster* survival and height growth on three sites in northern Greece. *Forest Ecology and Management*, 1995, 78: 111–115.
- [18] Tapias R, Climent J, Pardos J A, *et al.* Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecology*, 2004, 171(1): 53–68.
- [19] Bravo F, Guerra B. Forest structure and diameter growth in maritime pine in a Mediterranean area. In: Von Gadow, K., Saborowski, J. eds. IUFRO conference on continuous cover forestry. *Gottin-. gen*, 2001. 101–110.
- [20] Li Z M, Li J Q, Liu Q, *et al.* Experimental study for seed germination of *Pinus pinaster* introduced from French, *Forest Resources Management*,

2007, (5): 65—70.

- [21] International Seed Testing Association (ISTA). International rules for seed testing. Seed Science and Technology, 1996, 27(9): 174—182.
- [22] Xu J R, Huang Z H. Experimental design of forestry. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1999. 71—84.
- [23] Zhang Z T, Wang X F. Application of rooting power ABT on forestry. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2006, (2): 60—61.
- [24] Chen S W, Gao Z H, Yue C L, *et al.* Studies on response of some tree species as *Elaeocarpus decipiens* to stress of salt fog and its physiological characteristics. Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 2001, 27(4): 398—402.
- [25] Li C S, Liu P, Xu G D, *et al.* Effect of seed soaking with aluminum on seed germination and seedling physiology of buckwheat. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(6): 2041—2047.
- [26] Song L, Pan K W, Wang J C, *et al.* Effects of phenolic acids on seed germination and seedling antioxidant enzyme activity of alfalfa. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3393—3403.
- [27] Wang R X. Mathematical statistics. Xi'an: Xi'an Jiao Tong University Press, 1986. 122—131.
- [28] Wu Z L. Introduction of foreign tree species. Beijing: Science Press, 1983. 50—52, 135—136.
- [29] Liao F S. Summary on plant introduction and acclimatization research. Plant Introduction And Acclimatization Journal, 1966, 2: 154—160.
- [30] Costa Paulo, Bahrman Nasser, Frigerio Jean-Marc, *et al.* Water-deficit responsive proteins in Maritime pine. Plant Molecular Biology, 1998, 39: 587—596.
- [31] Petit RJ, Bahrman N, Baradat Ph. Comparison of genetic differentiation in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) estimated using isozyme, total protein and terpenic loci. Heredity, 1995, 75: 382—389.
- [32] Isabel Pinto, Helena Pereira, Arto Usenius. Analysis of log shape and internal knots in twenty Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems based on visual scanning and computer aided reconstruction. Forestry Science, 2003, 60: 137—144.
- [33] Su S X. Forestation. Beijing, Chinese Forestry Publishing House, 1992. 69—73.
- [34] Ou B, Wang B, Lu Q H, *et al.* Research on seedling-raising and growth rhythm of twenty-six native tree species. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2006, (5): 10—16, 31.
- [35] Nanjing Forestry University. Soil agrochemical analysis. Beijing: Agriculture Publishing House, 1988. 203—205.

参考文献:

- [20] 李振蒙, 李俊清, 刘强, 等. 引种法国海岸松种子萌发试验研究. 林业资源管理, 2007, (5): 65—70.
- [22] 续九如, 黄智慧. 林业试验设计. 北京: 中国林业出版社, 1999. 71—84.
- [23] 张祚恬, 王秀芳. ABT生根粉在林业生产中的应用. 内蒙古农业科技, 2006, (2): 60—61.
- [24] 陈顺伟, 高智慧, 岳春雷, 等. 杜英等树种对盐雾胁迫的反应及其生理特性的研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(4): 398—402.
- [25] 李朝苏, 刘鹏, 徐根娣, 等. 铝浸种对荞麦种子萌发和幼苗生理的影响. 生态学报, 2006, 26(6): 2041—2047.
- [26] 宋亮, 潘开文, 王进闯, 等. 酚酸类物质对苜蓿种子萌发及抗氧化酶活性的影响. 生态学报, 2006, 26(10): 3393—3403.
- [27] 汪荣鑫. 数理统计. 西安: 西安交通大学出版社, 1986. 122—131.
- [28] 吴中伦. 国外树种引种概论. 北京: 科学出版社, 1983. 50—52, 135—136.
- [29] 廖馥荪. 植物引种驯化理论研究概况. 植物引种驯化集刊, 1966, 2: 154—160.
- [33] 孙时轩. 造林学. 北京: 中国林业出版社, 1992. 69—73.
- [34] 欧斌, 王波, 卢清华, 等. 26种乡土树种苗木生长规律及育苗技术的系统研究. 江西林业科技, 2006, (5): 10—16, 31.
- [35] 南京林业大学. 土壤农化分析(第二版). 北京: 农业出版社, 1988. 203—205.