

南京近郊不同质地黄棕壤水分动态 及其与杉木生长的关系

成恒嵩 高长炽 王晓明

(江苏省林业科学研究所)

土壤水作为一个肥力因素,与林业生产有着密切的关系,许多国家的土壤学者都把它作为评价森林土壤生产力的关键因素之一^[6]。Zahner 对于水分张力与林木生长曾作过详述^[7];而对于土壤有效水与杉木生长的关系,我国也曾有过报道^[3]。为了进一步研究不同质地土壤的水分动态,近年来我们在南京近郊东善桥吉山附近本所幼龄杉木试验林,选择不同土壤质地的标准地,进行土壤含水量和杉木生长量的定位观察研究,以探索不同质地土壤水分动态与杉木生长的关系。现将试验结果叙述如下。

一、试验地概况和观察研究方法

试验地位于丘陵坡地上,海拔高约50—80米,坡向东南,坡度8—10°,面积50余亩。丘岗上部为长石砂岩残积、坡积物发育的为普通黄棕壤,下部毗连的一级阶地,为下蜀黄土母质发育的黄土性黄棕壤。前者质地偏砂,后者粘重。由于母质性质不同,以及由于坡地上侵蚀和堆积作用的影响,试验地内土壤质地的变异较大,从砂壤土到中粘土都有,很有利于布置试验。该地在1974年春用1年生实生苗营造了杉木试验林,株行距2.0×1.5米。为了便于观测研究不同质地土壤水分变化情况,在林地土壤质地不同的地段上,即按卡庆斯基分类制划分的砂壤土、轻壤土、中壤土、重壤土、轻粘土及中粘土等六种情况,分别设立标准地(表1),进行定位观测。测定深度分0—20和20—50厘米两层,每月取样观测1—2次,从1977年3月至1978年10月共观测27次。每块标准地每次测定重复取样2—4次,水分含量用烘干法测定,按平均值计算。同时,在钻孔周围,于杉木生长期(4—10月),测定15—20株杉木树高和地径生长量,取其平均值作为各标准地的生长指标。从表1可见,各标准地除土壤质地不同外,其他物理性质也有较大差别。下蜀黄土发育的土壤中,容重随质地变粘而显著增大,非毛管孔隙则相应地减少,这种情况说明试验地的黄土性黄棕壤的紧实度较大,并且随着质地变粘而趋于极紧实,呈现粘盘的特征。各标准地除土壤物理性质不同外,土壤的化学性质都较接近(表2)。土层厚度均在1米左右,土壤水分变化不受地下水位影响。此外,自造林后至观察期内,连年间种苕子和黄豆,在花期有部分掩埋作肥料,而其他管理措施基本一致。

表 1 土壤物理性质
Table 1 Physical properties of soils used in experiment

标准地 编号 Plot No.	深度 (cm) Depth	各级颗粒 (mm) 含量(%) Distribution of particle size							质地名称 Texture	真比重 (g/cm ³) Specific gravity	容重 (g/cm ³) Volume Weight	孔隙性(体积%) Porosity (volume %)			
		1—0.25		0.05—0.01		0.005—0.001		<0.001				总孔隙 Total	毛管孔隙 Capillary pore	非毛管孔隙 Non-capillary pore	
		1—0.25	0.05—0.01	0.05—0.01	0.005—0.001	0.005—0.001	<0.001								
吉 3-1	0—33	13.0	39.8	27.7	7.5	9.0	3.0	19.5	砂壤土 Sandy loam	2.64	1.27	51.90	28.21	23.69	
	34—97	16.5	42.0	23.5	6.0	6.5	5.5	18.0							同上
吉 3-2	0—28	14.5	34.5	24.5	12.5	11.0	3.0	26.5	轻壤土 Light loam	2.62	1.12	57.26	30.20	27.06	
	29—103	8.0	42.8	28.0	8.7	9.5	3.0	21.2							同上
吉 3-3	0—25	3.1	12.6	48.0	11.0	10.4	14.9	36.3	中壤土 Moderate loam	2.67	1.22	54.31	33.61	20.70	
	26—89	2.0	13.0	43.0	10.0	10.0	22.0	42.0							同上
吉 1-4	0—43	1.5	11.5	34.0	9.0	9.0	35.0	53.0	重壤土 Heavy loam	2.63	1.38	47.53	34.62	12.01	
	44—106	2.5	10.5	34.0	10.0	8.0	35.0	53.0							同上
吉 5-5	0—38	1.5	7.5	28.9	10.5	12.6	39.0	62.1	轻粘土 Light clay	2.58	1.40	45.74	35.48	10.26	
	39—95	0.5	7.3	29.9	11.5	10.2	40.6	62.3							同上
吉 5-6	0—40	0.8	8.2	14.6	8.5	11.5	56.4	76.4	中粘土 Moderate clay	2.51	1.53	39.05	35.26	3.19	
	41—112	1.6	6.7	13.5	9.7	13.4	55.1	78.2							同上

注: 质地用比重计法, 真比重用比重瓶法, 容重用环刀法, 总孔隙度用容重和比重计算, 毛管孔隙用环刀法, 非毛管孔隙用总孔隙减毛管孔隙。
Note: Mechanical analysis was determined by hydrometer method; specific gravity, by picnometer method; volume weight, by sampling cylinder method.

表 2 土壤化学性质
Table 2 Chemical properties of soils used in experiment

标准地编号 Plot No.	深度 (cm) Depth	pH (H ₂ O)	有机质 (%) O. M.	全氮 (%) Total N	铵态氮 (mg/100g土) NH ₄ -N	全磷 (%) Total P ₂ O ₅	速效磷 (ppm) Available P	速效钾 (ppm) Available K	盐基代换量 (meq/100g土) Base exchange capacity
吉 3-1	0-33	6.31	1.27	0.062	0.38	0.067	4.89	36	6.29
	34-97	6.21	1.11	0.036	0.33	0.051	3.21	35	7.31
	97 以下	6.70	—	—	—	0.033	—	31	—
吉 3-2	0-28	6.45	1.32	0.066	0.41	0.069	5.20	39	8.31
	29-103	6.45	1.27	0.061	0.37	0.048	4.44	42	6.22
	103 以下	6.37	—	—	—	0.037	—	33	—
吉 3-3	0-25	6.12	1.30	0.058	0.36	0.073	5.25	48	7.15
	26-89	6.28	0.95	0.039	0.35	0.057	5.37	42	7.32
	89 以下	6.33	—	—	—	0.052	—	44	—
吉 1-4	0-43	6.84	1.22	0.064	0.39	0.071	5.15	41	8.20
	44-106	6.65	1.03	0.057	0.41	0.024	5.23	32	6.72
	106 以下	6.80	—	—	—	0.019	—	47	—
吉 5-5	0-38	6.76	1.25	0.062	0.40	0.068	5.00	38	7.90
	39-95	6.79	0.94	0.033	0.38	0.070	5.42	43	6.65
	95 以下	6.82	—	—	—	0.025	—	47	—
吉 5-6	0-40	6.22	1.31	0.071	0.37	0.073	5.13	46	6.93
	41-112	6.39	0.87	0.023	0.41	0.052	3.60	37	5.72
	112 以下	7.15	—	—	—	0.047	—	32	—

注: pH 用玻璃电极法(水土比 5:1); 有机质用丘林法, 全磷用酸溶比色法, 铵态氮用纳氏试剂比色法, 速效磷用钼蓝比色法(水土比 5:1) 速效钾用火焰光度法, 盐基代换量用醋酸铵淋洗法。

二、土壤水分动态类型

土壤水分动态与大气降水量及蒸发量有密切的关系, 同时不同质地的水分动态是有区别的。根据邻近的江宁县东山镇气象站资料和各标准地含水量(重量%)平均值作出降水和蒸发季节动态图(图 1), 6 个不同质地的土壤水分动态图以及相应的杉木生长曲线图(图 2)(后者将在下节论述)。测定含水量时, 标准地 1, 2, 3 号重复 2 次, 4, 5 号重复 3 次, 6 号重复 4 次。从水分动态图(图 2)可见: (1) 土壤水分动态大体可分为两个类型, 即 I. 轻质土类型(砂壤、轻壤、中壤); II. 重质土类型(重壤、轻粘、中粘)。前者在冬春表土与底土含水量差异较少, 后者差异较大, 即后者底土保持水分较多, 而表土干得较厉害。(2) 在观察期内, 1977 年的降水量为 1,168.1 毫米, 1978 年为 479.8 毫米, 两者相差 2.5 倍。蒸发量则相反, 两年分别为 1,458.6 毫米和 1,970.8 毫米, 相差 1.4 倍。轻质土类型在正常年份与早年的含水量变幅(极差)小, 而重质土类型比前者大一倍。(3) 在各标准地的土壤水分动态类型中, 一般都是表土含水量低于底土, 但夏季有时有例外的情况。

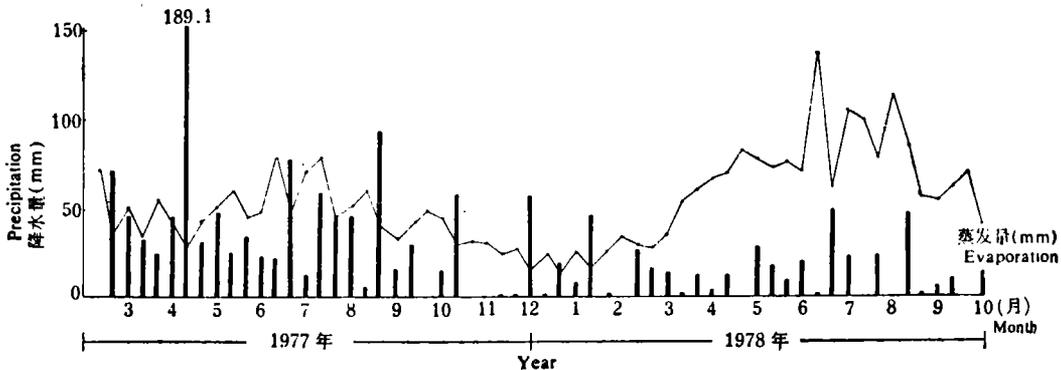


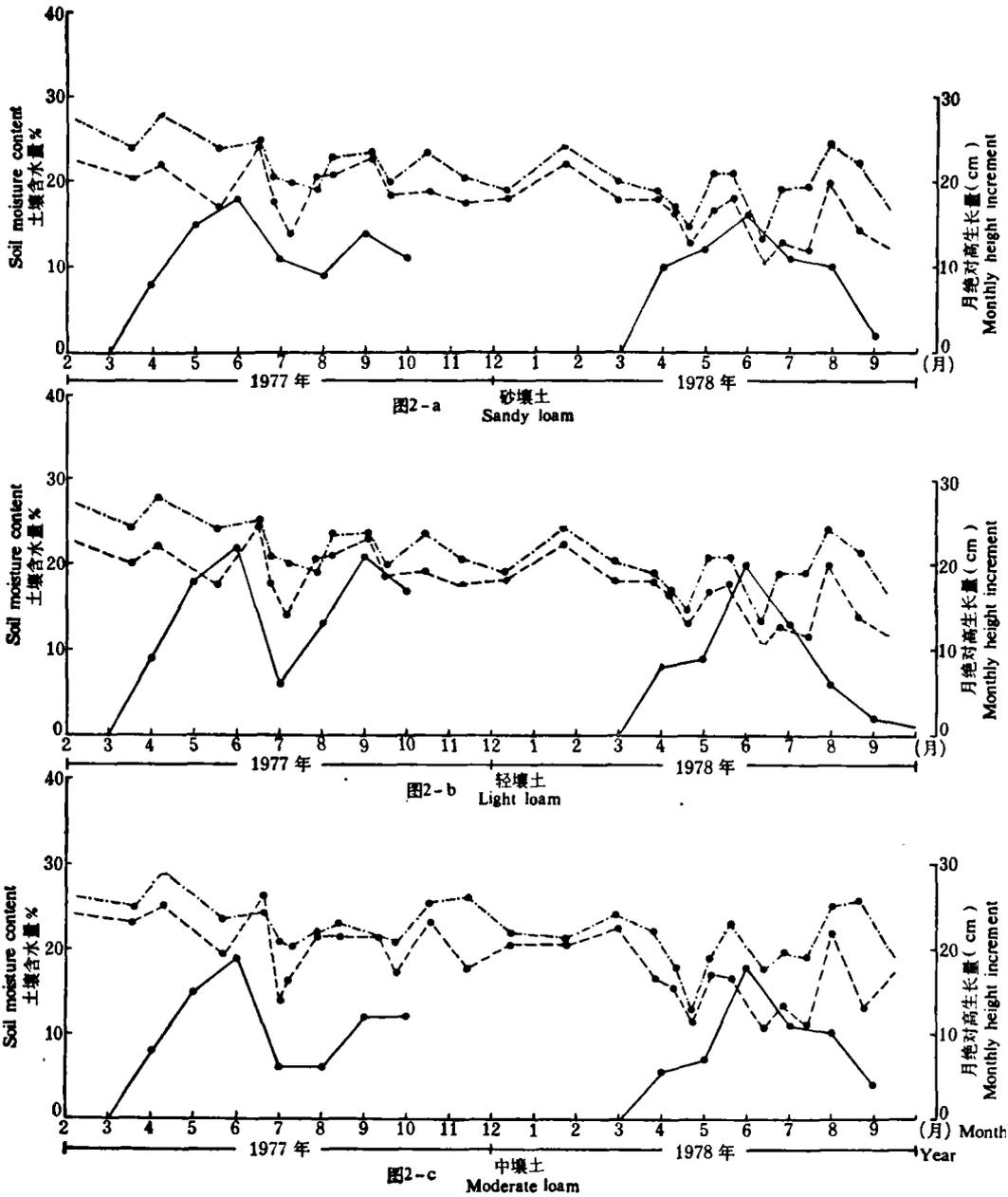
图 1 南京近郊降水量和蒸发量的动态曲线图

Fig. 1 Dynamic curves of monthly precipitation and evaporation in the suburb of Nanjing

试验地不同质地的土壤水分动态类型的划分, 可用聚类分析方法进一步验证^[4]。我们使用的计算方法是设 6 块不同土壤质地的标准地为 6 个样本 ($x_i, i = 1, 2, \dots, 6$), 以各标准地两年内两层土壤含水量(以小数表示)的数据集(每块标准地共有 54 个数据)为分类指标。先用下式求出各标准地两两之间水分动态数据集的 L_2 距离(即欧氏距离):

$$L_2 = d_{ij(2)} = \sqrt{\sum_{k=1}^{54} (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

令表 1 中 6 块标准地的编号从上到下顺次为 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$, 根据上式可算出各标准地两两之间的欧氏距离阵如表 3 所示。然后用最短距离法进行系统聚类, 结果得出土壤水分季节动态类型的枝状聚类图(图 3)。由此可见, 6 个标准地按其土壤水分季节动态类型而言, 以分为两大类型最合适: 即砂壤土、轻壤土、中壤土的水分动态为一个类型, 重壤土、轻粘土、中粘土的水分动态为另一个类型。定量计算结果进一步证明根据曲线图象的初步归类是正确的。



--- 0—20 厘米

Soil moisture content in

--- 20—50 厘米

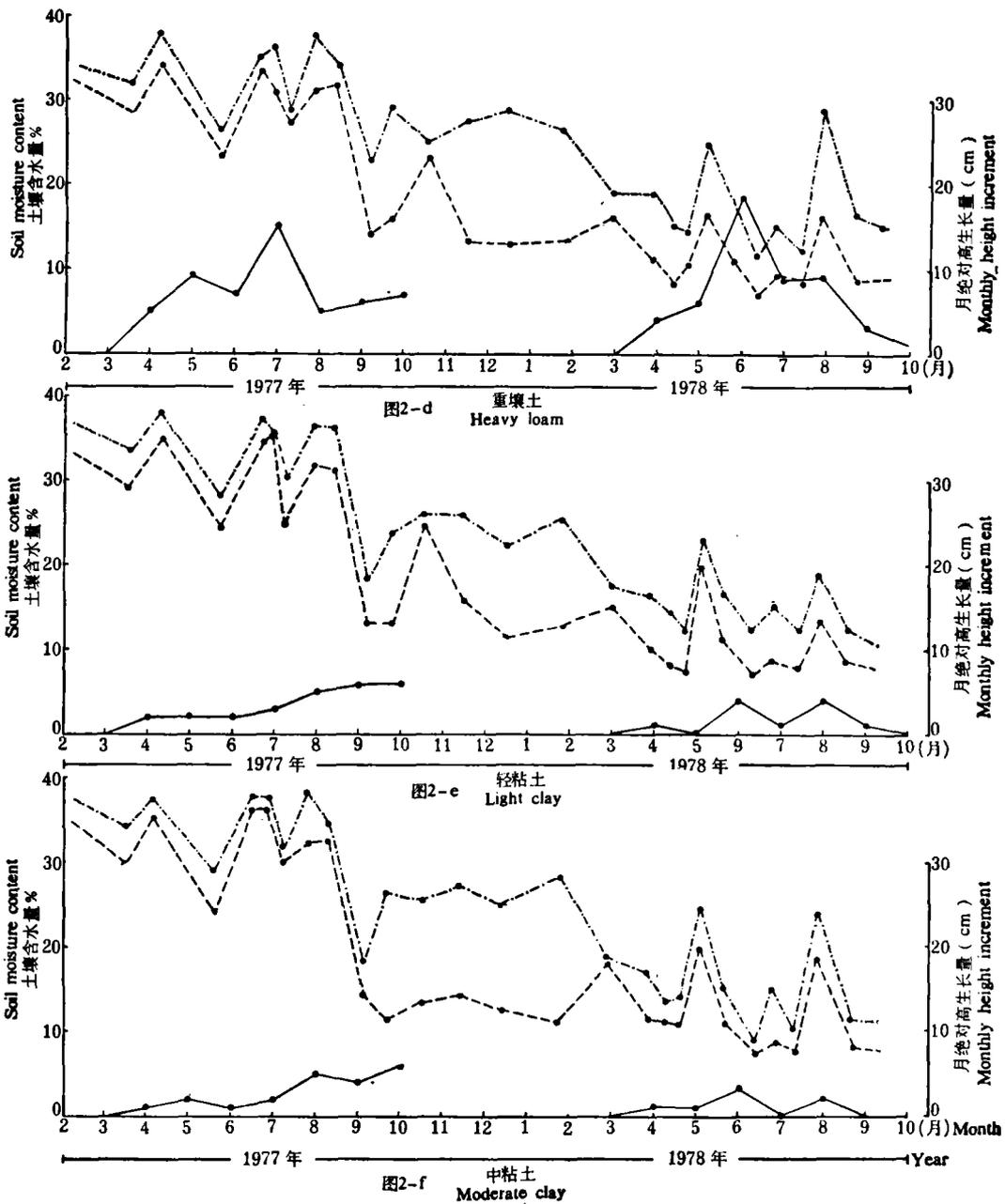
Soil moisture content in

— 月绝对高

Monthly height

图 2 不同质地标准地上土壤水

Fig. 2 Seasonal variation of soil Chinese fir in permanent plots



土层的含水量
the layer of 0—20 cm
米土层的含水量
the layer of 20—50 cm
生长量 (cm)
increment (cm)
分季节动态和杉木生长的曲线图
moisture and growth curve of
with different soil textures

表 3 不同质地标准地土壤水分动态类型的欧氏距离阵

Table 3 Euclidean distance matrix of types of moisture regime of soils with different textures

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0					
x_2	0.1327	0				
x_3	0.2017	0.1812	0			
x_4	0.5324	0.5381	0.5326	0		
x_5	0.5820	0.5850	0.5944	0.1971	0	
x_6	0.6311	0.7535	0.6480	0.2161	0.2199	0

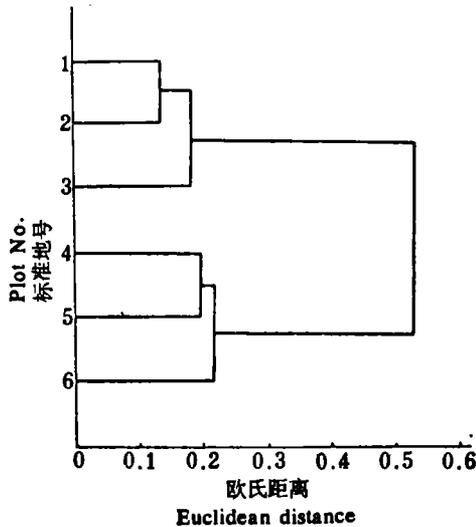


图 3 不同质地的标准地土壤水分季节动态的枝状聚类图 (欧氏距离和最短距离法)

Fig. 3 Dendrogram of dynamic types of moisture in soils with various textures

三、土壤水分动态与杉木生长的关系

各标准地杉木生长情况以树高生长量表示,并以每月绝对高生长量作曲线图(见图 2),与相应的土壤水分动态曲线相比较,研究土壤水分动态与杉木生长的关系。从图 2 可看出:轻质土类型的含水量高峰与生长高峰有较为一致的趋势,一般生长量的高峰约滞后于土壤含水量高峰半个月至 1 个月左右。正常年份有两个生长高峰(6 月、9 月),早年只有夏季一个高峰,秋梢生长不明显;重质土类型则没有这样的明显一致趋势。将 6 个标准地两层土壤的含水量(重量%),换算为 50 厘米土层的贮水量(毫米),并用实测日期的数据设为 x_i ,然后根据生长量累积曲线推算出每次观测期后 1 个月的每日高生长量平均值(毫米),设为 y_i ,则各标准地在观测期内可列出 16 对 x_i, y_i 值。通过相关计算,可求出不同质地土壤水分动态与杉木生长关系的相关系数。计算结果,轻质土类型中对于砂壤土、轻壤土、中壤土分别为 $r_1 = 0.609$, $r_2 = 0.528$, $r_3 = 0.476$;重质土类型中对于重壤土、

轻粘土、中粘土分别为 $r_4 = -0.162$, $r_5 = 0.242$, $r_6 = 0.391$ 。经过检验(自由度 $n = 16 - 2 = 14$ 时, $r_{0.10} = 0.426$, $r_{0.05} = 0.497$, $r_{0.01} = 0.623$), 可知前者相关较显著, 后者相关不明显。这说明轻质土类型的水分状况, 在全年各个季节都是影响杉木生长的关键因子; 重质土类型则不是, 可能是另外的问题, 即土壤紧实以致妨碍通气和扎根的问题是主要矛盾(见表 1, 4), 而土壤水并不是在整年中经常起主导作用。此外, 还可以看出土壤质地与杉木生长有明显的关系, 质地愈粘重, 生长愈差。根据 1977—1978 年两年树高总生长量的测定, 6 个标准地分别为 146, 165, 135, 102, 37, 28 厘米, 差异很大。因为轻质土供水性能较好, 在极干旱年份(1978 年)土壤水仍保持在凋萎系数之上(0—20 厘米凋萎系数分别为 6.81%, 7.86%, 7.97%), 有利于杉木生长; 重质土供水能力较差, 在极旱的年份, 轻粘土上 7 月份杉木生长基本处于停滞状态, 中粘土上则完全停止。特别是在极干的 7 月 11 日, 重质土类型中三种质地的土壤在 0—20 厘米处的含水量分别为 7.82%, 7.47%, 7.07%, 都已低于它们的凋萎系数(即 8.85%, 9.32%, 9.51%), 部分杉木幼树出现有临时萎蔫的现象, 在中粘土上还有 10% 植株枯死。这又说明在临界时期土壤水对重质土上杉木生长仍起制约作用。

杉木主根不发达, 根系穿透能力差, 怕旱、怕涝, 喜湿润, 对水分和通气条件都要求较高^[2]。轻质土疏松、通气, 有利于根系生长; 重质土粘重、紧实, 不利于根系的发展(表 4)。因此, 黄棕壤地带在轻质土类型上杉木生长较好, 其生长状况与土壤水分状况关系较密切; 重质土类型上杉木生长较差, 其生长状况与土壤水分季节动态没有明显的相关性, 只是在极干旱时受土壤水分的制约。

表 4 土壤质地与杉木根系生长

Table 4 Relationship between soil texture and root growth of Chinese fir

质地 Texture	砂壤土 Sandy loam	轻壤土 Light loam	中壤土 Moderate Loam	重壤土 Heavy loam	轻粘土 Light clay	中粘土 Moderate clay
水平根幅 (cm) Horizontal range of root	101	110	90	62	54	42
垂直根深 (cm) Vertical range of root	54	60	64	51	43	35
侧根数 Number of lateral roots	16	13	7	11	6	6

注: 表中数据系标准地内平均木, 1977 年。

Note: The figures in the table represent the average of samplertrees in each plot measured in 1977.

四、用气象资料预报土壤水分动态的可能性

我们根据土壤水分的各个观测期 50 厘米土层内的贮水量(毫米), 以及各该观测期前

表5 回归方差分析和标准回归系数

Table 5 Variance analysis and standard coefficient of regression

标准地编号 Plot No.	回归方程式 Regression equation	估计精度% (可靠在95%时) Estimated precision (%, p 0.05)	变异来源 Variant cause	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	方差 Variance	F	标准回归系数 Standard coefficient of regression
吉 3-1	$\hat{y} = 133.4 + 0.1600x_1 - 0.1406x_2$	70.06	回归	0.468	2	0.234	7.548**	$b_1 = 0.3934^*$ $b_2 = 0.4480^*$
			剩余	0.747	24	0.031		
			总计	1.215	26			
吉 3-2	$\hat{y} = 126.2 + 0.1692x_1 - 0.1356x_2$	73.38	同上	0.474	2	0.236	10.680**	$b_1 = 0.4562^*$ $b_2 = 0.4737^*$
				0.536	24	0.022		
				1.010	26			
吉 3-3	$\hat{y} = 142.4 + 0.1545x_1 - 0.1528x_2$	71.69	同上	0.501	2	0.251	8.081**	$b_1 = 0.3756$ $b_2 = 0.4813^{**}$
				0.742	24	0.231		
				1.243	26			
吉 1-4	$\hat{y} = 150.9 + 0.6927x_1 - 0.3064x_2$	48.67	同上	5.020	2	2.510	22.056**	$b_1 = 0.6500^{**}$ $b_2 = 0.3726$
				3.316	24	0.138		
				8.336	26			
吉 5-5	$\hat{y} = 155.7 + 0.8147x_1 - 0.3381x_2$	40.33	同上	6.723	2	3.362	16.161**	$b_1 = 0.6450^{**}$ $b_2 = 0.3468$
				4.989	24	0.208		
				11.712	26			
吉 5-6	$\hat{y} = 173.5 + 0.9042x_1 - 0.3903x_2$	35.08	同上	8.444	2	4.222	14.215**	$b_1 = 0.6211^{**}$ $b_2 = 0.3474$
				7.117	24	0.297		
				15.561	26			

注: 1. * 表示显著 ($p = 0.05$); ** 表示很显著 ($p = 0.01$)。

2. b_1 表示贮水量与降水量; b_2 表示贮水量与蒸发量。

Note: 1. * $p = 0.05$ significant; ** $p = 0.01$ very significant.

2. b_1 , water storage versus precipitation; b_2 , water storage versus evaporation.

一个月降水量(毫米)和蒸发量(毫米)(见图1和图2)等资料,设贮水量为 y ,降水量为 x_1 ,蒸发量为 x_2 ,各标准地相对应有27列数据代表27个观测期。根据公式 $y = a + b_1x_1 + b_2x_2$ 进行二元回归分析^[5],结果列于表5,从中可以看出:6个不同土壤质地的标准地通过回归计算所求得的6个回归方程式,根据自由度为2和24查表5得出 $F_{0.01} = 5.61$,实际计算出来的 F 值均大于此值,说明回归关系显著,因此应用降水量和蒸发量来预报土壤含水量动态是有可能的。但是进一步从回归方程精度计算结果看来,在轻质土类型中的砂壤土、轻壤土、中壤土上的精度较高,分别为70.06%、73.38%、71.69%,都大于70%,从而表明用上述气象资料可以作为预报一个月后土壤水分状况,或者估测土壤水分季节动态的依据;而在重质土类型的重壤中、轻粘土、中粘土上精度较低,分别为48.67%、40.33%、35.08%,均低于50%,表明上述气象资料不能作为相应预报或估测的依据。

通过标准回归系数 b_1 和 b_2 的计算,可以看出,轻质土类型的降水量和蒸发量对预报土壤水分状况或动态所起的作用基本相同,而重质土类型的降水量比蒸发量对预报所起的作用大,可能是因为重质土在冬春蒸发量较低的条件下表土失水远较底土强烈的情况有关(见图2)。这种现象与前人根据土柱试验作出的结果显著不同^[4,6]结合表1和图2的资料看来,可能与轻质土类型在冬季时有汽态水上行有关,但因资料不足目前尚未能进一步作出解释。

五、结 语

土壤质地与所发育的土壤母质有关,而不同质地的黄棕壤水分季节动态是不同的。通过动态曲线比较和聚类分析,其水分动态类型可分为轻质土和重质土两大类型。轻质土的水分变化平缓,供水性能好,有利于杉木生长;重质土的水分变化剧烈,供水性能差,不利于杉木的生长。通过相关分析表明,轻质土的水分变化是影响杉木生长的关键因子,在重质土则看不出这种关系,而可能主要是土壤紧实以至妨碍通气和扎根问题。根据多元回归分析利用气象资料预报一个月后土壤的水分状况或估测水分季节动态的尝试是成功的,但轻质土类型预报精度较高,可以作为预报或估测的依据,重质土类型预报精度较低,不能作为预报或估测的依据,这样就能够预先掌握土壤墒情,或者不经过土壤水分测定而掌握季节动态,为及时采取排灌或其他抚育管理措施提供一定的可能性。

参 考 文 献

- [1] 方开泰, 1978: 聚类分析 [1], 数学的实践与认识, 1期, 66—80页。
- [2] 中国树木志编委会, 1978: 中国主要树种造林技术, 2—28页, 农业出版社。
- [3] 李昌华、庄季屏、陈彦雄, 1962: 湖南会同、江华林区和贵州省锦屏林区的土壤条件及其与杉木生长发育的关系。土壤学报, 第10卷2期, 161—174页。
- [4] 袁剑舫、周月华, 1964: 水分运行与土壤质地的关系。土壤学报, 第12卷12期 143—154页。
- [5] 数学研究所数理统计组, 1975: 回归分析方法。科学出版社。
- [6] Spurr, S. H., Barnes, B. V., 1973: Forest ecology, (second edi.) Ronald press Co. New York, 215—219.
- [7] Zahner, R. 1969: Water deficits and growth of trees. In T. T. Kozlowski: Water Deficits and Plant Growth II, Academia press, Inc., New York.
- [8] Роде, А. А., 1957: Развитие учения о почвенной влаге в СССР. Почвоведение, № 10, 1—16.

SOIL MOISTURE REGIME OF YELLOW-BROWN EARTHS OF VARIOUS TEXTURES AND THEIR RELATION TO THE GROWTH OF CHINESE FIR IN THE SUBURBS OF NANJING

Cheng Heng-song, Gao Chang-chi and Wang Xiao-ming

(*Institute of Forestry of Jiangsu Province*)

Summary

This paper deals with the water regime of yellow-brown earths of various textures under Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) stands and its growth.

Experimental data for two years were treated with multivariate analysis methods. The curve of seasonal variation and the results of cluster analysis of moisture regime in soils with various textures showed that in spite of existence of six texture grades of the soils used in the experiment, there were only two types of soil water regime, i.e. the type of the soil with light texture and that of the soil with heavy texture. The results of correlation analysis showed that the seasonal variation of soil moisture of the light texture type was closely related with tree growth; on the contrary, that of the heavy texture type did not present such correlation with an exception of severe drought condition. The results of multiple regression analysis has demonstrated that in soils of light texture type, one can predict the soil water regime of a month after according to the data of precipitation and evaporation on hand; but this method can not be applied to the soils of heavy texture type.

Besides, marked distinction was found between the data of soil moisture regime determined in situ and these obtained from soil column in laboratory investigation by precedent authors.