沙地樟子松人工林初植密度及其调控研究*

张秋良　常全宝

（内蒙古农业大学林学院　呼和浩特　010019）

摘　要　利用灰色系统理论中灰关联和灰预测方法，对毛乌素沙地试区樟子松人工林初植密度和中龄期（15～20年）的适宜密度调控进行了评价与预测。研究结果证明沙地樟子松适宜的初植株行距为 2m／2m，进入中龄期后适宜的株行距为 3m×4m。

关键词　沙地　灰色系统　初植密度　中龄林

Study on the initial planting density and its adjustment of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin. artificial forest in the sand land. ZHANG Qiu-Liang, CHANG Jin-Bao (College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019), *CJEA*, 2001, 9(3): 35～37

Abstract　This paper has evaluated the initial planting density and calculated suitable densities of the middle age *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin. artificial forest in Maowusu sand land. Using the gray system theory calculation, it is shown that suitable initial planting density of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin. forest in sand land is 2m／2m (space). According to calculation result, meanwhile, the suitable density for middle age *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin. artificial forest in sand land is 3m×4m (space).

Key Words　Sand land, Gray system, Initial planting density, Middle-age forest

初植密度是影响沙地樟子松（*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin.）人工林能否存活和健康生长的关键因素之一，不同密度的沙地樟子松人工林群体与沙地环境之间、林分中个体之间的相互作用规律不同。本项研究根据沙地樟子松的实际生长状况，利用灰色关联和灰色预测理论确定出最佳的初植密度，并对不同初植密度下沙地樟子松人工林的生长趋势进行预测，进而实现对沙地樟子松人工林的初植密度进行中后龄期合理调控，这对理论和生产实践均具有重要意义。

1　数据来源与分析方法

依据 1982～1995 年伊盟林业治沙研究所在毛乌素沙地试区樟子松人工林实测数据进行研究。试验区内以流动沙丘为主，多为中、小型新月型沙丘和沙丘链，年均降水量为 403.7mm，年蒸发量为降水量的 5.6 倍，天然植被稀疏，植被盖度仅为 10%～15%。在不同密度林分中采用抽样法确定标准木，通过观测其树高、胸径及树冠等生长量采集数据。分析方法一是采用灰色关联分析原理，设有 N 个数列：

$$t: 1, 2, \cdots, M$$
$$x_1(t): x_1(1) x_1(2) \cdots, x_1(M)$$
$$x_2(t): x_2(1) x_2(2) \cdots, x_2(M)$$
$$\cdots\cdots$$
$$x_n(t): x_n(1) x_n(2) \cdots, x_n(M)$$

记数列 x_j 对数列 x_i 的关联系数为 $L_{ij}(t)$，t 表示采样时刻（点），则：

$$L_{ij}(t)=\frac{\Delta_{\min}+k\times\Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(t)+k\times\Delta_{\max}} \tag{1}$$

式中，k 为常数，取 $0.1\leqslant k\leqslant 1$；$\Delta_{\min}$为各个因素间最小绝对差，一般可取为零；$\Delta_{\max}$为各个因素间最大绝对差；$\Delta_{ij}(t)$为比较时刻因素间的绝对差。记数列 x_j 对数列 x_i 的关联度为 r_{ij}，用几何图形计算则：

$$r_{ij}=\frac{S_{ij}}{S_{ii}} \tag{2}$$

* 内蒙古自治区林业厅重点项目部分研究内容

收稿日期：2001-03-26

式中，S_{ij}为x_i、x_j的关联曲线与座标曲线的几何面积；S_{ii}为x_{ii}自身关联系数围成曲线的面积。用代数式计算则：

$$r_{ij}=\frac{\sum_{t=1}^{M}L_{ij}(t)}{M} \tag{3}$$

将某数列x_i与各个数列的关联度r_{ij}由大到小排列1行，称为各数列对x_i的关联序。若依次分别取各数列作母线，计算与其他数列的关联度，并排列为矩阵，称为关联矩阵。二是采用灰色预测分析原理，利用GM(1,1)有残差辨识模型进行预测：

$$Y_N=(A\ \vdots\ B)a \tag{4}$$

式中，a是按最小二乘法估计的，即：

$$\hat{a}=[(A\ \vdots\ B)^T(A\ \vdots\ B)]^{-1}(A\ \vdots\ B)^TY_N \tag{5}$$

则模型值$\hat{Y}_N$与实际观测值Y_N存在残差：

$$\Delta=Y_N-\hat{Y}_N=Y_N-(A\ \vdots\ B)\hat{a} \tag{6}$$

根据灰色系统理论思想，Δ中的$\hat{a}$是灰色的，因而含有用信息。残差辨识就是再利用Δ中$\hat{a}$的有用信息，即对残差中有用信息进行辨识。根据以上关联分析确定最佳初植密度，并利用灰色预测方法对不同密度樟子松的生长趋势进行分析，进而对15～20年(进入中龄阶段后)樟子松人工林的适宜密度进行预测。

2 结果与分析

2.1 多目标下沙地樟子松人工林适宜初植密度的灰色关联分析

不同初植密度配置的沙地樟子松人工林14年生长指标有明显差异，用灰色关联理论进行多指标综合评判。根据表1，令x_1=株行距(2m×2m)=$\{x_1(k)|k=1,2,3,4,5\}$=$\{x_1$(定期平均生长量)，x_1(树高)，x_1(胸径)，x_1(材积)，x_1(蓄积量)$\}$=$\{0.39,0.28,0.49,0.0012,3.006\}$；同理可得$x_2$=株行距(2m × 4m) = $\{0.41, 0.27, 0.50, 0.0013,1.63\}$，$x_3$=株行距(3m×4m)=$\{0.40,0.24,0.51,0.0012,1.000\}$，$x_4$=株行距(4m×4m)=$\{0.35,0.22,0.37,0.0006,0.38\}$。因进行的分析是因素选择，确定参考数列要选择指标数值最大最小值。参考数列为$x_0=\{x_0(k)|k=1,2,3,4,5\}$；$x_0$(定期生长量)越大越好，即$x_0(1)=0.41$；$x_0$(树高)越大越好，即$x_0(2)=0.28$；$x_0$(胸径)越大越好，即$x_0(3)=0.51$；$x_0$(材积)越大越好，即$x_0(4)=0.0013$；$x_0$(蓄积量)越大越好，即$x_0(5)=3.006$。从而$x_0=\{0.41,0.28,0.51,0.0013,3.006\}$，利用灰色关联程序把$x_0$和$x_i$的各项数据输入计算机运算结果为max$B$=2.133；min$S$=0.0000。关联度为$G(1,1)=1.0000$；$G(1,2)=0.9369$；$G(1,3)=0.5453$；$G(1,4)=0.4442$；$G(1,5)=0.3602$。因$G(1,2)=0.9369>G(1,3)=0.5453>G(1,4)=0.4442>G(1,5)=0.3602$，所以在多指标灰色关联综合评判下毛乌素沙地流动沙丘14年龄的樟子松林初植密度为2m×2m的生长最好，效益最高，其余依次为2m×4m>3m×4m>4m×4m，而初植密度4m×4m效果最差。

表1 不同初植密度沙地樟子松人工林生长量

Tab.1 The increments of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin. under different initial planting densities

株行距/m Space	造林后9～14年树高定期平均生产量/m·a^{-1} Tree height after forestation 9～14 year	总平均生长量 Total average increment 树高/m·a^{-1} Tree height	胸径/cm·a^{-1} Diameter	材积/m^3·a^{-1} Wood accumulation	蓄积量/m^3·a^{-1}·hm^{-2} Storage amount
2×2	0.39	0.28	0.49	0.0012	3.0060
2×4	0.41	0.27	0.50	0.0013	1.6300
3×4	0.40	0.24	0.51	0.0012	1.0000
4×4	0.35	0.22	0.37	0.0006	0.3800

2.2 沙地樟子松人工林生长高度预测及调控

上述最佳初植密度是根据造林后14年的生长量、蓄积量等生长指标确定的，但密度较大的林分(2m×2m)郁闭早，林木个体间对光照、水分、养分等的竞争激烈到一定时期势必产生林分内林木的分化。幼龄阶段表现为最佳的密度不一定对15～20年(中龄后)的林木生长适宜，有时甚至相反。试验地2m×2m的樟子松林14年林龄已开始自然整枝，因此有必要进行短期预测，对进入15～20年(中龄后)的不同初植密度樟子松人工林生长状况进行分析，进而对15～20年的适宜密度作出初步预测，以便采取有效合理的抚育和管理措施，使林分

表2 沙地樟子松人工林历年高度生长量

Tab.2 The highest increment of artificial *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin.

株行距/m Space	生长量/cm Increment 年份 Years 1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
2×2	13.5	21.8	32.0	30.0	39.8	50.6	54.4	54.0	40.2	37.4	26.2	26.8
2×4	16.4	17.2	23.2	25.8	38.2	48.2	55.2	59.2	52.0	39.4	27.6	14.3
4×4	23.6	11.0	15.8	15.0	26.0	41.6	46.2	41.8	33.2	38.0	40.4	25.2
3×4	24.0	15.3	12.7	15.2	24.3	33.1	41.0	45.0	47.8	52.7	46.7	38.3

获得最大的生态经济效益。根据灰色预测理论，建立樟子松连年高度生长量预测 $G(1,1)$ 模型，并作短期预报，其建模方式为首先根据樟子松不同初植密度下连续 12 年（1984～1995 年）的高度生长量作时间数据序列（见表 2）。根据表 2，分别对不同初植密度建立灰色动态序列 $GM(1,1)$ 有残差分析的数学模型，把表 2 中各株行距的逐年高度生长量数据输入计算机，经过不断的模型精度检验，其输出结果见表 3。采用表 3 中的数学模型分别对不同密度的樟子松人工林的生长进行预测，结果见表 4。由表 4 可知，不同初植密度对 15～20 年林龄樟子松的生长有明显差异，且与造林后（14 年）幼龄阶段所产生的影响不同。进入中龄后（15～20 年）初植密度为 3m×4m（840 株/hm²）最适宜，其次为 2m×4m 初植密度，而 2m×2m（2160 株/hm²）初植密度对高度生长产生不良影响。故 1996～2000 年对 2m×2m 初植密度的樟子松林采用疏伐的方式，降低林分密度，使其保持在 750～1200 株/hm² 为宜。

表 3　沙地樟子松人工林生长高度预测输出结果

Tab. 3　Forecasting tree height of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin.

株行距/m Space	响应函数 Responding founction	剩余标准差(S) Surplus standard error	精度检验 Precision test C 数值 Value	C 评价 Evaluate	P 数值 Value	P 评价 Evaluate
2×2	$\hat{H}=1149.5887e^{0.007766t}-1149.589$	0.6970	0.4361	良	1.000	好
2×4	$\hat{H}=183.94e^{0.07504t}-183.94$	0.6966	0.5148	合格	0.857	良
4×4	$\hat{H}=35.8679e^{0.2919t}-35.868$	0.7734	0.4021	良	1.000	好
3×4	$\hat{H}=21.8153e^{0.2066t}-21.815$	0.7438	0.3217	好	1.000	好

表 4　不同初植密度沙地樟子松人工林生长高度灰色预测

Tab. 4　Grey forecasting tree height of artificial *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litvin. under different initial planting densities

株行距/m Space	树高/cm Tree height 年份 Years 1996 非叠加预测 No-overlying forecasting	1996 叠加预测 Overlying forecasting	1997 非叠加预测 No-overlying forecasting	1997 叠加预测 Overlying forecasting	1998 非叠加预测 No-overlying forecasting	1998 叠加预测 Overlying forecasting	1999 非叠加预测 No-overlying forecasting	1999 叠加预测 Overlying forecasting	2000 非叠加预测 No-overlying forecasting	2000 叠加预测 Overlying forecasting
2×2	18.0	82.2	22.4	31.8	19.9	29.4	17.7	27.3	15.7	25.4
2×4	3.9	131.0	22.1	46.3	19.5	25.6	17.2	45.3	15.2	45.5
4×4	27.6	60.0	28.2	34.8	26.6	33.8	25.1	33.0	23.7	32.4
3×4	46.4	47.5	49.4	70.8	50.7	76.9	52.0	84.2	53.4	92.9

3　小　结

初植密度（株行距）对现有林分生长的影响较大，从沙地樟子松人工林生长 14 年后平均高度、胸径、蓄积量、材积和连年生长量综合评判看，其顺序为株行距 2m×2m＞2m×4m＞3m×4m＞4m×4m，即沙地樟子松人工林 0～14 年林龄阶段适宜的初植密度为 2m×2m；根据樟子松沙地人工林生长的灰色预测分析结果，其 15～20 年林龄阶段的适宜株行距为 3m×4m，即对初植株行距在樟子松沙地人工林生长进入中龄后（15～20 年）应做调控进行疏伐，使其密度保持在 840 株/hm² 为宜；所进行的预测仅为短期预测，2000 年后的生长状况尚需对 1996～2000 年的沙地樟子松的实际生长状况进行观测，然后进行预测，才能为林分抚育管理提供长远的科学依据。

参　考　文　献

1　王学萌，罗建军．灰色系统预测决策建模程序集．北京：科学普及出版社，1986

欢迎订阅 2002 年《园艺学报》

《园艺学报》是由中国园艺学会主办的学术刊物，主要刊登果树、蔬菜、观赏植物和西瓜、甜瓜等方面具有创新性科研报告及研究简报，经省（直辖市）级审定或鉴定的新品种以及学术动态等，适于园艺科研人员、大专院校师生及专业技术人员阅读。本刊 2002 年改为大 16 开本，逢双月 25 日出版。每期定价 6.00 元，全年 36.00 元。国内邮发代号：82-471，全国各地邮局均可订阅，漏订者可直接汇款至本刊补订。国外发行代号：BM448。地址：（100081）北京市中关村南大街 12 号中国农业科学院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部。

欢迎订阅 2002 年《农业环境与发展》

《农业环境与发展》是由农业部环境保护科研监测所和全国农业环境保护科技信息网联合主办的国家级综合指导类科技期刊，主要刊登我国农业生态环境保护的方针政策，管理经验，监测与评价方法，生态农业建设理论与实践以及无公害农产品生产技术，农业环境信息与动态等。本刊自 2002 年改为双月刊，每期定价 6.00 元，全年 36.00 元。邮发代号：6-40，全国各地邮电局均可订阅，漏订者可直接汇款至本刊补订。地址：（300191）天津市南开区复康路 31 号《农业环境与发展》编辑部。