

6 种不同沿海防护混交林凋落叶持水性能比较

郑晶晶¹, 蔡锰柯¹, 林宇², 魏建康¹, 陈礼光^{1,3}, 荣俊冬^{1,3}, 郑郁善^{1,3}

(1. 福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002;

2. 福建省长乐大鹤国有防护林场, 福建 长乐 350212; 3. 福建农林大学 竹类研究所, 福建 福州 350002)

摘要: [目的] 了解并比较沿海地区 6 片木麻黄与竹子防护混交林凋落叶持水性能状况, 为沿海防护林树种选择提供理论依据。[方法] 通过设置标准地, 样方搜集和室内浸水试验, 测量凋落叶自然含水率、持水率、吸水速率、失水率和失水速率, 比较分析混交林凋落叶持水性能。[结果] 木麻黄与花吊丝竹混交林凋落叶的最大持水率较高, 其次为吊丝单竹+木麻黄、勃氏甜龙竹+木麻黄、绿竹+木麻黄、麻竹+木麻黄和大头典竹+木麻黄; 而自然含水率从高到低依次为勃氏甜龙竹+木麻黄>花吊丝竹+木麻黄>绿竹+木麻黄>大头典竹+木麻黄>吊丝单竹+木麻黄>麻竹+木麻黄; 从凋落叶的吸水和自然风干过程来看, 6 种混交凋落叶的持水率、吸水速率、失水率和失水速率在浸泡或自然风干的 0~2 h 有一个迅速变化的趋势, 2 h 后凋落叶持水率和吸水速率逐步变缓, 16 h 后逐渐趋于平稳。[结论] 回归分析结果表明, 持水率和浸泡时间及失水率和风干时间之间的关系均为对数函数关系, 而吸水速率与浸泡时间及失水速率与风干时间的关系均为幂函数关系。

关键词: 沿海防护混交林; 竹子; 凋落叶; 持水性; 失水性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0111-06

中图分类号: S727.23

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.086

Comparative Study on Water-holding Capacity of Litters in Six Different Mixed Forests for Coastal Protection

ZHENG Jingjing¹, CAI Mengke¹, LIN Yu², WEI Jiankang¹,

CHEN Liguang^{1,3}, RONG Jundong^{1,3}, ZHENG Yushan^{1,3}

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. Changle Dahe State-owned Protection Forest Farm of Fujian Province, Changle, Fujian 350212, China;

3. Research Institute of Bamboo, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: [Objective] Comparing the water-holding capacity of litters in six different bamboo forests mixed with *Casuarina equisetifolia* is of great importance to tree species selection in coastal protection forest. [Methods] By setting the standard plots, samples collection and laboratory immersion experiment, original water-holding rate, water-absorbing characteristic and the water-losing characteristic of litters in 6 mixed forest were measured to compare the water-holding capacity of litters in six different coastal protection mixed forests. [Results] The forest with maximum water-holding rate was *Dendrocalamus minor* var. *amoenus*, followed by the *Dendrocalamopsis vario-striata*, *Dendrocalamus brandisii*, *Bambusa oldhami*, *Dendrocalamus latiflorus*, *Bambusa beecheyana* var. *pubescens*. while the forest with higher original water content is *D. brandisii*, followed by *D. minor* var. *amoenus*, *B. oldhami*, *B. beecheyana* var. *pubescens*, *D. vario-striata*, *D. latiflorus*. In absorbing and natural drying process, water-holding rate, water-absorbing speed, water-losing rate and water-losing speed of all kinds of litters in mix forest increased rapidly in the first two hours. From then on, the rates slowed down with prolonged immersion time, and gradually became stabilized after 16 hours. [Conclusion] Water-holding rate and water-losing rate of litters increased following a log function with the time immersed in water, and the water-absorbing speed rate and water-losing speed followed a power function

Keywords: mixed forests for coast protection; bamboo; litters; water-holding characteristic; water-losing characteristic

收稿日期: 2014-09-25

修回日期: 2015-01-17

资助项目: 福建省农业科技重大专项“特色林木种质材料选育与高效培育关键技术研究”(2013NZ0001); 福建省农业科技重大项目(2010N5002); 中央财政林业科技推广项目([2013]7号)

第一作者: 郑晶晶(1990—), 女(汉族), 福建省宁德市人, 在读硕士研究生, 研究方向为沿海防护林研究。E-mail: oopszjj@163.com。

通信作者: 郑郁善(1960—), 男(汉族), 福建闽清市人, 本科, 博士生导师, 教授, 主要从事森林培育与水土保持研究。E-mail: zys1960@163.com。

沿海防护林作为沿海地区重要的生态屏障,在防风固沙、保持水土等方面发挥巨大作用,对于改善生态环境、防治干旱及抵御海洋性灾害具有重要的意义^[1]。木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)作为 20 世纪 50 年代末以来沿海地区主要的造林树种,近年来,由于树种单一,地力下降,病虫害严重,林分衰老,防护功能降低,大量适生树种被引入木麻黄防护林更新迹地混交造林^[2],以适应沿海地区恶劣环境,如相思、巨尾桉等,但一些耐干旱的竹种也能够沿海沙地生长^[3]。滨海沙地多为风积沙土与潮积沙土,水肥条件差^[4],竹子繁殖能力强、生长周期短、根系发达,地下茎相互盘结,能较好地防风固沙、保水保肥,在适应沿海地区气候、水土保持方面^[5]发挥着强大的生态修复功能。张梅等^[6]在滨海沙地引种多个竹种,均表现出良好的生长特性。腾华卿^[7]、林红强^[3]等通过在水土流失区引种竹子,证实了竹类在水土保持方面的重要作用。因此,对沿海沙地竹子与木麻黄防护混交林展开研究,有利于沿海防护林的建设。

森林凋落物指在生态系统内,由地上植物组分产生并归还到地表面,作为分解者的物质和能量来源,借以维持生态系统功能的所有有机质的总称^[8],凋落物层作为群落结构中一个重要层次,它对生态系统的植被、土壤和环境有着不可替代的影响作用^[9-10]。凋落物的凋落和分解是森林生态系统中物质循环和能量流动的重要环节^[11],在截留降水、防止土壤溅蚀、减缓地表径流、阻止土壤水分蒸发、增强土壤抗冲性

能和水源涵养^[12-14]等方面具有不可替代的作用^[15-17]。目前,许多学者对凋落叶持水性能开展的研究多数集中在不同针、阔叶林凋落叶持水性能^[18-21],少数研究了不同经营措施以及皆伐改造后的森林凋落叶水文效应^[12-13],但关于木麻黄和竹子混交林凋落叶持水性能方面的研究鲜见报道。鉴于此,本文拟通过研究沿海地区木麻黄和 6 种竹子混交林凋落叶持水性能的比较,并进行回归方程的拟合,为分析不同竹种与木麻黄混交防护林在沿海地区的防风固沙、水土保持、水源涵养,以及沿海防护林树种选择方面提供理论依据。

1 研究区概况

试验地位于福建省福州市长乐市大鹤国有防护林场,地处北纬 25°57'59",东经 119°40'43"。该林场位于沿海防护林基干带,经营面积 345.9 hm²,有国家级生态公益林 259.7 hm²。明显的南亚热带海洋性季风气候,冬暖夏凉,较少霜冻害,光热资源丰富,年均温 19.2 °C,积温 6 375.6 °C,年实际日照时数 1 837.5 时,年均降水量 1 196~1 772 mm,年降雨约 160 d,4—6 月为雨季,11—1 月为旱季。主要灾害性天气为热带风暴台风,年平均 4~6 次,样地平均海拔 10 m,地势平坦,土壤为滨海沙土,肥力低,保水性差。林下天然植被少,在直接受台风袭击危害的同时也带来暴雨和潮汐引起的洪涝等灾害,土壤容易受到风蚀和雨水侵蚀,其化学性质如表 1 所示。

表 1 滨海沙地土壤的化学性质

土壤深度/ cm	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全 N/ (g · kg ⁻¹)	全 P/ (g · kg ⁻¹)	全 K/ (g · kg ⁻¹)	水解性 N/ (mg · kg ⁻¹)	速效 P/ (mg · kg ⁻¹)	速效 K/ (mg · kg ⁻¹)
0—20	2.359	0.102	0.101	8.653	7.02	3.14	8.25
20—40	2.015	0.179	0.125	8.248	7.98	2.93	6.83

试验地前身共有 6 片木麻黄低效纯林,为 2009 年 5 月容器苗种植造林,株行距 2 m×2 m,合计面积 409。于 2010 年春在沿海沙地木麻黄纯林下套种竹林,分别种有花吊丝竹、大头典竹、绿竹、勃氏甜龙竹、吊丝单竹、麻竹 6 种适生于沿海沙地的丛生竹种。造林时选择生长健壮、无病虫害的 1~2 a 生母竹,株行距为 3 m×3 m,林分结构稳定,生长良好。经每木检尺调查,木麻黄低效林混交引种的 6 个竹种如表 2 所示。

2 研究方法

2.1 凋落叶的测量与收集

在 6 个不同木麻黄低效林套种竹林内分别设置

标准地,并分别在竹子与木麻黄的冠幅投影下分东西南北 4 个方向各放置 1 个 1 m×1 m 的凋落叶收集筐,收集样方中的凋落叶,对凋落叶表面杂质进行清理后分别装入尼龙网袋内并称其自然鲜重后,带回实验室。将凋落叶用烘箱烘干至恒重备用,称其干重并计算各竹种凋落叶的自然含水率(自然含水率%=(自然鲜重-烘干重)/烘干重×100%)。

2.2 凋落叶持水性能的测定

取烘干备用的凋落叶装入 20 cm×30 cm 的尼龙网袋,进行凋落叶持水能力的试验。具体步骤:在凋落叶浸入盛有清容器的第 0.5,1,2,3,4,5,6,5,8,5,10,5,12,5,14,5,16,20 和 24 h 将尼龙网袋取出,静置 5 min 直到尼龙网袋不滴水时迅速称重并记录。

浸水 24 h 后取出,将尼龙纱网袋于空气中自然风干,分别在第 0.5,1,2,3,4.5,6.5,8.5,10.5,12.5,14.5,16,20 和 24 h 时称其质量并记录。各持水性能指标的计算方法如下:

$$\text{凋落叶持水率} = (M_{t_1} - M_0) / M_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{凋落叶吸水速率} = (M_{t_1} - M_0) / (M_0 \times t_1) \quad (2)$$

式中: M_0 ——凋落叶烘干重; M_{t_1} ——浸泡 t_1 时间的凋落叶质量; t_1 ——浸泡时间。

$$\text{凋落叶失水率} = (m_0 - m_{t_2}) / m_0 \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{凋落叶失水速率} = (m_0 - m_{t_2}) / (m_0 \times t_2) \quad (4)$$

式中: m_0 ——凋落叶浸泡 24h 后质量; m_{t_2} ——风干 t_2 时间的凋落叶质量; t_2 ——风干时间。

表 2 凋落物持水性研究供试植物种类

植物	学名	平均树高/m	平均胸径/cm	平均枝下高/m	平均冠幅/m	植物特征及用途
木麻黄	<i>Casuarina equisetifolia</i>	6.91	6.54	1.78	5.61	常绿乔木。树干通直。树皮深褐色,不规则条裂。叶状枝,叶退化呈鳞片状;强阳性,喜炎热气候,耐干旱、贫瘠,抗盐渍,也耐潮湿,不耐寒
吊丝单竹	<i>Dendrocalamopsis vario-striata</i>	3.29	2.48	0.26	1.78	顶端弯垂,略呈钓丝状,节间有时多肿大,被白粉,初时贴生柔毛,后变无毛。秆作棚架等用
花吊丝竹	<i>Dendrocalamus minor</i> var. <i>cmoenus</i>	3.02	1.56	0.28	1.97	吊丝竹的变种,丛生竹,竹秆淡黄色,有深绿色纵条纹,顶梢长而下垂,如钩丝,形态优美,多用作观赏竹类
绿竹	<i>Bambusa oldhami</i> (Munro)	2.62	1.22	0.17	2.44	茎幼时披白色腊粉,光滑无毛;节平无毛,分枝习性高,枝多簇生于各节上主枝明显。俗称“马蹄笋”,可作为笋用竹、造纸和生长重组竹
麻竹	<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	4.28	1.03	0.14	2.11	秆近直立,稍端长下垂或弧形弯曲,幼时被白粉,但无毛,仅在节内具一圈棕色绒毛环,笋味鲜美,优良笋用竹种,竹秆可扎排,作水管及建筑用材
勃氏甜龙竹	<i>Dendrocalamus brandisii</i>	2.15	2.08	0.31	2.19	竹壁厚,秆坚韧而牢固,节内和节下方均具一圈灰白色至棕色绒毛环,内稃与外稃近等长,背部具 2 脊,脊上生纤毛笋体肥大,质脆,香甜可口,营养丰富,为席上佳肴
大头典竹	<i>Bambusa beecheyana</i> var. <i>pubescens</i>	3.32	1.84	0.23	1.57	秆顶端稍弯曲而不小垂;幼时被白粉,秆基部节间全部被柔;长大后呈深绿色而常染有桔红色,分枝习性低;竿劈篾编制粗大竹器、庭院绿化等

3 结果与分析

3.1 凋落叶的最大持水率和自然含水率

凋落叶的持水率是反映其持水性能的指标之一,持水率越大,持水能力越强,反之,则较小。一般来说,可将凋落叶浸水 24 h 后的持水率视为该凋落叶的最大持水率。从表 3 可以看出,经过 24 h 的浸泡,6 种沿海防护林凋落叶的最大持水率都相当于其干重的 3~4 倍,其凋落叶最大持水率从大到小依次为花吊丝竹+木麻黄(359.38%)>吊丝单竹+木麻黄

(368.48%)>勃氏甜龙竹+木麻黄(357.57%)>绿竹+木麻黄(345.71%)>麻竹+木麻黄(335.48%)>大头典竹+木麻黄(327.27%);而从自然含水率来看,从大到小顺序依次为:勃氏甜龙竹+木麻黄(70.54%)>花吊丝竹+木麻黄(31.79%)>绿竹+木麻黄(29.34%)>大头典竹+木麻黄(16.70%)>吊丝单竹+木麻黄(16.12%)>麻竹+木麻黄(15.08%)。方差分析的结果表明,本文研究的 6 种沿海防护混交林凋落叶间的最大持水率差异性并不显著($p > 0.05$),但自然含水率间呈显著差异($p < 0.05$)。

表 3 6 种沿海防护混交林凋落叶最大持水率和自然含水率

项目	吊丝单竹+木麻黄	花吊丝竹+木麻黄	麻竹+木麻黄	绿竹+木麻黄	勃氏甜龙竹+木麻黄	大头典竹+木麻黄	F 值
最大持水率	359.38±21.52 ^{ab}	368.48±17.44 ^a	335.48±30.01 ^{ab}	345.71±7.73 ^{ab}	357.57±15.55 ^{ab}	327.27±30.26 ^b	1.499
自然含水率	16.12±4.01 ^a	31.79±12.82 ^a	15.08±2.56 ^b	29.34±8.98 ^b	70.54±36.77 ^a	16.70±2.43 ^a	4.957*

注:表中字母用来表示多重比较的结果,同列字母相同或者有一个相同的字母表示各混交林之间差异不显著,字母不同表示各混交林之间差异显著。**表示差异达 0.01 极显著水平; *表示差异达 0.05 显著水平。

3.2 凋落叶持水性能比较

从不同沿海防护林凋落叶持水率与吸水时间的关系来看(图 1),6 种混交凋落叶的持水率在浸水 0~2 h 有一个迅速上升的趋势,2 h 后随着浸泡时间的延

长,凋落叶持水率增加逐步变缓,16 h 后逐渐趋于平稳。另一方面,从图 2 可以看出,在整个浸泡过程中各沿海防护林凋落叶吸水速率的从大到小的顺序基本上呈现吊丝单竹+木麻黄>麻竹+木麻黄>勃氏

甜龙竹+木麻黄>绿竹+木麻黄>大头典竹+木麻黄>花吊丝竹+木麻黄。在吸水 0~0.5 h 的吸水速率是 0.5~1 h 的 2 倍左右,而吸水 1~2 h 的吸水速率是 0.5~1 h 的 2 倍左右。在吸水 2~15 h 时,吸水速率在逐步下降,在吸水 15~24 h 间,吸水速率基本趋于稳定。

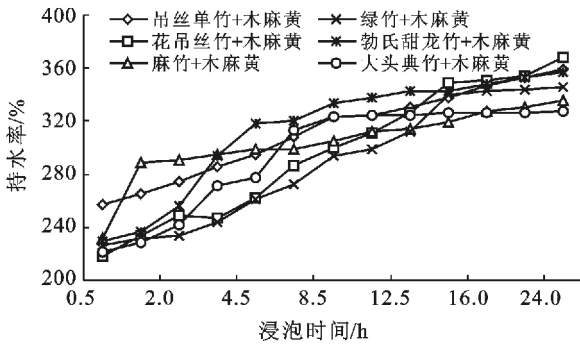


图 1 不同林分凋落叶持水率与浸泡时间的关系

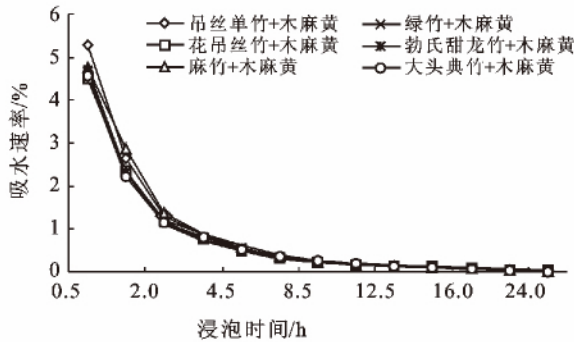


图 2 不同林分凋落叶吸水速率与浸泡时间的关系

从总体上看,凋落叶的吸水过程大致分为 3 个阶段:在浸水初期,各防护林凋落叶的持水率增长较快,而吸水速率则不断减小;在浸水 2 h 后,凋落叶虽然还在吸水,但持水率和吸水速率均处于较为稳定阶段;随着浸泡时间的延长,凋落叶持水率和吸水速率基本不再变化。这说明各防护林凋落叶的吸水作用主要表现在 0~2 h 内,特别是前 0.5 h。这对于截获短时期降雨具有重要意义。这与刘国华等^[22]以竹枯落物为例,研究它们水文特征及其截持降雨过程时发现的规律一致。此外,由于凋落物的持水率和吸水速率是反映其持水能力的重要指标,本文研究的木麻黄和竹子的混交林有利于将林内降水迅速蓄积起来,已达到减少地表径流的发生,在涵养水源方面有着重要的意义。

3.3 凋落叶失水性能比较

从不同沿海防护林凋落叶失水率与失水时间的关系来看(图 3),凋落叶的失水率在自然风干 0~2 h 增长较快,但不同竹种间的差异不大;在自然风干 2~9 h 间,6 个沿海防护林凋落叶的失水率缓慢上升,且

不同防护林失水率间的差异逐渐变大;随着浸泡时间的延长,不同防护林凋落叶失水率的增加速度逐步变缓,在自然风干 16 h 后逐渐趋于平稳,各防护林凋落叶间失水率的差别变的明显,其从大到小的顺序为花吊丝竹+木麻黄>勃氏甜龙竹+木麻黄>绿竹+木麻黄>吊丝单竹+木麻黄>麻竹+木麻黄>大头典竹+木麻黄。

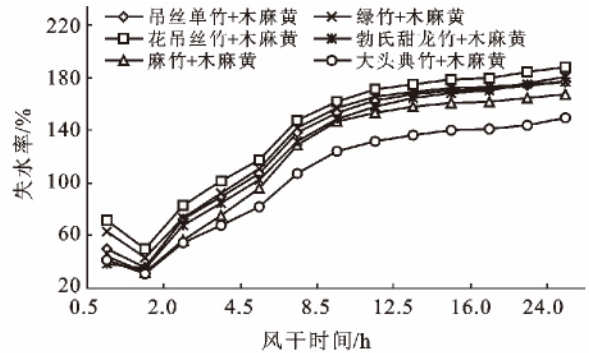


图 3 不同林分凋落叶失水率与风干时间的关系

另一方面,从图 4 可以看出,在整个失水过程中,6 种防护林凋落叶在自然风干 0~0.5 h 的失水速率较大,其从大到小的顺序依次为花吊丝竹+木麻黄>勃氏甜龙竹+木麻黄>绿竹+木麻黄>吊丝单竹+木麻黄>麻竹+木麻黄>大头典竹+木麻黄。从自然风干 0.5~9 h 间,不同防护林凋落物的失水速率均缓慢降低;当自然风干 9~24 h 间,6 种防护林凋落叶的失水速率逐步趋于稳定。

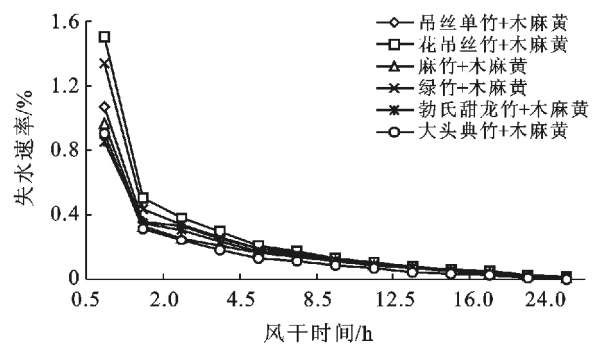


图 4 不同林分凋落叶失水速率与风干时间的关系

3.4 相关性分析

以浸泡时间(t_1)为自变量,持水率、吸水速率为因变量(Y_1)和(V_1),对各林分凋落叶的持水率(Y_1)、和浸泡时间(t_1)进行对数 $Y_1 = a \times \ln(t_1) + b$ (a, b 为系数)拟合,吸水速率(V_1)与浸泡时间(t_1)进行幂函数 $V_1 = k \times t_1^n$ (k 为系数)拟合(表 4),结果表明 $R^2 > 0.85$,方程均拟合较好。这和许多的研究者将时间和持水率与吸水速率经回归方程分析拟合的数学模型相一致^[18-19]。

表 4 凋落叶持水率、吸水速率与浸泡时间的相关性

林分	持水率与浸泡时间的关系		吸水速率与浸泡时间的关系	
	相关性方程	R^2	相关性方程	R^2
吊丝单竹+木麻黄	$Y_1 = 27.887 \ln(t_1) + 262.98$	0.955	$V_1 = 3.054 4 t_1^{-1.287 9}$	0.958
花吊丝竹+木麻黄	$Y_1 = 40.697 \ln(t_1) + 224.49$	0.913	$V_1 = 2.591 3 t_1^{-1.225 8}$	0.966
麻竹+木麻黄	$Y_1 = 20.548 \ln(t_1) + 267.20$	0.863	$V_1 = 3.246 9 t_1^{-1.378 4}$	0.928
绿竹+木麻黄	$Y_1 = 36.147 \ln(t_1) + 223.87$	0.877	$V_1 = 2.654 6 t_1^{-1.282 8}$	0.947
勃氏甜龙竹+木麻黄	$Y_1 = 36.644 \ln(t_1) + 247.89$	0.961	$V_1 = 2.892 1 t_1^{-1.254 5}$	0.943
大头典竹+木麻黄	$Y_1 = 33.222 \ln(t_1) + 235.83$	0.932	$V_1 = 2.911 3 t_1^{-1.349 6}$	0.893

以浸泡时间(t_1)为自变量,持水率、吸水速率为因变量(Y_1)和(V_1),对各林分凋落叶的持水率(Y_1)、和浸泡时间(t_1)进行对数 $Y_1 = a \times \ln(t_1) + b$ (a, b 为

系数)拟合,吸水速率(V_1)与浸泡时间(t_1)进行幂函数 $V_2 = k \times t_2^k$ (k 为系数)拟合(表 5),结果表明 R^2 均大于 0.83,方程拟合较好。

表 5 凋落叶失水率、失水速率与风干时间的相关性

林分	失水率与风干时间的关系		失水速率与风干时间的关系	
	相关性方程	R^2	相关性方程	R^2
吊丝单竹+木麻黄	$Y_2 = 41.421 \ln(t_2) + 54.741$	0.945	$V_2 = 0.627 5 t_2^{-0.968 9}$	0.872
花吊丝竹+木麻黄	$Y_2 = 38.856 \ln(t_2) + 70.204$	0.930	$V_2 = 0.794 2 t_2^{-1.004 9}$	0.925
麻竹+木麻黄	$Y_2 = 40.768 \ln(t_2) + 46.538$	0.931	$V_2 = 0.561 4 t_2^{-1.001 7}$	0.831
绿竹+木麻黄	$Y_2 = 38.946 \ln(t_2) + 62.621$	0.923	$V_2 = 0.722 6 t_2^{-1.017 2}$	0.891
勃氏甜龙竹+木麻黄	$Y_2 = 43.412 \ln(t_2) + 48.059$	0.965	$V_2 = 0.553 5 t_2^{-0.919 3}$	0.881
大头典竹+木麻黄	$Y_2 = 34.566 \ln(t_2) + 42.533$	0.939	$V_2 = 0.508 0 t_2^{-1.057 3}$	0.897

4 结论与讨论

(1) 从各竹种凋落叶的最大持水量和自然含水率来看,6 个竹种间的最大持水率没有显著的差异,但它们自然含水率间的差异性达到显著水平。刘尚华等^[17]在研究京西百花山区 6 种植物群落凋落叶的持水性能时,发现油松、青杨刺槐等群落的最大持水率在 270%~350.5%,自然含水率在 44%~174%,这与本文研究的结果存在差异。这可能是由于本研究对象为沿海防护林,但土壤类型主要为滨海沙土,土壤养分贫乏且保水保肥能力较差,又林下植被较少。因此,虽然竹子的凋落叶本身吸水能力较强,但不利于凋落叶持水。

(2) 凋落叶的吸水过程和失水过程来看大致可以分为 3 个阶段:从浸水的 0~2 h 为凋落叶吸水的高峰期,此时凋落叶的持水率和吸水速率均处于较高的阶段;从浸水的 2~16 h 时,凋落叶的持水率和吸水速率均处于缓慢吸水的过程;到浸水至 24 h 时,凋落叶已基本不再吸水。从凋落叶自然风干过程来看,自然风干的 0~0.5 h 为凋落叶快速失水阶段,0.5~9 h 为缓慢失水阶段,9~24 h 凋落叶的失水率和失水速率均处于稳定阶段。

(3) 从不同林分凋落叶持水率与浸泡时间和失水率和自然风干时间的拟合结果来看,能够很好的用 $V = k \times t^n$ (k 为系数)的幂函数关系。

(4) 本文对不同竹种与木麻黄混交的沿海防护林凋落叶的持水性能进行研究时,采用室内浸提法进行。但在自然降雨过程中,凋落物的吸水过程受干扰因素较多,与室内浸提法存在差异。且本次研究仅对新鲜未分解的竹叶进行持水性能研究,对分解程度不同的凋落叶未进行分类,这与自然条件下林内凋落叶的组成也有一定差异^[18],因此,关于沿海防护林凋落物对降雨的吸收能力的评价还需要进一步探讨,以便选择出较好的水源涵养树种。

[参 考 文 献]

- [1] 许景伟,李传荣,马履,等. 沿海防护林造林树种抗旱性的比较[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(1): 167-170
- [2] 叶功富,张立华,林益明,等. 滨海沙地木麻黄人工林细根养分与能量动态[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3874-3882.
- [3] 林红强. 竹类在水土流失区的应用研究[J]. 亚热带水土保持, 2005, 17(2): 23-26.
- [4] 陈国华,陈海艳,李宝福,等. 沿海沙地木麻黄更新迹地 6 种相思树的水源涵养功能比较[J]. 防护林科技, 2012(2): 1-4.
- [5] 林夏馨,刘洪生. 优良水土保持竹种的选择研究[J]. 福建水土保持, 2003, 15(4): 56-60.
- [6] 张梅,郑郁善,陈礼光. 滨海沙地竹子引种试验初报[J]. 西南林学院学报, 2007, 27(1): 48-50.
- [7] 滕华卿. 花吊丝竹在水土流失治理中的应用[J]. 福建水土保持, 2004, 16(3): 22-23, 38.
- [8] 王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展, 1989, 6

- (2):82-98.
- [9] Borendse F. Implications of increased litter production for plant biodiversity[J]. Trends Ecology and Evolution, 1999,14(1):4-5.
- [10] Scott D F. Soil wettability in forested catchments in South Africa: As measured by different methods and as affected by vegetation cover and soil characteristics [J]. Journal of Hydrology, 2000,231(1):87-104.
- [11] 林波,刘庆,吴彦,等. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志,2004,23(1):60-64.
- [12] 王卫军,赵婵璞,张绍轩,等. 不同经营措施对油松林枯落物持水性能的影响研究[J]. 水土保持通报,2013,33(6):103-106.
- [13] 李超,董希斌,宋启亮. 大兴安岭白桦低质林皆伐改造后枯落物水文效应[J]. 东北林业大学学报,2013,41(10):23-27.
- [14] 张向峰,王玉杰,刘敏. 北京市 3 个区域油松枯落物保水功能对比分析[J]. 水土保持通报,2014,34(2):311-314.
- [15] Leer. Forest Hydrology[M]. New York: Columbia University Press;1980.
- [16] 方海东,纪中华,杨艳鲜. 金沙江干热河谷新银合欢人工林枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报,2005,19(5):54-57.
- [17] 刘尚华,冯朝阳,吕世海. 京西百花山区 6 种植物群落凋落物持水性能研究[J]. 水土保持学报,2007,21(6):179-182.
- [18] 郑文辉,林开敏,徐昇,等. 7 种不同树种凋落叶持水性能的比较研究[J]. 水土保持学报,2014,28(1):88-91.
- [19] 彭耀强,薛立,曹鹤,等. 三种阔叶林凋落物的持水特性[J]. 水土保持学报,2006,20(5):189-191.
- [20] Liu Shirong, Sun Pengsen, Wen Yuanguang. Comparative analysis of hydrological functions of major forest ecosystems in China[J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2003,27(1):16-22
- [21] 杜阿朋,赵知渊,王志超,等. 不同品种桉树人工林生长特征及持水性能研究[J]. 热带作物学报,2014,35(7):1306-1310.
- [22] 刘国华,张金池,林树燕,等. 4 种地被竹枯落物的水文特征及其截持降雨过程研究[J]. 水土保持通报,2012,32(2):105-108.

(上接第 110 页)

- [5] Saleh A, Gassman P W, Kling C L. Sny Magill Watershed Modeling Project: Final Report[M]. Center for Agricultural and Rural Development; Iowa State University, 2002.
- [6] Shao Hui, Baffaut C, Gao Jian'en. Development and application of algorithms for simulating terraces within SWAT[J]. Transactions of the ASABE, 2013,56(5):1715-1730.
- [7] 肖玉成,董飞,张新华,等. 基于 SWAT 分布式水文模型的河道内生态基流[J]. 四川大学学报:工程科学版,2013,45(1):85-90.
- [8] Combalicer E A, Lee S H, Ahn S, et al. Comparing groundwater recharge and base flow in the Bukmoongol small-forested watershed, Korea[J]. Journal of Earth System Science, 2008,117(5):553-566.
- [9] 李磊,徐宗学. 基于 VB 6.0 的生态基流计算软件开发与应用[J]. 水土保持通报,2012,32(3):145-149.
- [10] 张泽聪,韩会玲,陈丽. 基于改进的 Tennant 法的大凌河生态基流计算[J]. 水电能源科学,2013,31(9):29-31.
- [11] 吴喜军,李怀恩,董颖,等. 基于基流比例法的渭河生态基流计算[J]. 农业工程学报,2011,27(10):154-159.
- [12] 彭桂君,张守伟. 延边州主要河段生态基流计算分析[J]. 黑龙江科技信息,2012(35):23.
- [13] 林启才,李怀恩. 宝鸡峡引水对渭河生态基流的影响及其保障研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(11):114-119.
- [14] 马勇,秦百顺,王宏,等. 渭河水沙变化及其影响因素分析[J]. 中国水土保持,2002(8):18-20.
- [15] 冉大川,刘斌,罗全华,等. 泾河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. 人民黄河,2001,23(2):6-8.
- [16] 李星,徐学选,宇苗子,等. SWAT 模型在黄土丘陵区燕沟流域的应用研究[J]. 水土保持通报,2012,32(3):141-144.
- [17] 李道峰,田英,刘昌明. 黄河河源区变化环境下分布式水文模拟[J]. 地理学报,2004,59(4):565-573.
- [18] 李志,刘文兆,张勋昌,等. 未来气候变化对黄土高原黑河流域水资源的影响[J]. 生态学报,2009,29(7):3456-3464.
- [19] 武会先,吕洪予. 确定河流生态需水量的方法[J]. 人民黄河,2006,28(6):12-13.
- [20] 张淑兰,王彦辉,于澎湃,等. 泾河流域近 50 a 来的径流时空变化与驱动力分析[J]. 地理科学,2011,31(6):721-727.
- [21] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[C] // Osborn J F, Allman C H. Proceedings of the Symposium and Special Conference on Instream Flow Needs. Bethesda, Maryland; American Fisheries Society,1976, II :359-373.
- [22] 吴发启,张玉斌,宋娟丽,等. 水平梯田环境效应的研究现状及其发展趋势[J]. 水土保持学报,2003,17(5):28-31.
- [23] 马春林. 渭河流域坡面治理措施减水减沙效益分析[J]. 人民黄河,1992(7):25-27.
- [24] 邵辉. 渭河流域水土流失变化对梯田措施响应的模拟研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2013.