

# 科尔沁沙地不同密度(小面积) 樟子松人工林生长状况

移小勇<sup>1</sup>, 赵哈林<sup>1</sup>, 崔建垣<sup>1</sup>, 李玉强<sup>1</sup>, 左小安<sup>1</sup>, 卓 鸿<sup>2</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 济南市气象局, 济南 250000)

**摘要:** 在内蒙古科尔沁沙地丘间片林中选择不同密度的樟子松样地, 对樟子松在不同栽植密度条件下的生长情况进行了研究。由于受多年降水偏少的影响, 科尔沁沙地的樟子松出现了大量枯梢继而死亡的现象, 而这种现象与林地的密度存在很强的相关性。样地林木的死亡率随林地密度的加大呈幂函数关系增加, 原先最高密度情况下的林地, 保存到现在的活木数量反而最少; 林木的平均死亡年龄、最早死亡年龄、冠幅、树高和胸径随林地密度的增加而减小。虽然在其它一些区域的研究结果表明, 树高较少受竞争的影响, 但是在半干旱区, 树高仍然与密度相关。枯梢林木的比例在高密度的样地大于低密度的样地, 枯梢对低密度样地的林木基本上没有大的影响。各样地的冠幅和胸径比相差不大, 平均只有 0.297, 以此指标衡量, 该地可能更适合单一樟子松林的种植。综合来看, 科尔沁沙地的气候和土壤条件适合栽植樟子松, 但初始密度应控制在 2800 株/hm<sup>2</sup> 以下, 并应根据生长情况在进入生长高峰期后对林木进行适时间伐, 20a 龄期的林木其密度保持在 2100 株/hm<sup>2</sup> 左右比较适宜。

**关键词:** 生长状况; 樟子松; 密度; 科尔沁沙地

文章编号: 1000-0933(2006)04-1200-07 中图分类号: S791.253 文献标识码: A

## Growth of small area *Pinus sylvestris* var. *mongolica* artificial forest under different densities in Horqin Sandy Land, North of China

YI Xiao-Yong<sup>1</sup>, ZHAO Ha-Lin<sup>1</sup>, CUI Jian-Yuan<sup>1</sup>, LI Yu-Qiang<sup>1</sup>, ZUO Xiao-An<sup>1</sup>, ZHUO Hong<sup>2</sup> (1. Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Ji'nan Meteorological Bureau, Ji'nan 250000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1200 ~ 1206.

**Abstract:** *Pinus sylvestris* var. *mongolica* is one of important tree species, widely introduced into the arid and semi-arid zone in the northeast of China for shelterbelt establishment and timber production. However, in some places, this introduced pinus died with twigs and leaves wilted at first. In order to understand the cause of wilting and death, different plots were chosen to study the growth of the pinus associated with density, rainfall in Horqin Sandy Land of Inner Mongolia, China. The results showed that growth of the pinus related strongly to forest density. Death rate increased in power function with increasing of density. In the plot of the highest density, there were the least alive trees because of the highest death rate by now. The averaged death age, first death age, crown dimension, height and stem diameter decreased with increasing of density. The height still related to density in arid zone, though size-density theory showed that height growth was relatively unaffected by competition. Twig wilting was mainly attributed to high density. In plots of low density, proportion of twig-wilted trees was lower and there was nearly no obvious influence on growth of trees. There was not significant difference of crown dimension to stem diameter in the plots, and averaged value was only 0.297. Thus, according to Dawkins' report, we think that this region may be more suitable for monoculture than

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(40471004); 中国科学院野外台站基金资助项目(1731690200015)

**收稿日期:** 2005-01-23; **修订日期:** 2005-06-02

**作者简介:** 移小勇(1964-), 男, 甘肃甘谷人, 博士生, 主要从事干旱区生态和环境保护研究. E-mail: yxy2588@126.com

**Foundation item:** The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40471004); The CAS Field Station Foundation (No. 1731690200015)

**Received date:** 2005-01-23; **Accepted date:** 2005-06-02

**Biography:** YI Xiao-Yong, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecology of arid region, environment protection. E-mail: yxy2588@126.com

mixed forest. Anyway, climate and soil condition in this region are suitable for planting the pinus. The original density should be controlled under 2800 trees/hm<sup>2</sup>. At the same time, intermediate cutting should be taken into account when growing-peak is coming. It is reasonable that the density is about 2100 per hectare when tree age is 20 years old approximately.

**Key words:** growth; densities; *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; Horqin Sandy Land

樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)原产于我国大兴安岭和呼伦贝尔草原红花尔基沙地,是我国东北和内蒙古地区主要的用材林之一<sup>[1]</sup>。樟子松具有极强的耐寒、抗旱、耐瘠薄和较速生的优良特性,是半干旱风沙区营造防风固沙林、水土保持林和农田草场防护林的主要树种<sup>[2,3]</sup>。

由于樟子松所拥有的许多特点,目前已在我国的十多个省、市和自治区进行了引种。内蒙古自治区奈曼旗地处科尔沁沙地,气候条件被认为是樟子松生长的下限,在 20 世纪 80 年代前后采用移栽时在根部加套营养袋的办法,使苗木获得了较高的成活率。然而,从 20 世纪 90 年代开始,樟子松出现了大量枯梢和较大树龄的植株枯死的现象<sup>[4,5]</sup>,而与此形成鲜明对比的是,在生境相似的部分区域,樟子松的生长情况又非常好。为什么会有如此大的反差?而目前关于科尔沁沙地樟子松人工林生长状况研究的文献相对很少<sup>[6,7]</sup>。因此,我们选择了生境相似的几处样地,调查了樟子松生长方面的主要指标,并结合降水量,解析了导致樟子松生长状况差异的原因,针对目前存在的问题提出了解决的办法,以期能对樟子松的引种、栽培和林木的管理提供科学依据,并起到一定的借鉴作用。

## 1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区奈曼旗沙日塔拉村附近的樟子松人工林地,地理位置 120°42'E,42°55'N。本地气候类型属温带半干旱大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热且雨量集中,秋季凉爽短促,冬季漫长而寒冷。年平均气温 6.3℃,最热月(7 月份)平均气温 23.6℃,最冷月(1 月份)平均气温 -13.1℃,≥10℃的年平均积温 3161.2℃。年均日照时数 2951.2h,无霜期 145~151d,年均降水量 365mm,约 70%集中在 6~8 月份,年均蒸发量 1935.4mm。

本区地貌以平缓起伏的沙丘为主,海拔 340~350m,流动沙丘、沙质草甸和耕地相间分布。研究区土壤类型为沙质栗钙土,遭风力侵蚀作用后退化为流动风沙土,有机质含量低,结构松散<sup>[8]</sup>。

研究区植被类型属杂草类群落,主要有灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、地锦(*Euphorbia humifusa*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)、胡枝子(*Lespedeza bicoior*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*)等,其间零星分布着一些灌木群落,主要是沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、差不嘎蒿(*Artemisia halodendron*)和黄蒿(*Artemisia scoparia*)等。

研究区所在的奈曼旗已连续多年降水偏少。2003 年的总降水量为 270 mm,约为正常降水年份的 74%。相对多年降水的平均值,2004 年林木调查前期的总降水量为 221mm,仍属偏少年份。从图 1 中可看出,降水量随时间的分配也很不均匀(图 1)。

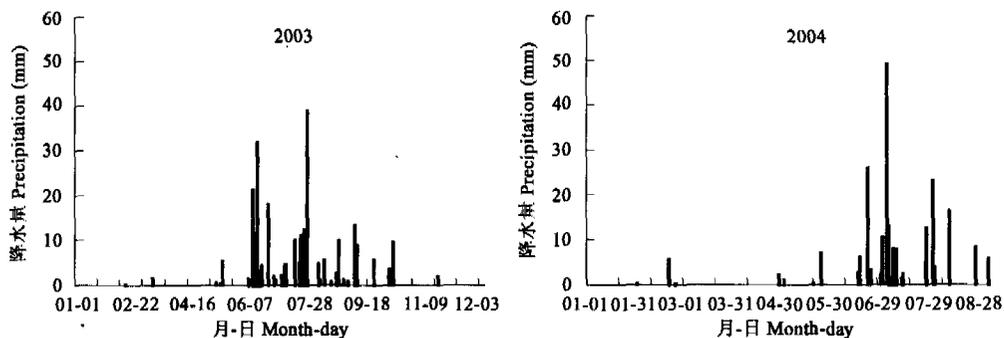


图 1 测试前期的降水量情况

Fig.1 Rainfall distribution before investigation

## 2 研究方法

### 2.1 样地选取

为了对不同密度樟子松的生长情况进行对比分析,样地的选择满足以下条件:① 由于林木栽植于丘间低地,呈片状分布,每块林地的面积并不大,故样地的面积选择了  $10 \times 10\text{m}^2$  的最小样地。② 有相似的林下生境。样地中的地面植被均为草本类植物,盖度基本相同,约为 60%,高度基本一致。③ 样地较集中,以使样地的土壤质地无大的差异(两样地之间的实际最远距离不大于 300m)。④ 样地之间的海拔高度差小于 1.5m。

按照以上条件,在研究区选择了 5 块样地,编号依次为 I、II、III、IV、V。样地中樟子松的数量分别为 44、37、35、28、23 株,对应的密度分别为 4400、3700、3500、2800、2300 株/ $\text{hm}^2$ 。

### 2.2 林木生长情况调查

该研究区樟子松的树龄为 22 a,自移栽后结构未做过调整。虽然有些树木已经枯死,但由于其还有防风固沙效应,以及其它稳定绿化指标方面的原因,已死亡的植株并没有被砍伐掉,从死亡植株的树龄和林木的间距变化中可以肯定这一点。而这种情况正好为研究樟子松林在不同密度下的生长过程提供了难得的资料。

樟子松的树龄从主干的节间数中确定,林木冠幅全部枯死定义为树木死亡,死树的年龄即是树木死亡时的年龄。

调查和研究的内容包括以下几个部分:① 枯死的林木数量,林木死亡时的年龄,以此确定林木的最早死亡年龄,林木的平均死亡年龄;② 现存树木的胸径(用游标卡尺测定);③ 现存活木的树高;④ 样地林木的冠幅,用投影法测定(东-西,南-北向的平均值);⑤ 冠幅和胸径比;⑥ 每块样地的枯梢林木数。

### 2.3 数据分析

通过对样地林木生长情况的调查和分析,解析栽植密度与樟子松林生长状况之间的关系,探索制约樟子松生长的主要因子。对高密度和较低密度樟子松苗木移栽后的最后结果进行比较,确定适合科尔沁沙地樟子松正常生长的合理栽植密度。通过对样地林木冠幅和胸径比的研究,探讨是否本地区适合人工樟子松混交林的生长。

## 3 结果

### 3.1 不同栽植密度下林木的死亡情况

样地的林木死亡率与林木密度之间服从很好的幂函数关系(图 2)。林木的死亡率随密度的增加而迅速增大,当林木密度减小到一定程度后,死亡率减小并趋于稳定。在样地 I,林木的死亡率高达 68%,而在样地 V,死亡率则不到 10%。最终的结果是,初期栽植密度高的其存活数反而低,栽植密度较低的最后的存活数相差不大。

从图 3 样地林木的死亡年龄中可以看到,高密度区林木的集中死亡时间要早于低密度区。样地 I、II、III 樟子松的死亡年龄主要集中在 18a 龄期,而样地 IV、V 樟子松的死亡年龄集中在 20a 龄期,且枯死的林木较少,说明樟子松在高密度栽植情况下有平均死亡年龄趋小的现象;样地林木的最早死亡年龄也是从高密度区向低密度区而增大。样地 I、II、III、IV、V 林木最早死亡时的年龄分别是 17、16、18、19、20 年龄期。

表 1 林木各指标与密度之间的相关关系

Table 1 Relationships between growth factors and forest densities				
因变量 Factors		相关关系 Relation	$R^2$	$p$
死亡率 Death rate		$Y = 0.0002X^{3.3387}$	0.99	0.0005
死亡年龄	平均死亡年龄	$Y = -0.12X + 23.33$	0.98	0.001
Death age	最早死亡年龄	$Y = -0.16X + 24.18$	0.80	0.039
胸径 DBH	平均	$Y = -0.28X + 19.77$	0.90	0.013
	最大	$Y = -0.34X + 24.62$	0.87	0.020
	最小	$Y = -0.27X + 17.17$	0.93	0.007
树高	平均	$Y = -0.09X + 10.03$	0.86	0.022
	最大	$Y = -0.07X + 10.06$	0.81	0.037
	最小	$Y = -0.10X + 9.08$	0.88	0.018
冠幅	平均	$Y = -0.05X + 4.59$	0.95	0.004
	最大	$Y = -0.06X + 6.05$	0.90	0.014
	最小	$Y = -0.03X + 3.57$	0.98	0.001
枯梢树的比例	Wilted/alive	$Y = 24.567e^{0.016x}$	0.90	0.014
冠幅/树高		$Y = -0.018X + 0.035$	0.57	0.161

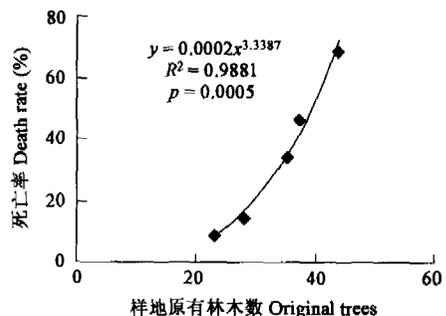


图 2 样地林木的死亡率

Fig. 2 Death rate in plots

### 3.2 林木的胸径变化

对林木胸径的对比可以从一个侧面反映出林木所在生境的情况和对营养物质的有效利用程度。从图4所反映的样地活木胸径变化情况来看,林木的平均胸径、最大胸径和最小胸径与样地林木的密度之间存在负相关关系,即密度大,林木的平均胸径、最大胸径和最小胸径小;密度小,林木的平均胸径、最大胸径和最小胸径大。其中样地VI和样地V的平均胸径分别达到了16.6cm和16.2cm,年平均生长速率相对较快。

### 3.3 林木的树高

尽管一些研究结果表明,林木的高度较少受竞争的影响,但是在所调查的样地中,林木的平均、最大和最小高度依然与密度相关,特别是平均树高。同时从图5中也可以看出,当密度减小到一定程度后,树高对密度的响应发生了钝化。

### 3.4 冠幅

林木的平均冠幅、最大冠幅和最小冠幅与林木的密度之间存在线形关系。但从图6中可以看出,冠幅在低密度和高密度区对密度的响应相对不是很明显。

### 3.5 冠幅/胸径

冠幅与胸径的比值是一个判定是否适合单一林种还是混交林种的指标<sup>[9]</sup>。从图7中可以看出,冠幅与胸径比与密度之间的相关性并不强,但该值随着林木密度的减小仍有减小的趋势。冠幅与胸径比的最大值为0.343,最小值为0.249,平均值是0.297,相对来说仍然较小。

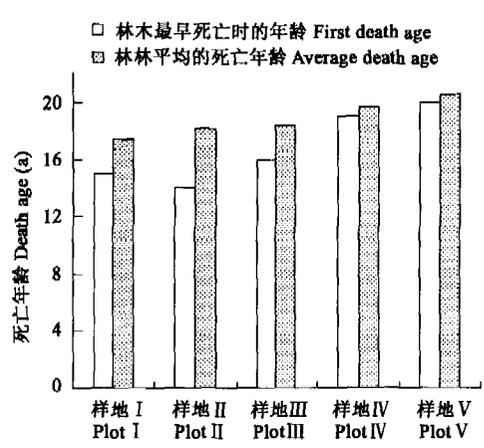


图3 不同样地林木的死亡年龄  
Fig.3 Death age of trees in plots

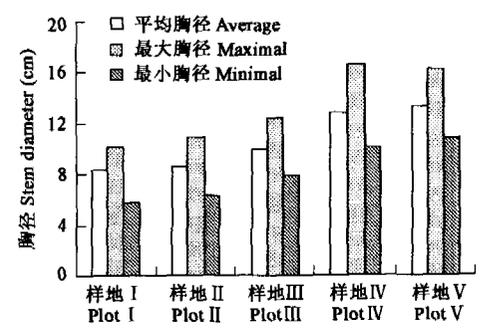


图4 样地林木胸径的变化情况  
Fig.4 Diameter of trees in plots

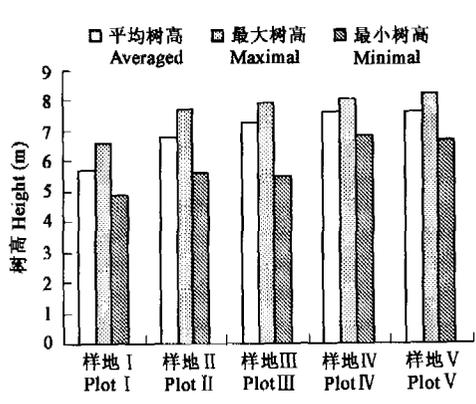


图5 林木的树高分布情况  
Fig.5 Height of trees in plots

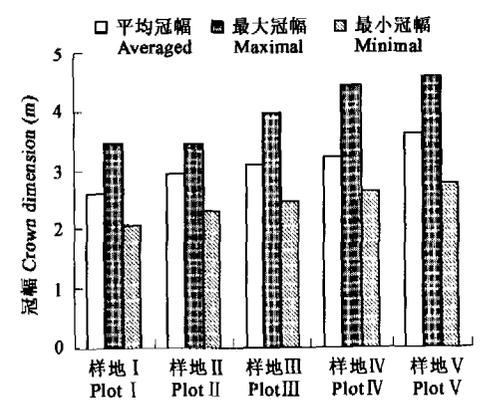


图6 冠幅分布  
Fig.6 Crown dimension in plot

### 3.6 林木的枯梢情况

几十年来,樟子松一直作为我国“三北防护林工程”和治沙工程的主要造林树种而被广泛栽植,自1991年起,在最先进行沙地引种的辽宁西北部出现樟子松枯梢死亡的现象以来,我国其它的许多引种地区也相继发现了这种情况,且危害逐年加重。樟子松的枯梢现象是因为感染松球壳孢菌所致,幼龄植株较大龄植株抗病<sup>[7]</sup>。

在所调查的樟子松林地,普遍存在林木的枯梢现象,但样地中枯梢林木数和枯梢林所占活木的百分比并不一样。5 块样地中的枯梢林木数差别不大,但由于各样地现有活木的基数与移栽初期相比发生了大的变化,因此各样地枯梢林的比例相差仍然较大。枯梢林所占的比例与密度之间存在指数关系,在较低密度的样地Ⅳ和样地Ⅴ,枯梢数所占的比例则相等。

#### 4 讨论

樟子松原产地位于半湿润地区,其降水量和蒸发量是与研究区相差最大的两个因子。奈曼旗的降水量连续多年偏少,而 2004 年又是一个极度干旱的年份。本地区沙质土壤养分不足,也可能是制约樟子松正常生长的一个原因。但从分析结果来看,栽植密度与林木的生长情况之间存在明显的相关性,仍然是决定樟子松生长的主要因子。高密度的林地需要消耗更多的水分和养分,从而导致了种内竞争的加剧,而这些在各样地的死亡率、树高、胸径、冠幅和枯梢林木的比例上都得到了充分的体现。

樟子松在树龄 6~7a 后进入快速生长期,10~20a 龄期处于生长高峰期,然后进入稳定生长阶段<sup>[10]</sup>。按照上述结论,研究区樟子松的主要死亡时间集中在生长高峰期,而生长高峰期也对应着高耗水期。因此,高死亡率的原因是因为高耗水和水分供应的不足,但在科尔沁沙地,林地水分供应是一个不可控制的因子。因此更深一步的原因,则是过高的林木密度所引起的水分供求失衡导致了樟子松的集中大量死亡。

科尔沁地区被认为是樟子松正常生长的下限地区,因此,在移栽初期考虑到樟子松幼苗可能不会有较高的成活率,因此,栽植密度普遍较高。实际上,由于在栽植时采用了套袋技术,许多地区的苗木成活率超过了 80%<sup>[11]</sup>。在所研究的样地,除了样地Ⅰ,其它样地现有活木数差异均不大,其中自疏规律在林木的不同阶段扮演了重要角色<sup>[12,13]</sup>,但从林木的生长态势来看,各样地的差异较大。因此,适时间伐仍然是林木管理中的重要环节。

科尔沁沙地丘间片林林木的生长情况与林木的密度之间存在很明显的相关性。林地密度越大,植株的生长由于受水分不足的制约,生长状况差,死亡率越高;林地密度适中,则死亡率低,林木的生长状况良好。因此,选择合适的栽植密度,是本地区成功引种的关键。但对于合理的初始栽植密度,目前尚存在争议<sup>[13,14]</sup>。科尔沁沙地虽处在半干旱区,但相对来说,仍属水、热条件最好的沙地<sup>[15]</sup>。从研究的结果来看,只要栽植合理,科尔沁沙地适合于樟子松的种植。曾德慧利用自然稀疏-3/2 法则推断,辽宁省章古台地区适宜的栽植密度在 3000~3500 株/hm<sup>2</sup> 之间<sup>[13]</sup>,但章古台地区的年降水量超过 500 mm。因此认为,科尔沁地区沙地樟子松初始的栽植密度应控制 2800 株/hm<sup>2</sup> 左右较为适宜,在林木的生长进入高峰期后,应适时间伐至 2100 株左右。需要值得一提的是,栽植在田间地头的樟子松,由于每年能够接受数次农田灌溉水,生长情况非常好。因此,樟子松林地应选水分条件较好的平缓沙地,而在田间地头大量栽植,可以起到保护农田、防风固沙和促进生态环境良性发展的作用。

枯梢病作为一种严重危害樟子松的林木病害,已在我国的许多引种地区被发现,其危害在逐年加重。导致樟子松感染枯梢病的原因是多方面的<sup>[4]</sup>,研究结果表明,樟子松枯梢林木的比例与林木的密度之间存在很强的相关性。林木密度高的地区,由于樟子松的生长状况差,因而抵御病害的能力弱,染病率高,受危害程度重;而在栽植密度适中的地区,染病率低,对林木的正常生长基本上没有什么很明显的影 响。因此,选定适宜

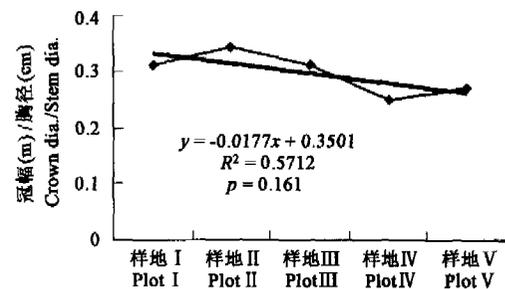


图 7 冠幅(m)/胸径(cm)

Fig. 7 Crown diameter/Stem diameter

表 2 样地林木的枯梢情况

Table 2 Twig-Wilted trees in plots

	样地Ⅰ Plot I	样地Ⅱ Plot II	样地Ⅲ Plot III	样地Ⅳ Plot IV	样地Ⅴ Plot V
枯梢林木数 Twig-wilted trees	7	9	10	9	8
枯梢林/活木(%) Wilted/Alive	54	45	43	38	38

的栽植密度,以保证林木的健康生长,是抵御枯梢病的有效方法。

研究区林木的冠幅和胸径比与密度之间的相关性不明显,这个结论与 Dawkins 在非洲、美洲和亚洲的热带区域对 18 种林木的研究结论相一致<sup>[9]</sup>。Dawkins 的研究结果也表明,冠幅和胸径比仅与树种有关,而与密度、树龄和种植地无相关性<sup>[9]</sup>。Curtin 在对其它一些树种进行研究后发现,不同树种的冠幅与胸径比有差异,他断言其它不同树种的冠幅与胸径比之间也存在着紧密的相关性<sup>[16]</sup>。Philip 认为一个固定的冠幅和胸径比能够限制一个区域某一平均胸径林木的数量<sup>[17]</sup>。Dawkins 提出,低的冠幅和胸径比更适合单一林种的栽植,因为这种情况可以在单位区域维持较高的茎杆面积<sup>[9]</sup>。尽管宋晓东等认为,混交林可以维持较高的成活率,也能保证林木更好地生长<sup>[5]</sup>,但在半干旱区域,要找到一个与樟子松协调生长的伴生树种,也是非常困难的,原因是适合在干旱和半干旱环境生长的树种都有很强的利用水资源的能力,而由此所引起的种间竞争也许会产生新的问题。在研究的样地中,冠幅和胸径比相差不大,平均为 0.297,属于相对比较低的数值。对照 Dawkins 的研究结果,在样地所在区域,可能更适合单一樟子松林的生长。但科尔沁地区的条件与 Dawkins 所调查的地区并不可能一致,因此,尚需对这一问题进行更进一步的研究。

按照 Daniel 等的理论,林木的树高相对来说不受竞争的影响<sup>[18,19]</sup>。林木的冠幅和胸径随着密度的增加而减小<sup>[20]</sup>。在所研究的樟子松样地中,树高与密度之间仍然存在明显的相关性。而这可能与干旱或半干旱区的水分状况有很大关系。

对与现有林木,应根据其生长状况采取不同的措施加强后期管理。由于密度过大而没有生长前景的林木,应分期彻底更新。对于其它较高密度的林地,应间伐一些生长状况差的林木,使林木密度保持在一个合适的范围。

#### References:

- [ 1 ] Kang H Z, Zhu J J, Li Z H, et al. Natural distribution of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on sandy land and its cultivation as an exotic species. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 134 ~ 139.
- [ 2 ] Jiao S R. Afforestation technology of needle-leaved trees in Keerqin Sandy Land. Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2001, 3: 31 ~ 36.
- [ 3 ] Jiao S R, Song B M, Wang M Z, et al. Experiments on afforestation by introduction coniferous in Xinglongzhao forest farm, Naiman Banner, Inner Mongolia. Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2000, 2: 23 ~ 25.
- [ 4 ] Li Y M, Yang C B, Huang J L, et al. Potential infection of shoot blight of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. Journal of Northeast Forestry University, 2003, 31(2): 23 ~ 24.
- [ 5 ] Song X D, Liu G R, Chen J Y, et al. The causes and management of the decline of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. Journal of Beihua University(Natural Science), 2003, 4(2): 166 ~ 169.
- [ 6 ] Zeng D H, You W Z, Fan Z P, et al. Natural comparison of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in sandy land. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1): 1 ~ 5.
- [ 7 ] Zeng D H, You W Z, Fan Z P, et al. Analysis of natural regeneration barriers of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation on sandy land. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 257 ~ 261.
- [ 8 ] Su Y Z, Zhao H L. Fractal features of soil particle size distribution in the desertification process of the farmland in Horqin Sandy Land. Acta Ecologica Sinica, 2003, 4(2): 166 ~ 169.
- [ 9 ] Dawkins H C. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. Commonw. For. Rev., 1963, 42: 18 ~ 333.
- [ 10 ] Liu C Q, Zhang Q J, Liu J Y, et al. Sandy land valuable and rare species-discussion on protection and development of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*. Journal of Inner Mongolia Science and Technology, 2003, 5: 29 ~ 31.
- [ 11 ] Xie H R. Sylvicultural experimentation in northern sandy lands of Oahan County. Journal of Desert Research, 1986, (2): 42 ~ 46.
- [ 12 ] Hozumi K. 1997. Ecological and mathematical considerations on self-thinning in even-aged pure stands I. Mean plant weight-density trajectory during the course of self-thinning. Bot. Mag. Tokyo., 90: 165 ~ 179.
- [ 13 ] Zheng D H, Jiang F Q, Fan Z P, et al. Self-thinning of even-aged pure plantations of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on sandy soil. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(2): 235 ~ 242.
- [ 14 ] You G C, Yu H J, Wang L. Study on management density of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in sandy land. Protection Forest Science and Technology, 2002, 3: 11 ~ 14.

- [15] Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Wu W. Desertification processes and its restoration mechanisms in the Horqin Sandy Land. Beijing: Ocean Press, 2003.
- [16] Curtin R A. Stand density and the relationship of crown width to diameter and height in *Eucalyptus oblique*. Aust. For., 1964, 28: 91 ~ 105.
- [17] Philip M S. Measuring trees and Forests (2nd edition). CAB international. Wallingford, Oxon, UK, 1994.
- [18] Daniel T W, Helms J A, Baker F S. Principles of Silviculture (2nd edition). McGraw-Hill Book Company. New York, 1979.
- [19] Hummel S. Height, diameter and crown diameter of *Cordia alliodora* associated tree density. Forest Ecology and Management, 2000, 127: 31 ~ 40.
- [20] Drew T J, Flewelling J W. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantation. Forest Science, 1979, 25: 518 ~ 532.

#### 参考文献:

- [1] 康宏樟, 朱教君, 李智辉, 等. 沙地樟子松天然分布与引种栽培. 生态学杂志, 2004, 23(5): 134 ~ 139.
- [2] 焦树仁, 科尔沁沙地针叶树造林技术研究. 内蒙古林业科技, 2001, 3: 31 ~ 36.
- [3] 焦树仁, 宋保民, 王明智, 等. 内蒙古奈曼旗兴隆沼林场针叶树引种造林试验. 内蒙古林业科技, 2000, 2: 23 ~ 25.
- [4] 李耀民, 杨传波, 黄敬林, 等. 樟子松枯梢病菌的潜伏侵染. 东北林业大学学报, 2003, 31(2): 23 ~ 24.
- [5] 宋晓东, 刘桂荣, 陈江燕, 等. 樟子松枯死原因与防治技术研究. 北华大学学报(自然科学版), 2003, 4(2): 166 ~ 169.
- [6] 曾德慧, 尤文忠, 范志平, 等. 樟子松人工固沙林天然更新特征. 应用生态学报, 2002a, 13(1): 1 ~ 5.
- [7] 曾德慧, 尤文忠, 范志平, 等. 樟子松人工固沙林天然更新障碍因子分析. 应用生态学报, 2002b, 13(3): 257 ~ 261.
- [8] 苏永中, 赵哈林. 科尔沁沙地农田沙漠化演变中土壤颗粒分形特征. 生态学报, 2003, 4(2): 166 ~ 169.
- [10] 柳长青, 张秋菊, 刘景元, 等. 沙地珍稀物种-樟子松保护和发展的探讨. 内蒙古科技与经济, 2003, 5: 29 ~ 31.
- [11] 谢浩然. 敖汉旗北部沙地固沙造林试验. 中国沙漠, 1986, 2: 42 ~ 46.
- [13] 曾德慧, 姜凤歧, 范志平. 沙地樟子松人工林自然稀疏规律. 生态学报, 2000, 20(2): 235 ~ 242.
- [14] 尤国春, 于洪军, 王林. 沙地樟子松人工林经营密度研究. 防护林科技, 2002, 3: 11 ~ 14.
- [15] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理. 北京: 海洋出版社, 2003. 29 ~ 42.