

# 赤松次生林天然更新幼树数量通径分析\*

林 全 业

(山东农业大学林学院, 泰安 271018)

**摘 要** 用常规方法对山东半岛赤松次生林天然更新状况进行了为期4年的观测研究。运用电子计算机对原始数据进行了通径分析程序运算。结果表明, 林分郁闭度、灌草层总盖度对赤松更新幼树数量的影响最大, 二者都以直接效应为主, 是影响赤松次生林天然更新最重要的因子。坡度与土层厚度代表地形和土壤条件, 对赤松更新幼树的数量的影响小于郁闭度和群落总盖度, 二者主要通过影响其它因子而间接作用于赤松次生林的天然更新。赤松林木密度与赤松更新幼树数量的关系不密切, 对赤松次生林天然更新的作用较小。赤松林地一般无裸岩, 故裸岩面积所占百分比对赤松幼树数量的作用不显著。通径分析能够表明变量之间作用的因果关系, 更深刻地揭示变量之间的关系。

**关键词** 赤松次生林 天然更新 幼树数量 通径分析

赤松(*Pinus densiflora*)林天然分布于中国山东半岛、辽东半岛、江苏云台山及日本、朝鲜等, 是重要的水源涵养林和用材林。1949年以前, 山东半岛赤松林群落曾多次遭受乱砍滥伐, 50年代又遭受了松干蚧(*Matsucoccus matsumurae*)和松毛虫(*Dendrolimus spectabilis*)的严重危害, 形成了天然次生林(山东森林编辑委员会, 1986)。关于赤松次生林的营林对策, 存在着保留和淘汰两种根本不同的意见分歧。作者认为, 鉴于它面积大, 立地条件比较差, 从研究其天然更新开始, 继而研究其演替规律与发展前途, 在全面分析整个山东半岛赤松林群落的基础上, 最终确定营林对策才是应取的科学态度。

一些学者(王仁卿等, 1989; 林全业, 1994)对山东半岛赤松次生林天然更新的现状、赤松次生林区的生境条件、赤松次生林天然更新与诸多因素的一般关系进行了探索。近些年多元统计分析技术, 如多元回归分析、判别分析、聚类分析、主成分分析与因子分析, 在森林生态系统、植被分类与排序的研究中, 已有不少应用(阳含熙等, 1981; 李绍忠, 1984; 刘继平, 1986; 宋永昌等, 1985; 赵志模等, 1990), 而在赤松次生林的研究中尚未见文献报道。为此作者选用多元分析中的通径分析(Path Analysis), 对赤松次生林天然更新幼树数量与诸多因子的因果关系进行了研究探讨。

本文于1994-10-06收到, 1995-03-31定稿。

\* 山东农业大学田玉丰研究员审阅, 邢黎峰讲师帮助数据处理, 林学专业九二届尹洪庭、郑然同学参加部分外业调查, 特此致谢。

## 1 研究地区的自然概况

研究地点位于山东省青岛崂山赤松次生林区,地理位置北纬 $36^{\circ}09'$ ,东经 $120^{\circ}25'$ 。地形属山地丘陵,主峰崂顶海拔1130m。暖温带海洋性季风气候,年平均气温 $11.9^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $36.9^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-20.5^{\circ}\text{C}$ ,年有效积温 $3800\sim 4100^{\circ}\text{C}$ 。年平均降水量 $800\sim 1000\text{mm}$ ,年平均相对湿度76%。无霜期200天左右。土壤为在花岗岩母质上发育的棕色森林土,pH值 $6.0\sim 7.0$ 。

赤松次生林主要分布在海拔800m以下。林木年龄 $30\sim 50$ 年生,处于结实盛期。上层厚度 $25\sim 80\text{cm}$ ,一般 $40\sim 50\text{cm}$ 。林分平均树高 $3.0\sim 6.3\text{m}$ ,平均胸径 $4.9\sim 10.5\text{cm}$ ,平均冠幅 $1.77\sim 4.35\text{m}$ 。林分稀疏,郁闭度一般 $0.2\sim 0.5$ ,林木分布极不均匀,林中空地较多。林下灌木主要有胡枝子(*Lespedeza* spp.)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*)、白栎(*Symplocos paniculata*)等。草本植物主要有羊胡子草(*Carex* spp.)、白羊草(*Bothriochloa ischamemum*)、野古草(*Arundinell hirta*)、地榆(*Sanquisorba officinalis*)、卷柏(*Selaginell tamariscina*)、黄背草(*Themeda triandra* var. *japonica*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 更新幼树调查方法

自1990~1994年,在研究区内,首先沿山坡、山脊对赤松次生林进行全面踏查,并查阅森林小班卡片档案,然后选择最具代表性的地段,分别按地形、土壤条件和林分状况设立森林标准地,面积为 $20\text{m}\times 30\text{m}$ 。用常规方法详细测定和记载林木年龄、树高、胸径、冠幅、林木株数、海拔高度、坡向、坡度、上层厚度、裸岩面积,计算林分郁闭度。在每一标准地中按对角线设置面积为 $4\text{m}\times 4\text{m}$ 的样地4~5个,详细测定和记载灌木的主要种类、盖度、平均高度、分布状况及枯枝落叶层的盖度和厚度。在每一 $4\times 4\text{m}^2$ 的样地内,设置 $1\times 1\text{m}^2$ 的样方4~5个,调查草本植物,内容与灌木调查相同。在每一森林标准地内设置面积 $4\times 4\text{m}^2$ 的样地4~5个,按1~5年生、5~10年生、10~15年生、15年生以上四个龄级,调查赤松幼树株数,统计每公顷各龄级幼树株数和幼树总株数。

### 2.2 多元统计分析方法的选择

回归分析是由一组自变量观测值去预测一个或多个因变量值的统计分析方法(王学仁等,1990;张尧庭等,1983)。主成分分析是将多因子组合为少数几个综合性因子的统计分析方法,它能够简化数据,揭示变量之间的关系。因子分析是主成分分析的推广与发展,能进一步揭示变量之间的关系(王学仁,1990;张尧庭,1983)。通径分析是美国遗传学家(Sewall Wright,1934)于1921年提出的一种多元分析方法。最早用于人口遗传学研究,20世纪50年代推广应用于社会学和经济学领域,近年来在农学和医学中开始应用(Wright,1934;Wright,1968;Li,1975;Duncan,1975;Simon,1954;Asher,1976)。国内应用较少。我国学者(吕德滋等,1995)运用通径分析的基本原理,研究了马唐(*Digitaria adscendens*)、牛筋草(*Eleusine indica*)和其它杂草对谷子(*Setaria italica*)产量的影响程度。通径

分析是相关分析的重要发展,与其他多元统计分析方法不同的是,它可以表明变量之间作用的因果关系,将自变量对因变量的作用剖分为直接作用和间接作用,用通径系数说明其直接作用和间接作用的相对重要性(王学仁,1990)。作者已进行了赤松次生林天然更新幼树数量多元回归与逐步回归分析、主成分分析与因子分析的研究,在此基础上,为更深入地研究赤松次生林天然更新与诸多因子的关系,以赤松次生林郁闭度、群落总盖度(灌木与草本盖度之和)、裸岩面积百分比、每公顷赤松林木株数、坡度、土层厚度6个因子为自变量,以每公顷赤松幼树总株数为因变量,用计算机对57组观测数据进行了通径分析程序运算。

### 3 结果与分析

#### 3.1 变量间相关系数

对观测原始数据进行标准化,通过计算机程序运算,求得变量间相关系数,详见表1。

表1 变量间相关系数

Table 1 Coefficients of Correlation among variables

相关系数 Correlation coefficient	变量 Variable	郁闭度	植被总盖度	裸岩面积百	林木株数/hm <sup>2</sup>	坡度	土层厚度	幼树株数
		Crown density	Percent of vegetation cover	分比 Percent of bare rock	Trees/hm <sup>2</sup>	Slope	Soil thickness (cm)	Saplings /hm <sup>2</sup>
变 量 Variable		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y
	X <sub>1</sub>	1.0000						
	X <sub>2</sub>	0.4447	1.0000					
	X <sub>3</sub>	-0.3285	-0.3918	-1.0000				
	X <sub>4</sub>	0.3677	-0.0496	-0.2565	1.0000			
	X <sub>5</sub>	0.1892	0.0846	0.1409	-0.0469	1.0000		
	X <sub>6</sub>	0.0893	-0.2852	-0.1107	0.0063	0.1910	1.0000	
	Y	-0.4509	-0.6191	-0.0289	0.1407	-0.2098	0.2372	1.0000

表1表明,林分郁闭度与灌草层总盖度、与每公顷林木株数、与土层厚度均呈正相关关系,与裸岩面积百分比、与每公顷赤松幼树株数呈负相关关系。在一定范围内,随林分郁闭度增大,幼树株数减少,其相关系数  $r_{1Y} = -0.4509$ , 相关系数的绝对值在6个自变量中排位第二,是影响赤松次生林天然更新的重要因子。郁闭度的大小直接决定了林地的光照条件,间接影响温度、湿度等小气候因子,从而对林下灌木和草本植物的生长,对赤松种子萌发及幼树生长发生作用。赤松是喜光树种,郁闭度大则林地光照弱,不能满足幼树生长的需要,因而幼树数量少,生长差,导致更新不良。

植被总盖度与每公顷林木株数、与裸岩面积百分比、与土层厚度、与每公顷赤松幼树株数均呈负相关关系。它与每公顷赤松幼树株数关系密切,其相关系数  $r_{2Y} = -0.6191$ , 相关系数绝对值在6个自变量中排位第一。与林分郁闭度、与裸岩面积百分比相关较密切,与其它3个自变量相关程度很小。植被总盖度大,赤松种子不易与土壤接触,阻碍种子萌发。此外,灌木和草本植物根系与赤松幼树争夺土壤养分、水分,地上部分争夺光照,从而抑制

幼树生长。灌木和草本植物在一定程度上可减轻日灼、霜冻、干旱危害,但对赤松更新的不利作用大于有利作用,植被盖度愈大,林地上幼树愈少,生长愈差。

每公顷林木株数与上层厚度、与坡度相关性极小,其相关系数分别为0.0063和-0.0469,与林分郁闭度相关性大,相关系数为0.3677,二者呈正相关关系。对赤松幼树数量的作用较小,其相关系数 $r_{4y}=0.1407$ ,在6个自变量中排位第五。调查地区赤松林木正值结实盛期,研究表明,每公顷林木在130株以上,其下种量即可满足更新要求(林全业,1994)。幼树密度随林木密度的增加增幅很小,因为赤松林木密度大,虽然单位面积林地落种量大,但由于林分郁闭度增加,导致光照减弱,从而抑制幼苗幼树存活与生长。

坡度与赤松更新幼树数量呈负相关,坡度大,林地上幼树少,但影响不大,其相关系数 $r_{5y}=-0.2098$ 。坡度 $30^\circ$ 以下,只要其它条件适宜,即可获得良好更新(林全业,1994)。赤松是极耐土壤干旱贫瘠的树种,因此上层厚度对赤松幼树数量影响不大,其相关系数 $r_{6y}=0.2372$ 。厚层土比薄层土幼树数量多,但增幅很小。上层厚度对幼树生长量影响较大,土层愈厚,幼树生长愈快(王仁卿等,1989;山东森林编辑委员会,1986;林全业,1994)。

### 3.2 赤松天然更新幼树数量通径分析

前面用相关系数讨论了自变量与因变量、自变量与自变量之间的相关关系。相关系数的大小和符号可以表明变量间相关程度与变化趋势,从而说明变量的重要性。但相关系数不能表明变量间的因果关系。为进一步探明6个自变量与赤松更新幼树数量的因果关系,又进行了通径分析。

#### 3.2.1 6个自变量对赤松幼树数量的直接效应和间接效应

在通径分析中,通径系数(Path coefficient)将自变量对因变量的作用分为两部分,一部分是自变量对因变量的直接作用,另一部分是与该自变量有相关关系的自变量,通过该自变量对因变量的作用,称为间接作用。用 $r_{xy}$ 表示自变量对因变量的总效应, $P_{xy}$ 表示自变量对因变量的直接作用,用直接通径系数表示其直接作用的相对重要性, $\epsilon_i$ 表示自变量对因变量间接作用的总和,用间接通径系数表明间接作用的相对重要性。直接作用与间接作用之和即为总效应, $P_{xy} + \epsilon_i = r_{xy}$ 。通径系数表示自变量与因变量间因果关系的大小,是有方向的,其方向为 $X \rightarrow Y$ ,即自变量为原因,因变量为结果,作用的方向是由自变量指向因变量。6个自变量对赤松次生林天然更新幼树数量的直接作用与间接作用详见表2。

#### 3.2.2 解释

表2表明,自变量 $x_1$ 即林分郁闭度对赤松幼树数量的总效应 $r_{y1}=-0.4509$ ,它分为直接效应和间接效应两部分。直接效应是郁闭度本身对赤松幼树数量的影响,即 $P_{y1}=-0.3741$ ,占总效应的82.97%。间接效应是其它5个自变量通过郁闭度对赤松幼树数量的影响,即 $\epsilon_1=-0.0768$ ,占总效应的17.03%。在其间接效应中,植被总盖度和坡度通过郁闭度对赤松幼树数量起抑制作用,而每公顷林木株数和上层厚度通过郁闭度对增加赤松幼树数量起促进作用,以植被总盖度对赤松更新的限制作用最为重要。这表明,当林分郁闭度一定时,适当减小植被盖度,能够增加赤松幼树数量,促进赤松次生林天然更新。

植被总盖度对赤松幼树数量的总效应 $r_{y2}=-0.6191$ ,直接效应 $P_{y2}=-0.5251$ ,占总效应的82.84%,间接效应 $\epsilon_2=-0.0940$ ,占总效应的15.18%。在间接效应中,主要表现为郁闭度通过影响植被盖度而限制赤松林更新。其它因子的间接影响很小。

表2 6个自变量对赤松幼树数量的效应

Table 2 Effect of six independent variables on sapling quantities of secondary forest of *Pinus densiflora*

变量 Variable	间接效应 Indirect effect							直接效应	总效应
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	总和 Total $\epsilon_i$	$P_{yi}$	$r_{yi}$
$X_1$		-0.2335	0.0962	0.0638	-0.0121	0.0089	-0.0768	-0.3741	-0.4509
$X_2$	-0.1664		0.1148	-0.0086	-0.0054	-0.0284	-0.0940	-0.5251	-0.6191
$X_3$	0.1229	0.2057		-0.0455	-0.0090	-0.0110	0.2640	-0.2929	-0.0289
$X_4$	-0.1375	0.0260	0.0751		0.0030	0.0906	-0.0328	0.1735	0.1407
$X_5$	-0.0708	-0.0444	-0.0413	-0.0081		0.0190	-0.1456	-0.0642	-0.2098
$X_6$	-0.0034	0.1498	0.0324	0.0011	-0.0123		0.1376	0.0996	0.2372

裸岩面积百分比对赤松幼树数量总的效应很小,总效应  $r_{y3} = -0.0289$ , 因为赤松林地一般无裸岩。但直接效应和间接效应大,分别为  $P_{y3} = -0.2929$  和  $\epsilon_3 = 0.2640$ , 二者对赤松更新的作用性质相反,其直接效应是限制赤松更新,裸岩面积百分比大则更新幼树少。在间接效应中,主要表现为裸岩面积通过影响群落盖度而对赤松幼树更新起一定促进作用。

每公顷林木株数对赤松幼树数量的总效应  $r_{y4} = 0.1407$ , 直接效应是林木的下种作用,为正效应,  $P_{y4} = 0.1735$ , 大于总效应,间接效应为负效应,  $\epsilon_4 = -0.0328$ 。直接效应与间接效应性质相反。在间接效应中,最重要的因子是林分郁闭度,它与每公顷林木株数呈正相关,每公顷林木株数多则林分郁闭度大,从而对赤松幼树数量起一定限制作用。

坡度对赤松幼树数量的总效应  $r_{y5} = -0.2098$ , 直接效应  $P_{y5} = -0.0642$ , 占总效应的 31.94%, 间接效应  $\epsilon_5 = -0.1456$ , 占总效应的 68.06%。二者均对赤松更新起限制作用。坡度大,则林地上存留的种子数量少,而且坡度大则土层薄,裸岩面积百分比增大,从而抑制赤松更新。

上层厚度对赤松幼树数量的总效应  $r_{y6} = 0.2372$ , 直接效应  $P_{y6} = 0.0996$ , 占 41.99%, 间接效应  $\epsilon_6 = 0.1376$ , 占 58.01%, 间接效应稍大于直接效应,二者均为正效应。在间接效应中,灌、草层总盖度通过上层厚度对赤松更新的作用最大,其它因子对赤松更新的间接作用很小。

上述6个自变量中,郁闭度、灌、草层总盖度、裸岩面积百分比、每公顷林木株数4个因子对赤松幼树更新均以直接效应为主,坡度、上层厚度则以间接效应为主。

通径分析不仅能表明自变量与因变量之间的因果关系,而且能够揭示自变量与自变量之间的因果关系。作用方向不同,通径系数的大小甚至正负不同,如郁闭度影响灌、草层总盖度而对赤松幼树数量的通径系数为-0.2335,反过来,灌、草层总盖度通过影响郁闭度而对赤松幼树数量的通径系数为-0.1664。再如,林分郁闭度通过影响每公顷林木株数而对赤松幼树数量的通径系数为0.0638,反过来,每公顷林木株数通过影响郁闭度而对赤松幼树数量的通径系数为-0.1375。

## 4 结论

影响赤松更新幼树数量的因素很多,不同因素与赤松更新的关系不同,其作用大小和作用特点不同。林分郁闭度、植被总盖度、裸岩面积百分比、坡度4个因子均与赤松幼树数量呈负相关。每公顷林木株数、土层厚度2个因子与赤松幼树数量呈正相关。6个因子对赤松幼树数量的作用顺序为灌、草层总盖度>郁闭度>土层厚度>坡度>每公顷林木株数>裸岩面积百分比。林分郁闭度、灌、草层总盖度二者与赤松幼树数量相关最密切,是影响赤松幼树数量最重要的因子。

各个因子对赤松幼树数量的作用可分为直接作用和间接作用。不同因子其直接作用和间接作用不同。林分郁闭度、灌、草层总盖度、裸岩面积百分比、每公顷林木株数4个因子以直接作用为主,坡度、土层厚度以间接作用为主。郁闭度、灌、草层总盖度、坡度对赤松幼树数量的直接作用和间接作用均为负效应,土层厚度对赤松幼树数量的直接作用和间接作用均为正效应。每公顷林木株数对赤松幼树数量的直接作用和间接作用二者性质相反。

通径分析不仅能表明自变量与因变量的因果关系,而且还能表明不同自变量之间的因果关系,从而深刻地揭示变量之间相互作用的规律。

## 参 考 文 献

- 山东森林编辑委员会,1986:山东森林,中国林业出版社。
- 王仁卿、周光裕,1989:山东半岛赤松林的天然更新及其发展前途的研究,生态学杂志,8(2)18~22。
- 王学仁、王松桂,1990:实用多元统计分析,上海科学技术出版社。
- 阳含熙、卢泽愚,1981:植物生态学的数量分类方法,科学出版社。
- 李绍忠,1984:辽宁东部山区珍贵阔叶树种生态组的聚类分析,东北林学院学报,12(3)53~58。
- 刘继平,1986:逐步判别分析——Bayes 准则判别法,南京林业大学学报,(3)89~98。
- 吕德滋等,1995:升马唐种群生态及其田间密度调控指标的研究,植物生态学报,19(1)55~63。
- 宋永昌、周玉丽、王献溥,1985:广西常绿阔叶林的聚类分析,植物生态学与地植物学丛刊,9(1)1~20。
- 张尧庭、方开泰,1983:多元统计分析引论,科学出版社。
- 林全业,1994:赤松次生林天然更新的研究,山东农业大学学报,25(3)348~352。
- 赵志模、郭依泉,1990:群落生态学原理与方法,科学技术文献出版社。
- Li, C. C., 1975: Path Analysis, Pacific Grove, Calif. Boxwood Press. Duncan, D. D., 1975: Introduction to Structural Equation Models, New York, Academic Press.
- Simon, H. A., 1954: Spurious Correlations: A Causal Interpretation, Journal of the American Statistical Association, 49(4)467~479.
- Asher, H. E., 1976: Causal Modelling, Sage University Paper Series on Quantitative Application in the Social Science, 07~003, Beverly Hills and London; Sage Publication.
- Wright, S., 1934: The Method of Path Coefficients, Annals of Mathematical Statistics, 5, 161~215.
- Wright, S., 1968: Evolution and the Genetics of Population, 1(1)111~114, Chicago, University of Chicago Press.

**PATH ANALYSIS OF SAPLING QUANTITY  
NATURALLY REGENERATED FROM SECONDARY FOREST  
OF JAPANESE RED PINE  
(*PINUS DENSIFLORA*)**

Lin Quan-ye

(*College of Forestry, Shandong Agricultural University, Taian 271018*)

**Abstract**

The natural regeneration of the forest in Shandong peninsula was measured using a routine method from 1990 to 1994 and the original data was analyzed with method of Path Analysis using computer. The results show that the effects of crown density and the percentage vegetation cover on the sapling quantity were the largest. Both were the most important among the six factors affecting the regeneration. The forest regeneration was indirectly affected by slope and soil thickness, which represent topography and soil fertility of the forest, to a smaller extent as compared to the two factors mentioned above. The forest tree density was not significantly related to the sapling quantity and influenced the regeneration to a small extent. Bare rock percentage had little importance in multiplication of saplings because there were not many bare rocks in the forests, in general. Path Analysis could uncover the causality in interaction among variables, thus more could reveal the further relationship among variables.

**Key words** Secondary forest of Japanese red pine, Natural regeneration, Sapling quantity, Path Analysis