

功能导水涂层纤维的可控缓释水机制研究

Controllable Water-releasing Mechanism of
Water-releasedly Coated Fiber

张增志¹, 张利梅¹, 马向东², 杨春卫¹, 黄 华¹, 张玉肖¹

(1 中国矿业大学(北京)生态功能材料研究所, 北京 100083;

2 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

ZHANG Zeng-zhi¹, ZHANG Li-mei¹, MA Xiang-dong²,

YANG Chun-wei¹, HUANG Hua¹, ZHANG Yu-xiao¹

(1 Research Institute of Ecological and

Functional Material, China University of Mining and Technology,

Beijing 100083, China; 2 School of Mechanical Electronic & Information

Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

摘要: 将吸水性有机高分子 PVA 与超细蒙脱石颗粒混合成胶体, 涂敷于天然植物纤维表面, 制备出一种具有可控缓释水功能的导水涂层纤维。利用环境扫描电镜观察涂层纤维表面形貌, 采用热重法分析涂层材料吸-脱附水特性, 采用快速水分测定仪测量了膜材包装水后失水率和土壤湿度的关系, 分析涂层纤维的动态水分运移机制。实验结果表明, 蒙脱石颗粒充分分散在 PVA 胶体网络间隙, 纤维水势高的一端 PVA 溶胀, 蒙脱石颗粒发生断桥, 水分运移依靠 PVA 吸-脱附作用; 纤维水势低的一端 PVA 脱水, 蒙脱石颗粒桥接形成传水通道。由此实现了由分子传水和层间传水能垒不一致导致的沿纤维纵向水势梯度变化而形成的水分运移的过程机制。

关键词: 导水纤维; 涂层; 水势梯度; 水分运移

中图分类号: TB332 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2008)07-0072-04

Abstract: A water-releasedly coated fiber was presented. The natural plant fiber was coated with mixed colloid composed of sop organic macromolecule(PVA) and ultra-fine montmorillonite grain. The micro-appearance of the coated fiber was described by the environment scanning electronmicro-scope. The desorption of the mixed colloid was detected by thermogravimetry. The water-releasing characteristics with various soil moisture were analyzed by fast water-equipment. The water-releasing mechanism was proposed. The results showed that the montmorillonite grain were distributed evenly throughout PVA. At the side of high flow of water on of the fiber, PVA swelled to transfer water. At the other side, PVA shrinked so that the montmorillonite grain join to form the transferring channels due to the low flow of water, by which, the water-releasing mechanism that water were trasferred because of different water potential caused by discordant energy barriers was realized.

Key words: water-releasing fiber; coat; water potential; water transferring

荒漠化是全球面临的严峻课题, 90 年代以来, 我国荒漠化土地面积以 $2460\text{km}^2/\text{年}^{[1]}$ 的速度增加。荒漠化地区生态恢复是一个难题, 这些地区蒸发量高达 $1500\sim 3000\text{mm}^{[2]}$, 而降水量却一般在 300mm 以下, 地表保墒性极差, 采用传统灌溉方法不仅无法保证树苗成活, 甚至导致地下水下降, 还造成大量的水资源浪费, 不利于生态建设的可持续发展。

目前国内外在节水造林领域的研究方法主要有集水技术、保水剂和固体水技术、滴渗灌技术等。集水技

术在全世界范围内普遍用于人畜饮水、粮食生产、抗旱造林、发畜牧业、盐碱地的改造、城市生活和工业用水及农林业生产的缺水问题^[3-6]。我国在抗旱造林中采用水平阶、水平沟、鱼鳞坑等简单的整地方式进行集水以提高造林成活率, 但取得的效果并不显著。保水剂通过特殊的分子结构从外界吸收水分, 具有较强的保水性^[7-9], 但分子网络所吸收的水分不能被简单的物理方法挤出, 而且盐分、电解质肥料会降低保水剂的吸水性^[10]。固体水中 98% 的成分为水, 在土壤微生物的

作用下缓慢释水, 由于吸水比率大, 保水时间短, 且耐盐差, 在荒漠地区难以保证植物扎根存活。滴渗灌技术能够保证长期供水, 但造价高、需定期清理钙化塞孔、适合经济作物, 不适合植树造林^[11]。另外, 如容器育苗^[12]、生根粉^[13]、蒸腾抑制剂^[14]、沙区喷膜^[15]等技术均离不开浇水。

功能导水涂层纤维由天然植物纤维涂层化处理而成, 具有可控缓释水的特性, 将功能导水涂层纤维与环境友好性材料复合, 制备出一种新型的节水造林新材料——蓄水渗膜, 用该膜材包装一定量的水, 埋入树苗根部, 根据树苗对土壤水分的要求由导水纤维自动调节渗水速度, 可保证苗木生长过程中根部的合理土壤湿度。本工作主要研究功能导水涂层纤维可控缓释水特性的实现及动态传水过程机制。

1 实验方法

1.1 实验材料

涂层材料由吸水性有机高分子(PVA)与超细钙基蒙脱石颗粒组成, 加入微量明胶促进成膜。组成比例如表 1 所示(质量分数)。配制成复合胶体溶液, 涂敷于天然纤维表面, 烘干处理, 制备出功能导水涂层纤维。

表 1 涂层材料成分

Table 1 Components of the coat

Component	Mass fraction/ %
Montmorillonite	5-45
PVA	0.5-15
Gelatin	0.5-2
Distilled water	Remain

1.2 实验方法

采用 Perkin Elmer DiamondS II 综合热分析仪分析涂层材料主要成分的吸附水性能; 采用 MiVnt 显微图像分析系统和 FEIQuanta2000 环境扫描电子显微镜采集涂层纤维表面宏观和内部微观形貌; 然后将上述长度一致的导水纤维按照 16 束/dm² 的密度植入环境友好性薄膜中, 导水纤维贯穿薄膜, 薄膜包装定量水后, 在 M30 快速水分测试仪上测定不同温度下导水纤维的失水率。

2 结果与讨论

选用的粘结剂 PVA 是一种轻度交联的具有三维网状结构的高分子聚电解质, 其大分子链上具有大量的亲水基团, 依靠其内部的三维空间网络的作用, 吸收大量的自由水储存其间, 使得网络空间扩展开来, 发生

溶胀。蒙脱石是 2:1 型结构的天然层状硅酸盐矿物, 由于矿物结构中的异价类质同象置换现象, 片层之间存在吸附性可交换阳离子, 这些阳离子常处于水化状态, 片层之间作用力较弱, 在水中易吸水膨胀, 层间距增大, 可吸附大量层间水和吸附水。

从涂层材料的微观形貌来看(如图 1 所示), 蒙脱石在含 PVA 的水溶液中颗粒趋于最小化, 充分分散在 PVA 的网络间隙中。这是由于 PVA 是多羟基水溶性聚合物, 与亲水性的蒙脱石具有很强的亲和作用。因此, 向充分水化的蒙脱石悬浮液中加入 PVA 并加热使之溶解, 充分混合后, 蒙脱石片层完全剥离分散于 PVA 基体中, 从而形成许多孔洞, 具备固水、缓释等功能。从热分析来看(如图 2 所示), 脱除层间水和吸附水的时候, 蒙脱石的结构未遭到破坏, 此阶段的脱水是可逆的。而层间水、吸附水和蒙脱石的结合较弱, 故其脱除温度一般较低。

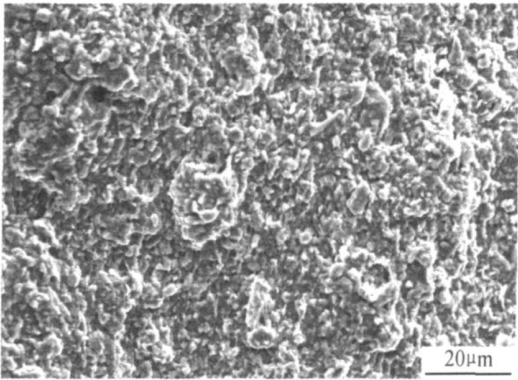


图 1 涂层微观形貌

Fig. 1 Outside appearance of coated fiber

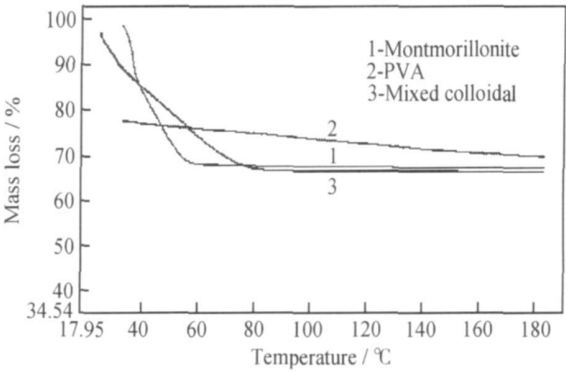


图 2 涂层材料的热重曲线

Fig. 2 TG curves of the coated fiber

导水纤维涂层处理前后的表面形貌如图 3 所示。涂层均匀覆盖于天然纤维表面, PVA 吸水溶胀或脱水时蒙脱石颗粒在水合官能团作用下发生对应的断桥或桥接。

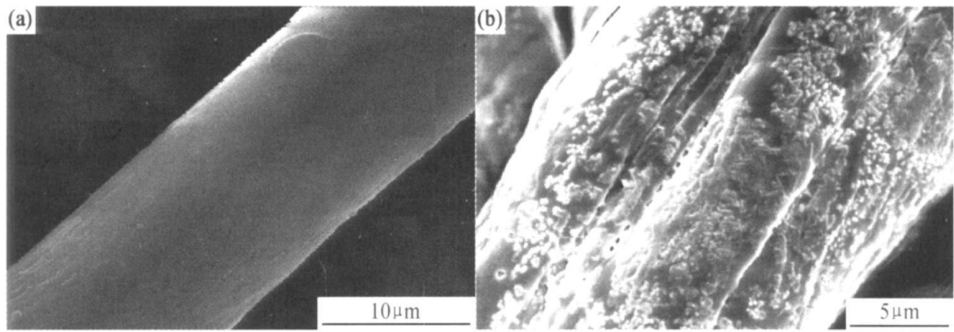


图 3 导水纤维的微观形貌 (a) 原纤维; (b) 涂层化后纤维
Fig. 3 SEM of coated fibre (a) original fiber; (b) coated fiber

图 4 为导水涂层纤维的传水方式, 膜内包装有水, 膜外是沙漠化土地或干旱的土壤。导水纤维贯穿薄膜, 由于纤维两端水势不同, 膜内水分通过纤维涂层自发地向膜外运移, 实现了水分的传导。图 5 是导水涂层材料动态传水机制模型, 表示了涂层材料膜内水分和膜外土壤间通过 PVA 的树形分子结构吸-脱附水的分子传水和蒙脱石片层间通道传水的自发传水过程。涂层纤维一端与包装水接触, 由于该端水势高, PVA 吸水溶胀, 蒙脱石颗粒断桥, 水分运移主要依靠 PVA 吸-脱附作用(见图 5a)。在与土壤接触的另一端, 由于水势较低, 蒙脱石颗粒处于桥接状态, 水分运移主要依靠蒙脱石颗粒(见图 5c)。由于 PVA 与蒙脱石颗粒间的吸-脱附水能垒不一致, 导致沿导水纤维纵向形成不同的水势梯度, 由此形成了水分的运移。通过设计

PVA 与蒙脱石比例, 可确定纤维膜外端水势, 该水势由苗木成活的土壤合理湿度决定。

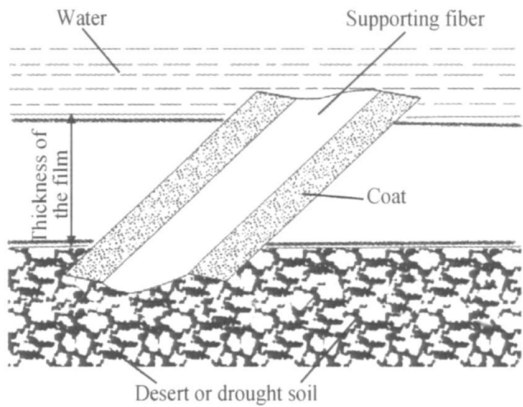


图 4 涂层材料传水方式示意图
Fig. 4 Water transferring diagram of the coat

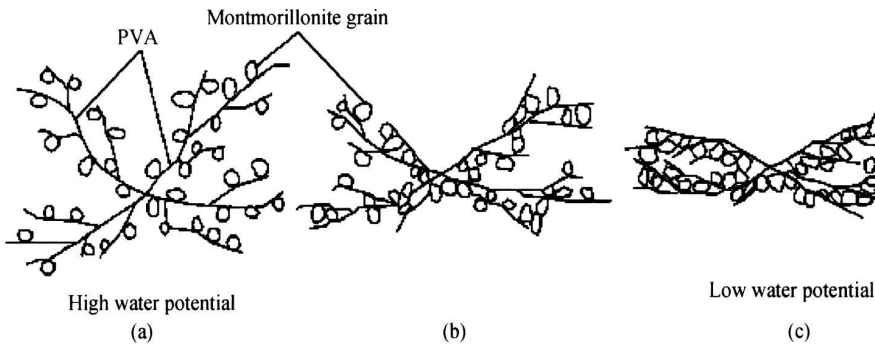


图 5 涂层材料传水机制示意图 (a) 高水势状态; (b) 过渡状态; (c) 低水势状态
Fig. 5 Water transferring mechanism diagram of the coat
(a) high water potential status; (b) transition status; (c) low water potential status

将涂层导水纤维按照 $16/\text{dm}^2$ 的密度植入环境友好性薄膜中, 膜包装水埋入相对土壤湿度分别为 5%, 10%, 15%, 20% 的荒漠化典型土壤(取自内蒙古乌兰布和沙漠流沙区)中, 测量并计算导水纤维在不同湿度条件下的失水率, 如图 6 所示。从图 6 可以看出, 土壤相对湿度低的环境导水纤维的释水较快, 不同的土壤湿度下导水纤维表现为对土壤湿度的可调节性。

对不同土壤湿度条件下的纤维涂层材料进行热性能分析, 如图 7 所示。从图 7 可以看出, 土壤湿度小的涂层材料中水分损失较大, 说明在湿度较低的时候导水涂层吸附了较多的水分, 因此土壤湿度低的时候导水纤维的吸-脱附水速度较高, 而土壤湿度较高时导水纤维的吸-脱附水速度相应降低。这也验证了导水纤维可根据不同土壤湿度动态调节其渗水速度, 及时满

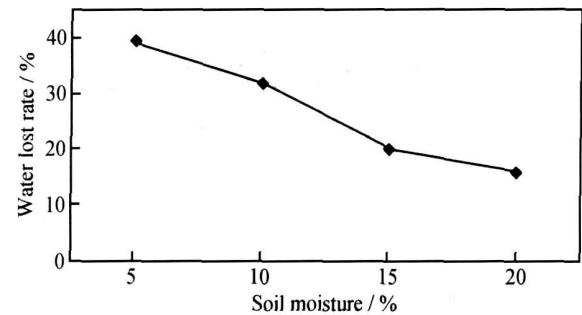


图 6 导水纤维随土壤湿度变化失水曲线

Fig. 6 Water lost rate with different soil moisture

足苗木生长的合理水分需求。

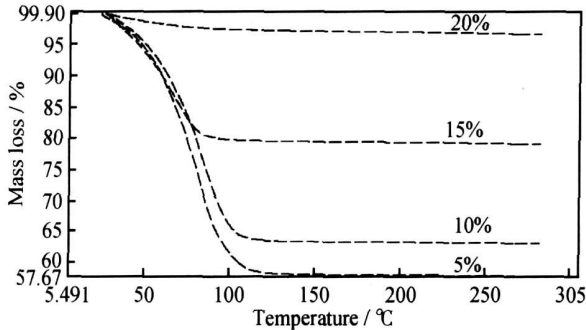


图 7 不同湿度下涂层材料的 TG 曲线

Fig. 7 TG curves of the coat material with different drying degree

3 结论

(1) 蒙脱石在含 PVA 的水溶液中颗粒趋于最小化,充分分散在 PVA 的网络间隙中。

(2) 涂层纤维两端水势的不同形成了 PVA 与蒙脱石颗粒间吸、脱附水能垒不一致,导致沿导水纤维纵向形成不同的水势梯度,实现了水分的传导。

(3) 不同的土壤湿度下导水纤维的渗水速度具有自调节性,及时满足苗木生长的合理水分需求。

参考文献

[1] CCICCD. China country paper to combat desertification[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996. 18- 31.

[2] 赵瑾,张增志,张利梅,等. 粉煤灰材料的控释水特性[J]. 功能材料,2007, 38(5): 809- 811.

[3] HARDAN A. Proc water harvesting symp Phoenix[R]. Berkeley, Calif: US Dept of Agriculture, 1975. 60- 61.

[4] SCHREIBER H A, FRASIER G W. Increasing rangeland forage production by water harvesting[J]. Soil Sci Soc Am J, 1982, 46: 602- 807.

[5] FINK D H. Paraffin-wax water-harvesting soil treatment improved with antistripping agents [J]. Soil Science, 1984, 138 (1): 46- 53.

[6] FINK D H, EHRLER W L. Runoff farming for growing christmas trees[J]. Soil Sci Soc Am J, 1983, 47: 983- 987.

[7] 马天新,庞中存,陆袖珍. 土壤保水剂在我省旱作农业上的应用展望[J]. 甘肃农业科技, 1997, (12): 31- 32.

[8] 王九龄. 吸水剂在北京低山阳坡造林中应用的系列研究(I , II , III, IV) [J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增刊 1): 53- 69, 143 - 165.

[9] 尹国平,农韧钢,刘革宁. 高吸水剂在我国林业上的研究进展 [J]. 世界林业研究, 2001, 14(2): 50- 54.

[10] 王九龄. 太行山石质山地造林技术的研究论文专辑[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增刊 1): 512- 516.

[11] WALLACE G, WALLACE A. Control of soil erosion by polymeric soil conditioners[J]. Soil Science, 1986, 141(5): 363- 367.

[12] TINUS R W, MCDONALD S E. How to grow tree seedling in containers in greenhouse[R]. Fort Collins, Colorado, USA: US Forest Products Laboratory, 1979.

[13] 连雪斌,李嘉汪,冯达,等. ABT 生根粉在干旱半干旱地区林木育苗中的应用研究[J]. 甘肃林业科技, 1994, (1): 28- 35.

[14] 王一鸣. 我国抗蒸腾剂的研究与应用[J]. 腐植酸, 2000, (4): 35- 40.

[15] 邱兆国,郑晓静. 化学固沙结皮力学性能的研究[J]. 应用力学学报, 2006, 23(2): 325- 328.

基金项目: 国家“ 863” 计划资助项目(2001AA322100); 教育部重点资助项目(106086); 北京市产学研共建资助项目(ZH114140537)

收稿日期: 2007-10-18; 修订日期: 2008-01-16

作者简介: 张增志(1965—), 男, 教授, 博士, 主要从事生态功能材料研究与开发. 联系地址: 北京市海淀区学院路丁 11 号中国矿业大学(北京) 生态功能材料研究所(100083). E-mail: z. zengzhi@ 163. com