

可调节土壤湿度的导水纤维功能薄膜的研究

Functional Film Using Coated Fibers to Adjust Soil Moisture

张增志, 张利梅, 程海涛, 牛俊杰,

张际飞, 刘 铭, 许海凤, 黄 华

(中国矿业大学(北京)生态功能材料研究所, 北京 100083)

ZHANG Zeng-zhi, ZHANG Li-mei, CHENG Hai-tao, NIU Jun-jie,

ZHANG Ji-fei, LIU Ming, XU Hai-feng, HUANG Hua (Research Institute of Ecological and Functional Material, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

摘要: 通过聚乙烯醇和超细层状无机材料以不同比例混合对植物纤维做涂层化处理, 借助显微照片分析了涂层与纤维及纤维与基体的复合; 利用示差扫描量热法和热重法分析了涂层比例对纤维表面吸附水的影响; 测量了膜材包装水后在失水率随温度和湿度的变化; 通过应用蓄水渗膜包装水现场造林, 统计了造林成活率。结果表明: 导水纤维经涂层处理后可实现与环境友好高分子基材的浸润结合; 通过调整导水纤维涂层中的聚乙烯醇与片层无机物混合比例, 可实现不同的渗水速度; 蓄水渗膜材料能够根据土壤的温度和湿度变化调节渗水速度, 从而可以根据需要调整土壤含水量; 应用蓄水渗膜材料造林的树苗成活率比对照林高出 20%~50%, 生长量也有明显优势。

关键词: 纤维; 涂层; 薄膜; 荒漠化; 植树造林

中图分类号: TB34 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2006)04-0024-05

Abstract: The coating of fibers was prepared for water penetration through a film with polyvinyl alcohol and laminar inorganic material in different proportion. The combination between the coating and fibers, and the fibers and matrix were analyzed through SEM and micrograms. The characteristics of water absorbability and dehydration of the coating were illustrated with DSC and TG curves. The rate of water loss through WSCF (Water Storage and Controlled-release Film) was measured in environments at different temperatures and with different moisture. WSCF was also used for the field test, and the survival rate of afforestation was investigated. The results showed that the coating can improve the affinity between the fibers and resin matrix; the water penetration rate can be regulated by varying the proportion of the coating material; WSCF can adjust the water penetration rate according to the soil moisture suitable for plant growth in arid area; the survival rate of afforestation using WSCF is increased by 20%~50%, and the amount of growth is also improved.

Key words: fiber; coating; film; desertification; afforestation

荒漠化问题是全球共同面临的严峻课题。全球荒漠化面积已达 36 亿公顷, 约占地球旱地面积的 69.5%, 而且以每年 $5 \times 10^4 \sim 7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的速度扩展, 受影响人口达 10 亿之多^[1]。治理荒漠化的根本措施是恢复植被, 而恢复植被的关键是土壤的水分条件^[2]。荒漠化地区蒸发量极大, 而降水量非常小, 植物成活率很低。若采用灌溉保活技术, 不仅需要大量资金投入, 而且由于蒸发量大而导致耗水量极大, 地下水位下降, 不利于生态恢复的可持续发展^[3]。因此, 抗旱节水造林已成为生态建设的指导性方法。

目前国内外采用的抗旱节水造林方法主要有: 集水技术^[4]、保水剂技术^[5]、固体水技术^[6]、滴渗灌技术、容器育苗技术^[7]。这些方法各有利弊。

本工作提出一种抗旱节水造林新材料——蓄水渗膜材料, 该材料是采用研制的功能涂层导水纤维制备的纤维复合薄膜, 用该膜包装一定量的水, 埋入树苗根部构成地下小水库, 根据树苗对土壤水分的要求由导水纤维自动调节渗水, 保证树苗成活和存活, 实现水分有效利用。

1 实验方法

在天然植物纤维表面涂覆涂层, 涂层由不同质量比例的聚乙烯醇和超细层状无机材料复合而成。采用 XSP-9F 型显微镜、X-4 精密显微熔点测定仪和显微图像分析仪模拟实际工艺过程, 通过显微镜摄取样品在

加热过程中的显微照片,对导水纤维与基体在熔融过程中的复合过程进行了直观的检测并加以分析。采用美国 Perkin Elmer Diamond S 综合热分析仪对吸湿后的各试样进行检测分析。实验条件为氮气气氛,温度范围为 0~ 300 ,升温速率为 30 / min。

将制备的导水纤维与环境友好性高分子复合成薄膜,要求导水纤维两端分别暴露在薄膜的两面。用薄膜制袋包装一定量的水,在 M30 快速水分测定仪中测量不同温度下的失水率。时间为 30min,环境温度为 28 ,湿度为 30%。选用三种典型土壤(沙土、干旱土、荒山土),在真空干燥箱里烘干。把三个渗水膜同时放在 3000mL 烧杯中同一平面的土上,保证每次测量时,渗水膜的位置固定。用电子天平测量一定时间内蓄水渗膜在三种土壤中不同湿度下的初始和终了质量。时间为 24h,环境温度为 30 左右。应用蓄水渗膜在乌兰布和、三家子、额勒顺、清水河等地选取当地典型的树种进行造林实验,并设定不使用蓄水渗膜的对照林,定期测量造林成活率。

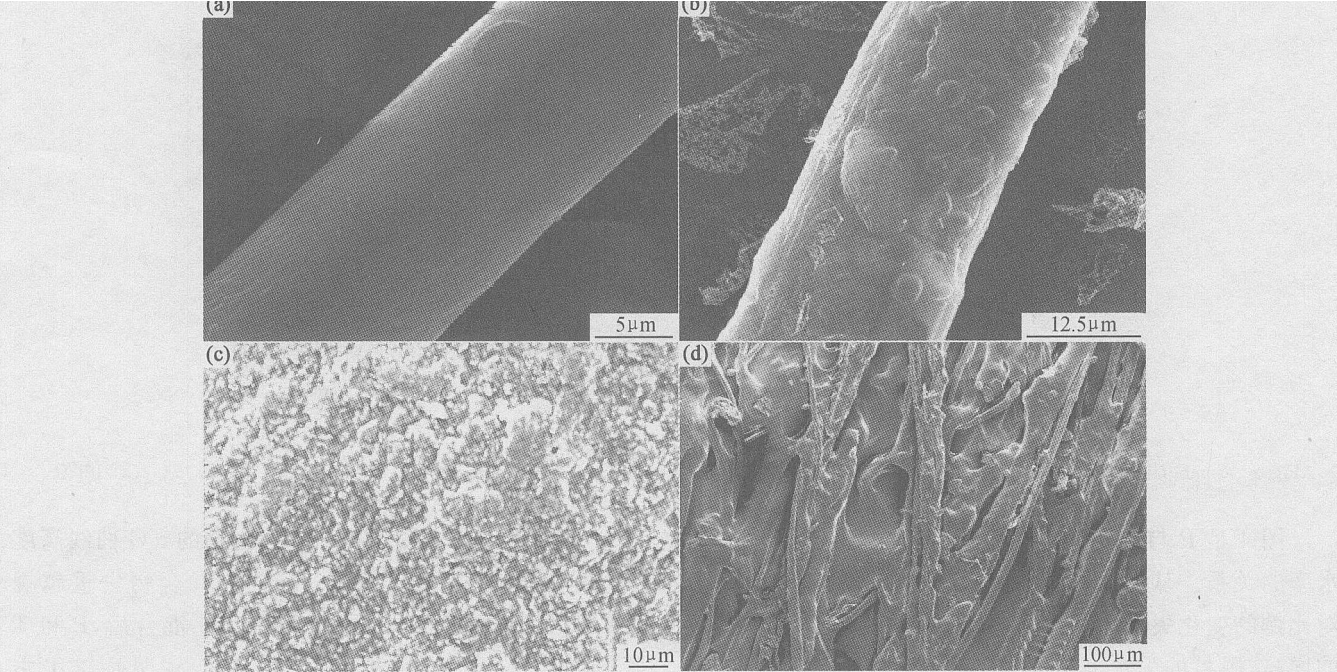


图 1 植物纤维以及导水纤维的表面形貌

(a) 脱脂后纤维; (b) 涂层化后纤维; (c) 涂层表面形貌; (d) 纤维与基体结合

Fig. 1 SEM of raw plant fibers and coated fibers (a) fiber after degreasing;

(b) fiber with coating; (c) surface topography of coating; (d) combination between fibers and resin matrix

并向纤维迁移,但是与纤维没有发生明显亲和,也就是说未处理纤维与高分子树脂在高温下的结合不理想。

图 3 是经 P 和 T 处理的纤维与基体的复合过程。可以看出该过程可以分为两个阶段:首先是粘流态高分子的熔融迁移过程,主要集中在 120~ 125 之间;然后就是高分子与涂层纤维的结合过程,主要集中在

2 实验结果与讨论

图 1 为植物纤维和导水纤维的表面形貌。图 1a 是用乙酸和氯化钠对植物纤维进行脱脂处理后的表面形貌,脱脂的目的是提高纤维与涂层的亲润性;图 1b 是纤维涂敷聚乙烯醇(P)和一种片层状无机物(T)涂层后的表面形貌。P 是一种水溶性高分子,它与 T、植物纤维以及高分子薄膜基材都有很好的相容性,P 相当于一种粘结剂,把 T 粘结在植物纤维上;图 1c 是纤维表面的涂层形貌,可以看到片状颗粒分散得均匀而致密;图 1d 是膜材切面的表面形貌,可以看到纤维与基体的结合。对纤维进行涂层处理的目的是使 P 与 T 形成的涂层遇水后发生溶胀,并能够根据涂层与外界环境的水势梯度而吸附或脱附水分,从而实现纤维可控缓释渗水的功能,另外还可以起到促进纤维与基体结合的作用。

图 2 是未处理纤维与高分子基体的加热结合过程。由图 2 可知,基体在 120 左右开始出现粘流态

125~ 130 之间。温度升到 130 左右时,纤维表面已经均匀地涂覆了一层基体材料,这表明经涂层处理的纤维与基体在高温下的结合性非常好。这是因为 P 与基体都属于高分子,在加热过程中与熔融态的基体有较强的亲合力,使得粘流态的基体向纤维迁移并且紧密包覆在纤维周围。

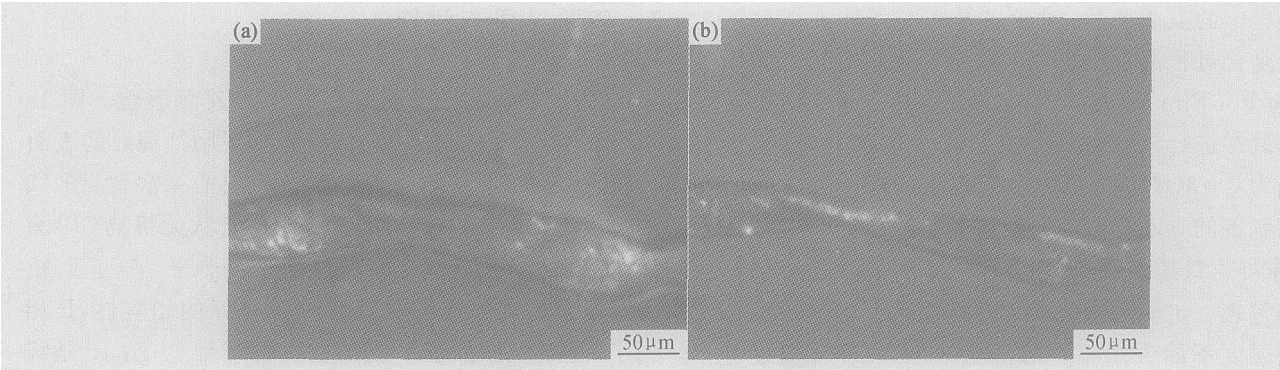


图 2 未处理纤维与高分子基体的加热结合过程 (a) 120 ;(b) 130

Fig. 2 Combination between raw fiber and resin matrix at high temperature (a) 120 ;(b) 130

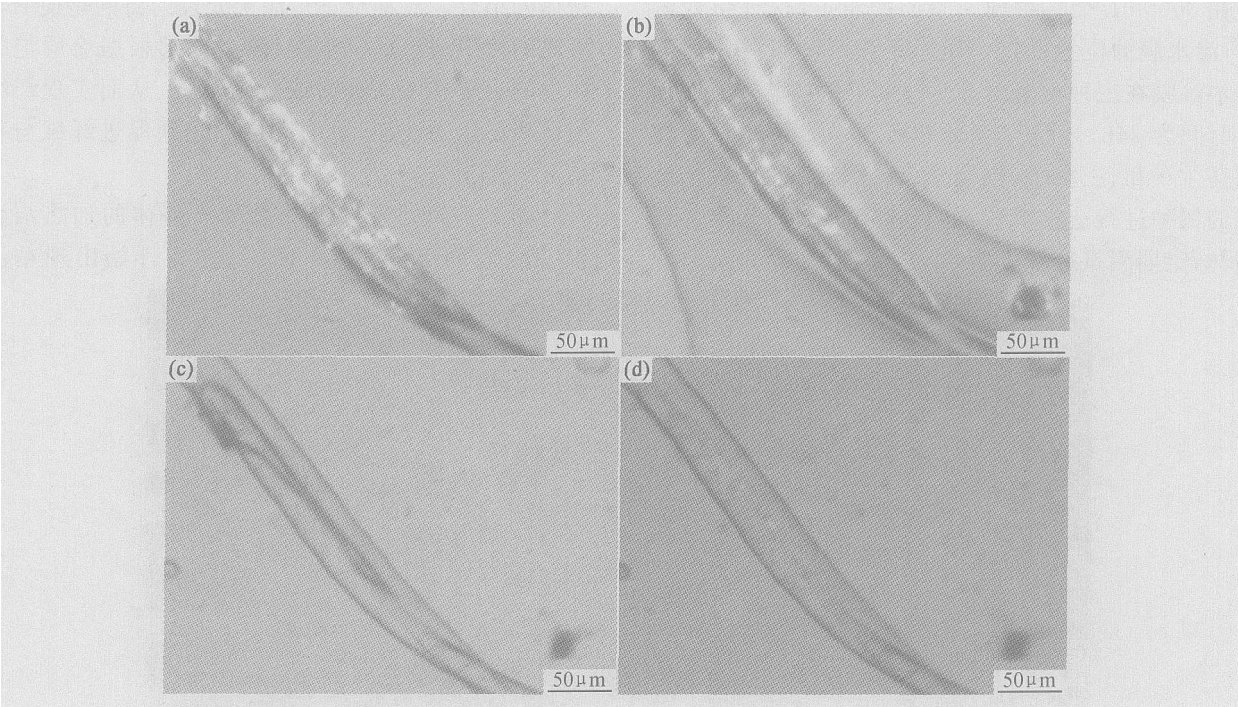


图 3 经 P 和 T 处理的纤维与基体的复合过程 (a) 110 ;(b) 120 ;(c) 125 ;(d) 130

Fig. 3 Combination between resin matrix and fiber coated with P and T at high temperature (a) 110 ;(b) 120 ;(c) 125 ;(d) 130

图 4 是 P 与 T 相对质量比例的变化与渗水膜失水率的关系。从图 4 可以看到,随着 P 与 T 的质量相对比例的变化失水率发生了显著的变化,随着 T 含量的增高,膜材的失水率增大;还可以看到随着纤维密度的增大,薄膜的渗水率明显增大。这样可以根据植物生长所需要的水量设计不同规格的薄膜。

图 5 是 P 与 T 以及其不同比例混合物的 TG 和 DSC 曲线。图中曲线的标识所含数字代表 P 与 T 的质量比例。从图 5 的 TG 曲线可知, P 在室温到 80 之间,由于失去物理吸附水而快速失重,在 200 左右开始分解; T 在室温到 80 之间,失去由范德华作用而吸附的自由水,其后保持稳定基本无变化;相对于 P 和 T,其混合物在低温加热时脱附水的特性发生改变。从图 5a 可知,混合物的 TG 曲线明显高于单独的 P 或

T,而且随 P 与 T 比例的不同,混合物的 TG 曲线高度也发生规律性的变化, T 含量越高,混合物失重越缓慢。从图 5b 的 DSC 曲线可知, P 与 T 混合后, P 和 T 原本在 60~ 80 内的吸热谷消失了,这说明 P 与 T 之间存在着相互作用,正是这种作用改变了 P 与 T 的吸附水特性,其吸附水的能力得到增强。

图 6 是蓄水渗膜包装水后水分失重率随温度的变化曲线,其中纤维涂层中 P 与 T 的比例为 1 : 9。可以看出,随着温度的升高,水分失重率增加,即蓄水渗膜的渗水速率随温度的升高而增大。

图 7 是蓄水渗膜在沙土、干旱土、荒山土三种土壤环境中的失水率随着土壤湿度的变化。由图 7 可知,蓄水渗膜在三种不同的土壤中的失水率都是随着土壤湿度的增加而减小,另外,不同的土质对膜材的渗

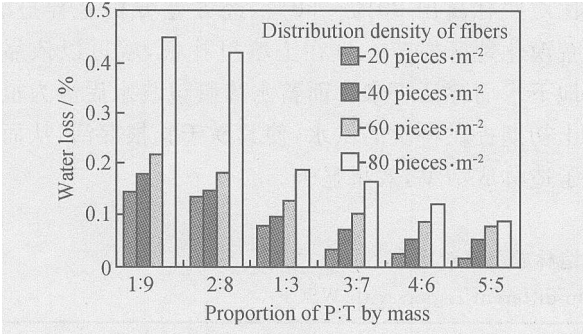


图 4 P 与 T 相对质量比例的变化与渗水膜失水率的关系(渗水膜面积 25cm²)

Fig. 4 The relationship proportion of P T and the water loss of WSCF (area of WSCF 25cm²)

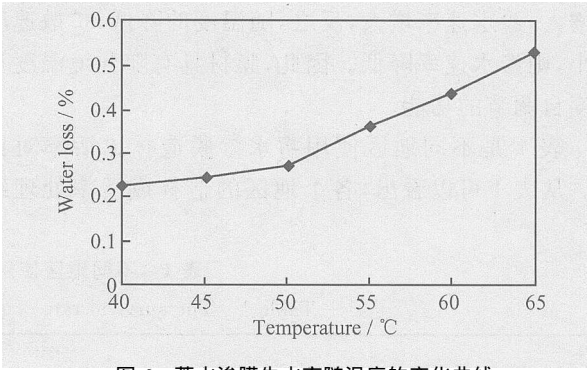


图 6 蓄水渗膜失水率随温度的变化曲线
(渗水膜面积 25cm², 纤维密度 40 束/m²)

Fig. 6 The water loss of WSCF versus temperatures (area of WSCF 25cm²,distribution density of fibers 40 pieces m⁻²)

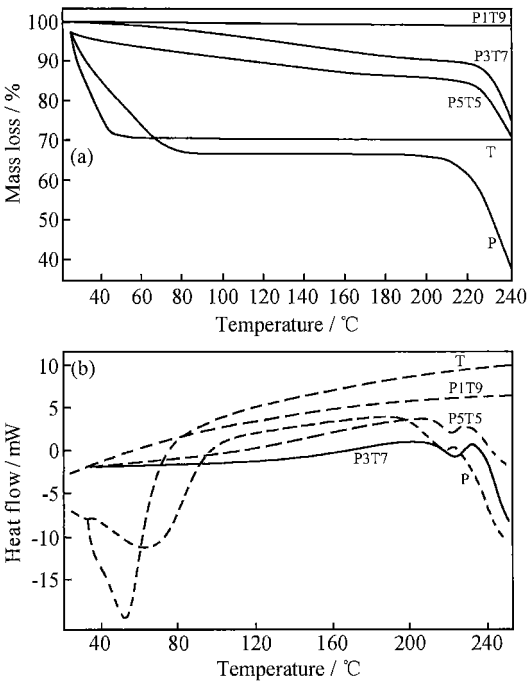


图 5 粘结剂 P、添加剂 T 及其不同比例混合物的 TG 和 DSC 曲线
(a)TG 曲线; (b) DSC 曲线

Fig. 5 TG and DSC curves of P, T and the mixture of them in different proportion (a)TG curves; (b) DSC curves

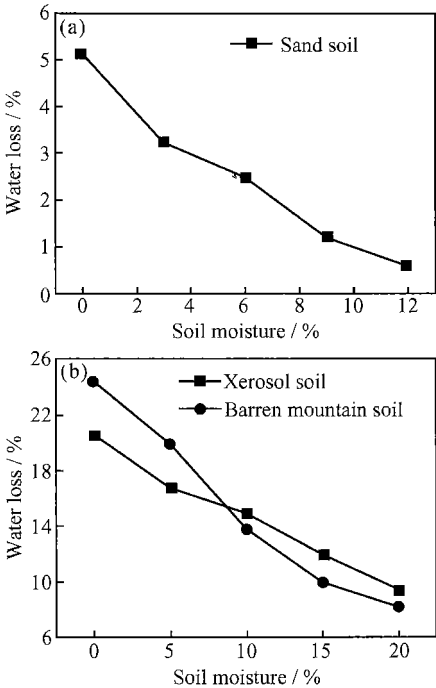


图 7 蓄水渗膜在三种不同土壤环境中失水率与土壤湿度的关系 (a) 沙土; (b) 干旱土和荒山土

Fig. 7 The water loss of WSCF in three different soil quality versus soil moisture (a) sand soil; (b) xerosol and barren mountain soil

水率也有一定影响。

图 8 为导水纤维结构示意图。纤维表面涂覆聚乙烯醇和层状无机超细颗粒涂层, 沿导水纤维从膜内 100% 湿度到膜外端具有一定的水势, 该水势由导水纤维涂层材料的不同组分决定, 不同组分涂层决定其对水分的吸附作用不同。涂层组分可以根据苗木生长规律和立地条件所需要的平衡渗水速率设计。当土壤湿度低于导水纤维膜外湿度时, 水势梯度增大, 渗水速率加快; 当土壤湿度增大时, 水势梯度缩小, 渗水速率降低(见图 7)。温度对渗水速率的影响可以归结为温度对水分子在纤维涂层中扩散的影响, 温度升高, 扩散速

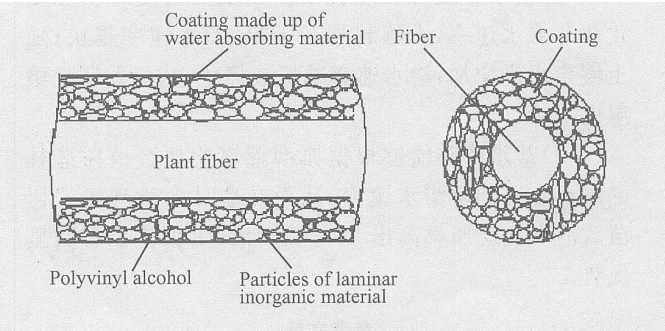


图 8 导水纤维结构示意图

Fig. 8 Structure of fiber coated with water absorbing material

度增大, 渗水速率增大, 反之, 随温度的降低, 扩散速度减小, 则渗水速率降低。因此, 膜材具有随环境温度和湿度自调节的功能。

表 1 是不同地区使用蓄水渗膜造林成活率对比表。从表 1 可以看出, 各个地区的造林成活率处理组

均比对照林高出 20% ~ 50%, 经方差分析差异显著。在荒漠化地区树苗一旦在土壤里扎根, 就可以依靠吸收地下水而存活下来。而蓄水渗膜包装水后恰为植物入土初期提供科学的供水, 使其易于扎根存活, 从而提高了造林成活率, 效果显著。

表 1 不同地区使用蓄水渗膜造林成活率对比表
Table 1 The survival rate of plantation in different region with WSCF

Site	Species of tree	Group	Tree age/ a	Initial number	Survival number	Survival rate (first year) / %	Survival rate (second year) / %
Wulanbuhe	Populus simcnii	Treatment group	2	1804	1763	97.7	95.6
	Garr nigra var. italica (Muench.) koehne	Control group	2	140	81	57.8	1.5
Sanjiazi	Populus simonii	Treatment group	1	62	58	93.5	93
	Carr	Control group	1	62	54	87	67
Eleshun	Hippophae rhamnoides	Treatment group	1	50	50	100	99
	L. subsp. sinensis Rousi	Control group	1	50	47	94	84
Qingshuihe	Pinus tabulae	Treatment group	3	464	305	75	75
	form is Carr	Control group	3	400	236	59	32
Qingshuihe	A. sibirica	Treatment group	1	500	475	95	94
		Control group	1	500	410	82	73
Qingshuihe	Larix principis- rupprechtii Mayr	Treatment group	3	407	399	98	94
		Control group	3	400	341	85	74
Qingshuihe	Hippophae rhamnoides	Treatment group	1	500	490	98	98
	L. subsp. sinensis Rousi	Control group	1	486	418	86	72

3 结论

- (1) 导水纤维经涂层处理后可实现与环境友好高分子基材的浸润结合。
- (2) 通过调整导水纤维涂层中的聚乙烯醇(P) 与片层无机物(T) 混合比例, 可实现不同的渗水速率。
- (3) 蓄水渗膜材料能够根据土壤的温度和湿度变化调节渗水速率, 土壤越趋于干旱, 渗水速率越快; 随土壤含水量增加, 渗水速率减慢或停止, 从而保证土壤湿度。
- (4) 蓄水渗膜能够根据典型荒漠化地区植树造林的需要合理调整渗水速率, 从而在造林实验现场的树苗成活率比对照林高出 20% ~ 50%, 生长量也有明显优势。

参考文献

[1] NICK MIDDLETON, DAVID THOMAS. World atlas of deserti-
fication [M]. New York: Central and South America by John Wi-

ley, 1997.
[2] 孙保平. 荒漠化防治工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
[3] 朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治[J]. 第四纪研究,
1998, (2): 145- 155.
[4] 王斌瑞. 黄土高原以抗旱造林为中心的造林技术的研究[M]. 北
京: 中国林业出版社, 1992.
[5] FANTA G F, BURR R C. Graft copolymers of starch copoly-
merization of gelatinized wheat starch with acrylonitrile: influence
of china modifiers on copolymer composition[J]. J Appl Polymer
Sci, 1967, 11: 457- 458.
[6] 王九龄. 吸水剂在北京低山阳坡造林中应用的系列研究(, , ,
) [J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增刊 1): 53- 69, 143- 165.
[7] 陈焕贵. 育苗容器制作与应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.

基金项目: 国家"863" 计划资助项目(2001AA1322100); 北京市教育委
员会共建计划产学研合作资助项目(ZH114140537)
收稿日期: 2005-12-12; 修订日期: 2006-02-04
作者简介: 张增志(1965-), 男, 博士, 副教授, 现主要从事生态功能材
料研究与开发工作, 联系地址: 中国矿业大学(北京) 生态功能材料研究
所(100083) 。