

# 苏北淤泥质海岸防护林土壤水分的研究\*

胡海波 陈金林

梁珍海

(南京林业大学森林与环境资源学院 南京 210037) (江苏省林业科学研究院 南京 211153)

**摘要** 试验研究淤泥质海岸防护林土壤含水量的变化规律、季节动态和影响因子结果表明,土壤含水量有明显的季节变化规律并受林分影响,春季土壤含水量林地大于农田,且有随林龄增长而土壤含水量增加的趋势。林木根系对土壤含水量影响较大,林龄越大其影响层次越深。不同季节间土壤含水量存在显著差异,随土壤深度增加其差异减小。运用逐步回归( $\alpha=0.05$ )方法,建立土壤含水量( $y$ )及其影响因子( $X_4$  为水稳性团粒含量,  $X_9$  为测土壤水前15d的降水量,  $X_{10}$  为水面蒸发量)线性方程为  $y = 486.709 + 2.061X_4 + 1.786X_9 - 4.451X_{10}$ ,  $R = 0.830$ 。

**关键词** 淤泥质海岸 防护林 土壤含水量

**Study on soil moisture content of protective forest in silting coastal area of Jiangsu Province.** HU Hai-Bo, CHEN Jin-Lin (College of Forest and Environment Resources, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037), LIANG Zhen-Hai (Institute of Jiangsu Forestry Science, Nanjing 211153), *CJEA*, 2002, 10(4): 24~27

**Abstract** The paper has studied the variation, seasonal dynamics, and affecting factors of soil moisture content in silting coastal area of Jiangsu Province. The results show that soil moisture content has obvious seasonal variation, which is influenced by stand. In spring, the water content of forest land is higher than that of farmland, which is more obvious with the forest age increasing. There is a great effect of tree roots on soil moisture content, the older the age is, the deeper the effect is. Soil moisture content in different seasons has significant difference, from the top soil to the bottom, the difference decreases. Applying stepwise regression (the fiducial degree is 0.05), the equation of soil moisture content ( $y$ ) can be expressed:  $y = 486.709 + 2.061X_4 + 1.786X_9 - 4.451X_{10}$  ( $R = 0.830$ ,  $X_4$ : content of waterstable granule,  $X_9$ : rain fall before 15d,  $X_{10}$ : evaporation from water surface).

**Key words** Silting coast, Protective forest, Soil moisture content

在当今世界环境与发展的矛盾日益突出之际,开发和利用海洋资源成为人类扩大生存空间的必然选择。淤泥质海岸地势平坦,是我国面积最大、最具开发潜力的海岸类型,受其地下水位和土壤含盐量高所限,制约了农林业生产的发展。为此,本试验研究揭示了苏北淤泥质海岸防护林土壤水分动态变化规律,为沿海防护林体系建设提供科学依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

研究区域为江苏省射阳林场,该区属典型的平原淤泥质海岸,滩面平坦、广阔,坡比 $<1\%$ ,土壤质地均匀,地下水位较高,建场前这里是一片荒滩,主要植被有茅草、獐毛草、大穗结缕草等,有些地方为光板地或以盐蒿、“中华补血草”等占优势的盐生植被群落,土壤含盐量高达6%以上;修筑海堤后于1958年建场,场内沟、渠、路配套,排灌系统完善,林木长势良好,主要树种有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、竹林(*Phyllostachys bambusoides*, *Ph. makinoi*, *Ph. nigra* var. *henonis*)、泡桐(*Paulownia fortunei*)、意杨(*Populus deltoides* Bartr. cv. *Lux*)等。该区属海洋性季风气候,年均气温 $14.5^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 $1020\text{mm}$ (6~9月占全年降水量的60%以上),年蒸发量 $1408.5\text{mm}$ ,年无霜期219d,雨热同季,对林木生长十分有利,土壤为粉沙土,已基本脱盐, $0.05\sim 0.001\text{mm}$ 粉沙粒占65.5%~80.6%, $>0.05\text{mm}$ 沙粒仅占5.7%~11.3%,自然土壤结构差, $>0.25\text{mm}$ 的水稳性团粒一般 $<2\%$ 。灾害性天气主要有台风、暴雨和寒潮等<sup>[1~3]</sup>。在林场内选择9块典型样地(见表1),即刺槐幼龄林、中龄林和成熟林、水杉幼龄林、中龄林和成熟林、竹林、光板地、农田,1996~1998年连续3年对土壤水分进行动态观测,分别于4月下旬、6月中旬、

\* 国家科技攻关项目(85-09-03-06)部分研究内容

收稿日期:2001-11-26 改回日期:2001-12-30

9月上旬、10月上旬、11月上旬在每个样地内随机挖3个剖面,分0~10cm、10~20cm、20~40cm、40~60cm、60~100cm 5个土层取样,用烘干法测定土壤含水量。鉴于测定期间该区年降水规律类似,故取各时期土壤含水量的平均值进行分析,在春季测定土壤含水量的同时,取土样测定土壤质地、结构、容重、孔隙度、有机质含量、盐分含量、pH等因子<sup>[4]</sup>,并记载林分状况如年龄、郁闭度、生长状况等。

表 1 各典型样地基本状况

Tab.1 General situation of every plot

项 目 Items	淡竹林	水杉林 Water fir			刺槐林 Black locust			农 田 Farmland	光板地 Bare beach
	Glaucoous bamboo	幼林 Young	中林 Half-mature	成林 Mature	幼林 Young	中林 Half-mature	成林 Mature		
林 龄 / a	15.00	4.00	11.00	26.00	6.00	10.00	20.00		
郁 闭 度	0.90	-	0.50	0.35	0.40	0.90	0.65		
胸 径 / cm	2.20	5.00	8.90	16.80	7.70	13.60	23.10		
平均株高 / m	4.60	2.80	8.60	10.60	6.50	8.30	15.10		
容 重 / g·cm <sup>-3</sup>	1.29	1.18	1.33	1.21	1.15	1.38	1.27	1.36	1.42
总孔隙度 / %	51.54	55.42	49.70	54.46	56.47	47.07	53.27	48.88	46.35
团粒含量 * / %	37.28	13.66	15.02	23.12	17.60	22.04	32.64	16.30	2.36
有机质 / g·kg <sup>-1</sup>	21.45	18.70	16.30	17.20	26.00	22.20	27.80	22.60	10.20
全 N / g·kg <sup>-1</sup>	0.76	0.77	0.49	0.61	0.83	0.70	0.83	0.65	0.22
速效磷 / mg·kg <sup>-1</sup>	2.76	1.34	2.11	0.75	1.27	1.43	2.36	4.64	3.66
pH 值	7.85	7.95	8.10	7.92	7.90	8.15	7.75	8.15	8.35
抚 育 管 理	定期覆土	间 种	林下有紫穗槐	间伐 2 次	间 种	取土壤根	间伐 1 次	豆麦旱作	偶有益蒿生长

\* 团粒≥0.25mm。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同时期土壤含水量

春季雨水较少,土壤含水量稳定,对各典型样地土壤水分进行动态观测可知不同树种、年龄的林分对土壤水分的影响(见表2),所有林分的0~10cm、10~20cm和20~40cm土层内土壤含水量均大于农田,

表 2 各典型样地春季土壤含水量\*

Tab.2 Soil moisture content of every plot in April

土层/cm Soil	淡竹林	土壤含水量/g·kg <sup>-1</sup> Soil water content						农 田 Farmland	光板地 Bare beach	平均值 Average value	标准差 Standard deviation
	Glaucoous bamboo	水杉林 Water fir			刺槐林 Black locust						
		幼林 Young	中林 Half-mature	成林 Mature	幼林 Young	中林 Half-mature	成林 Mature				
0~10	368.8	277.6	335.6	372.8	293.4	305.6	368.4	234.8	371.8	325.4	47.3
10~20	364.4	343.4	327.8	400.4	317.6	338.8	386.0	248.2	386.6	342.6	45.0
20~40	341.7	289.7	320.8	337.3	307.4	275.5	362.2	269.8	349.0	317.0	31.4
40~60	329.4	296.5	305.1	339.0	319.4	339.6	282.9	320.0	332.8	318.3	18.6
60~100	386.2	326.0	356.0	369.9	331.0	365.7	377.7	316.8	350.8	357.0	23.0
平均值	358.2	306.6	329.1	362.7	313.8	325.0	355.4	277.9	358.2		
标准差	20.2	17.3	16.8	23.4	12.6	31.3	32.7	34.9	18.9		

\* 土壤含水量是重量比,为各年同期的平均值。

0~10cm 土层内淡竹林、刺槐成林土壤含水量分别为 368.8g/kg、368.4g/kg,而农田仅为 234.8g/kg,远小于林地,且在0~10cm、10~20cm 土层内土壤含水量随林木年龄的增长而呈增长趋势,水杉幼、中、成林各层土壤含水量平均值分别为 306.6g/kg、329.1g/kg 和 362.7g/kg,刺槐同此,其规律性非常明显,这是因为林分年龄大、郁闭度高,改土功能强,土壤含水量亦有所提高,且从第3层开始这种规律性减弱,这与土层中所分布的林木根系活动有关。从0~100cm 土层平均值来看,农田土壤含水量小于林地和光板地,且林分中年龄越大则土壤含水量越高。初夏降水量虽较大,但蒸发量远大于降水量(蒸发量是降水量的1.5倍左右),且气温高,蒸发、蒸腾强烈,土壤含水量为全年最低。刺槐幼、中龄林与农田、光板地0~10cm 表层土壤含水量相近,为100g/kg左右;而竹林、刺槐、水杉成林郁闭度大、表土结构性好,土壤含水量亦高,淡竹林高达175.1g/kg。农田、光板地10~20cm 土层内土壤含水量升至153.1g/kg和181.5g/kg,分别比表层高54.33%和126.31%,这是表土结构性差的缘故;在林分中由于根系的吸收作用,幼、中林土壤含水量第2层略高,成林和竹林含水量第2层反比第1层低,表现出与农田、光板地相反规律。竹林和水杉、刺槐成林因林冠遮荫和根系的吸水作用,表层土壤含水量大于第2、3层甚至第4层,这与春季变化规律有所不同。秋季土壤含水量与初夏的变化规律相似,此外0~10cm 和10~20cm 土层土壤含水量林地大于农田,其余各层幼、中龄林

与农田相近,但成林、竹林均大于农田( $\alpha = 0.05$  条件下  $T$  检验),滩地土壤含盐量高(7.0~11.83g/kg)、地下水位较高,其土壤含水量也较高。10 月份降水量仅为 50mm 左右,蒸发强烈,土壤含水量逐渐减小,与 9 月份相比,10 月份表层土壤含水量下降 29.41%,而第 2~4 层则分别下降 20.99%、12.25%、4.66%,说明土层深度增加其土壤含水量趋于稳定;而第 5 层比第 4 层多 8.28%,其原因可能是第 5 层土壤仍处在毛细管上升范围内,而 10 月份地下水位下降,因而土壤含水量降幅较大,11 月份土壤含水量进一步下降,其变化规律基本与春季相同。

2.2 土壤含水量的季节变化

由图 1 可知,林地表层土壤含水量一般大于农田,尤其在春季和秋季,随季节变化,土壤含水量变化较

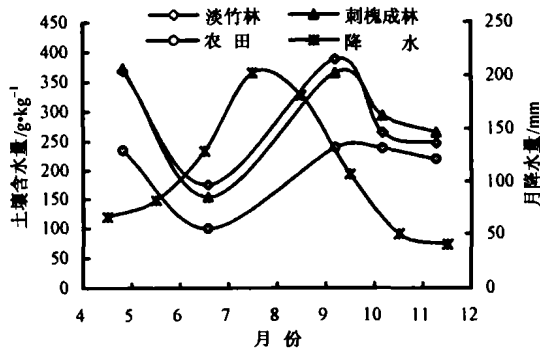


图 1 0~10cm 表层土壤含水量的季节变化

Fig. 1 Seasonal dynamics of soil moisture content in surface level of 0~10cm

表 3 不同时期土壤含水量的方差分析

Tab. 3 Variance analysis of soil moisture content in different period

土层/cm	离差平方和	自由度	平均离差平方和	F 值	临界值
Soil	Sum of squares	DF	Mean square	F value	Critical value
0~10 组间	2248.97	4	562.24	22.87**	$F_{0.05} = 2.58$
组内	983.31	40	24.58		$F_{0.01} = 3.83$
10~20 组间	1661.20	4	415.30	18.33**	
组内	906.51	40	22.60		
20~40 组间	923.69	4	230.92	19.01**	
组内	485.94	40	12.15		
40~60 组间	556.89	4	139.22	11.14**	
组内	499.84	40	12.50		
60~100 组间	413.26	4	103.32	3.64*	
组内	1133.98	40	28.35		

\*  $\alpha = 0.05$  水平显著, \*\*  $\alpha = 0.01$  水平显著。

大,变化规律基本与降水量相一致,但土壤含水量的变化滞后于降水,对几次测定结果进行方差分析见表 3。由表 3 可知,不同时期土壤含水量的变化以表层最大( $F$  值为 22.87),且自上而下差异逐渐减少,除第 5 层外,其他各层土壤含水量随季节变化存在极显著差异。对 0~10cm 表层土壤含水量进行  $T$  检验结果见表 4。表 4 表明 6 月、11 月土壤含水量差异显著且分别与其他各

表 4 不同季节表层土壤含水量的 T 检验\*

Tab. 4 T test of surface soil moisture content in different period

月份	月份 Months			
Months	4	6	9	10
6	7.52*			
9	10.40	6.05*		
10	0.71	9.73*	1.87	
11	3.66*	4.66*	2.27*	5.31

\*  $\alpha = 0.05$ 。

月存在显著差异,若将各时期土壤含水量分为 3 组,则 4 月、9 月、10 月为 1 组,土壤含水量平均值分别为 325.4g/kg、297.8g/kg 和 340.2g/kg; 11 月、6 月各为 1 组,土壤含水量平均值分别为 244.1g/kg 和 145.3g/kg,经  $T$  检验其余各层土壤含水量的差异来源与表层相似。

2.3 土壤含水量的预测方程

为探索土壤含水量与其影响因子的关系,用逐步回归方法<sup>[6]</sup>建立线性方程,以 0~20cm 土层土壤含水量为因变量( $y, g/kg$ ),以林分郁闭度( $X_1$ )、年龄( $X_2, a$ )、<0.01mm 土壤物理性粘粒含量( $X_3, %$ )、水稳性团粒含量( $X_4, %$ )、容重( $X_5, g/cm^3$ )、毛管孔隙度( $X_6, %$ )、有机质含量( $X_7, g/kg$ )、盐分含量( $X_8, g/kg$ )、土壤含水量测定前半个月降水量( $X_9, mm$ )和蒸发量( $X_{10}, mm$ ,指水面蒸发)为自变量,建立回归方程:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{10} b_i x_i \quad (1)$$

单因子相关分析,将不同季节、样地的数据( $n = 45$ )输入计算机进行逐步回归,首先得到相关矩阵(见表 5),由表 5 可知气候因子( $X_9, X_{10}$ )与林分状况( $X_1, X_2$ )、土壤性质(除含水量外)的相关系数均为零,无相关性,这与实际情况相符,因为短期的气候变化不能影响林分状况和土壤性质;土壤水稳性团粒结构含量( $X_4$ )与林分状况( $X_1, X_2$ )、土壤质地( $X_3$ )、容重( $X_5$ )、毛管孔隙度( $X_6$ )、有机质含量( $X_7$ )、盐分含量( $X_8$ )等因子显著相关(相关矩阵中给出了按  $\frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$  服从  $t(n-2)$  分布的检验结果),表明土壤结构与林分状况和其他土壤理化性质间的密切关系;林分状况( $X_1, X_2$ )与土壤质地( $X_3$ )、水稳性团粒含量( $X_4$ )、毛管孔隙度( $X_6$ )和盐分含量( $X_8$ )相关性较大,说明林分年龄、郁闭度越大,其改土功能越强,土壤质地和结构性越好,同时毛管孔隙度低而非毛管孔隙度高,土壤含盐量降低;其他各因子间也有一定的相关性。

土壤含水量的逐步回归,取  $\alpha = 0.05$ ,查表  $F(1, 40) = 4.03$ ,得到逐步回归方程:

$$y = 486.709 + 2.061X_4 + 1.786X_9 - 4.451X_{10} \quad (R = 0.830) \quad (2)$$

表 5 土壤含水量及其影响因子的相关矩阵

Tab.5 Correlation matrix of soil moisture content and its affecting factors

项 目 Items	影响因子 Affecting factors										
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	y
X <sub>1</sub>	1.00										
X <sub>2</sub>	0.28	1.00									
X <sub>3</sub>	0.56**	0.67**	1.00								
X <sub>4</sub>	0.42**	0.59**	0.66**	1.00							
X <sub>5</sub>	0.01	-0.05	-0.13	-0.35*	1.00						
X <sub>6</sub>	-0.37*	-0.51**	-0.80**	-0.34*	-0.15	1.00					
X <sub>7</sub>	0.27	0.27	0.27	0.40**	-0.62**	0.08	1.00				
X <sub>8</sub>	-0.49**	-0.53**	-0.53**	-0.42**	0.46**	0.50**	-0.56**	1.00			
X <sub>9</sub>	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.02	1.00		
X <sub>10</sub>	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.04	0.67**	1.00	
y	0.10	0.11	0.14	0.24	-0.05	0.02	0.01	0.08	0.34*	-0.42**	1.00

\* α=0.05 水平显著, \*\* α=0.01 水平显著。

经过筛选, X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、X<sub>5</sub>、X<sub>6</sub>、X<sub>7</sub>、X<sub>8</sub> 均因对 y 无显著影响被剔除, 仅有 X<sub>4</sub>、X<sub>9</sub>、X<sub>10</sub> 对 y 有显著影响, 其偏相关系数分别为 r<sub>4</sub>=0.415, r<sub>9</sub>=0.646, r<sub>10</sub>=-0.753。由此可知, 土壤含水量主要取决于气候条件和水稳性团粒含量, 复相关系数(R=0.830)经检验达显著性水平。林分对土壤含水量虽有一定影响(偏相关系数为 0.405), 但相对较小。方程可靠性用实测值与理论值的平均相对误差表示<sup>[7]</sup>, 即:

$$E_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \quad (3)$$

求出理论值代入公式求得 E<sub>y</sub> = 0.0816, 即用公式预测 0~20cm 土层土壤含水量其平均相对误差为 8.16%。运用平原淤泥质海岸其他地区(东台、大丰、如东等)的数据进行验证, 同样取得满意结果。此公式在林业生产上具有一定实用价值, 根据气候条件和土壤水稳性团粒含量(一般较稳定), 技术人员在室内即可求得 0~20cm 土层土壤含水量, 也可预测土壤水分动态, 从而更方便地指导林业生产, 该公式适用条件是淤泥质海岸、平地, 并具有排、灌系统。

### 3 小 结

淤泥质海岸防护林土壤含水量有明显的季节变化规律, 并受林分影响呈现出不同的水平和垂直变化趋势, 林龄越高、根系越深其影响程度越大; 林木吸水蒸腾可降低土壤含水量, 有效防止土壤返盐; 根据气候和土壤条件可预测表层土壤含水量, 以指导林业生产; 防护林在蓄存降水、调节土壤水分平衡等方面具有良好的作用, 应在我国沿海地区尽快建立完善的防护林体系。

致谢 本文得到南京林业大学姜志林、张金池教授指导, 谨表谢意!

### 参 考 文 献

- 1 胡海波, 林文棣等. 苏北沿海平原沙土区土壤侵蚀规律研究. 南京林业大学学报, 1992, 16(2):25~30
- 2 林文棣主编. 中国海岸带林业. 北京:海洋出版社, 1993. 1~28
- 3 陈邦本, 方 明. 江苏海岸带土壤. 南京:河海大学出版社, 1988. 3~35
- 4 张万儒主编. 森林土壤分析方法(国家标准 GB7830-87). 北京:中国标准出版社, 1987
- 5 张金池, 胡海波等. 苏北淤泥质海岸主要造林树种根系研究. 南京林业大学学报, 1992, 16(1):35~40
- 6 唐守正编著. 多元统计分析方法. 北京:中国林业出版社, 1986
- 7 胡海波, 康立新等. 泥质海岸防护林土壤酶活性特征研究. 土壤学报, 1998, 35(1):112~118