

新型生物可降解 PLA 沙袋沙障降解特性 及其影响因子探究

赵文玲

(内蒙古农业大学, 呼和浩特 010010)

摘要:为了延长新型生物可降解聚乳酸(PLA)纤维材料在防沙治沙中的使用寿命,通过对野外铺设 5 a 的 PLA 沙袋沙障材料采样测试,结合室内控制温度、湿度单因子试验分析了 PLA 沙袋沙障的降解特性及影响因子。结果表明:高温高湿条件能够促使 PLA 沙障材料在短时间内降解。在沙区迎风坡中部的 PLA 纤维机械性能损失最大;沙障暴露面 PLA 纤维的机械性能损失率比贴地面大,相差可达 12.29%,沙障障体迎风面机械性能损失率最大。夏季雨后高温及频繁剧烈地风沙活动是影响 PLA 沙障材料降解的主要因子。

关键词:生物可降解沙障;聚乳酸纤维;影响因子;降解特性

中图分类号:S775

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0198-05

Analysis of Degradation Characteristic and Its Effect Factors of New Biodegradable PLA Sand Barrier

ZHAO Wenling

(Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China)

Abstract: To delay the use time of new biodegradable poly lactic acid fiber in desertification control process, we investigated and determined the PLA sand barrier materials laied on the bare sand dune for 5 years and combined the laboratory experiments of single-factor controlling temperature and soil moisture to analyze degradation characteristic and its effect factors of PLA sand barrier. The results showed that high temperature and high humidity could accelerate degradation process of PLA sand barrier materials. Mechanical performance loss of PLA fiber was the largest in mesoslope of upwind and windward side. The mechanical performance loss of sand barrier materials exposing to air was larger 12.29% than that of sand barrier materials facing the ground. The high temperature occurred after rain in summer and fluent and intensive blown-sand activities were the main factors leading to PLA sand barrier material degradation.

Keywords: biodegradable sand barrier; poly lactic acid fiber; effect factors; degradable characteristic

荒漠化已成为阻碍人类可持续发展的生态环境问题之一,全球约有 1/4 的土地、2/3 的国家和地区、1/5 的人口不同程度地受到荒漠化的危害^[1]。据《第四次中国荒漠化和沙化状况公报》:我国国土面积的 27.33% 为荒漠化土地,其面积高达 262.37 万 km²,与 2004 年相比,尽管我国的土地荒漠化趋势整体得到初步遏制,荒漠化土地面积持续减少,但我国土地荒漠化的严峻形势仍未发生根本性改变^[2]。以现有技术评估,并考虑到全球变暖的影响,预计未来 50 a 需要治理的荒漠化国土面积为 $5.5 \times 10^5 \sim 10 \times 10^5$ km²,若以每年 1.5 万~2.2 万 km² 的治理速度计

算,大约需要 45~70 年方可完成我国荒漠化土地的总体治理^[3]。因此,荒漠化仍然是我国当前面临的最为严重而又亟待解决的生态环境问题^[4-6]。

机械沙障是十分有效的荒漠化防治措施^[7-8],具有见效快、不需水源、较耐沙埋等优点,在工程防沙中得到了广泛应用。但防沙治沙是一项系统工程,防护效益是一个综合指标,受材料性质、成本、劳务等多种因素的影响^[9],因此探索、引进新型沙障材料成为沙漠治理专家关注的焦点。近些年采用布料、化纤等材料为外包装材料制成的土工沙障,初步解决了西北荒漠地区作物秸秆沙障材料和土石沙障材料匮乏的问

题而备受关注。针对传统作物秸秆沙障和化学纤维沙障存在易老化腐烂、机械强度差、防沙寿命短、布设费时费力等缺点。我们结合多年的荒漠化防治实践经验,从日本引进一种新型的以玉米、甜菜为原料的聚乳酸纤维(Poly Lactic Acid,简称 PLA)纺织成类似筒状的沙袋作为外包装材料,就地取材就流沙装入后制作沙障。该材料具有运输方便、可在大气作用下自然降解成 H_2O 和 CO_2 的新型环保材料的特点^[10]。在过去几年,我们针对 PLA 沙障在防沙治沙领域中的应用取得一些研究成果^[11-14],同时也发现沙障在使用过程中,存在漏沙现象,极大缩短了沙障使用寿命。本研究通过对野外铺设的 PLA 方格沙障降解规律研究,结合室内控制性试验分析 PLA 纤维沙障在不同水热环境下的降解特性,初步探究影响 PLA 纤维沙障降解的影响因子,为延长 PLA 纤维沙障在沙区环境下的使用寿命提供理论依据。

1 研究区概况

试验区位于乌兰布和沙漠西南缘的吉兰泰盐湖北部沙漠带外围,地理坐标为 $39^{\circ}46'01''-39^{\circ}45'54''N$, $105^{\circ}40'28''-105^{\circ}46'42''E$,海拔高度 1 030~1 045 m^[15],研究区以流动、半固定沙丘为主,沙丘形态有新月形沙丘(链)、垄状沙丘、格状沙丘、灌丛沙堆^[16],属于典型的温带大陆性干旱气候,具有干旱少雨,蒸发量大,风大沙多,雨热同期的气候特点,多年平均降水量 107.8 mm,潜在蒸发量 2 956.8 mm,平均气温 $8.6^{\circ}C$,最高气温 $40.9^{\circ}C$,最低气温 $-31^{\circ}C$ 。以东北、西南风最大,其次为西北风,但大于 10 m/s 以上的主害风是以西北风为主,年平均扬沙日数为 85 d,风沙流的出现频率为 113 次/a。土壤有风沙土、漠钙土、草甸土,部分地段分布有盐碱土等。风沙区主要植被以唐古特白刺(*Nitraria Tangutorum* Bobr.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙冬青(*Ammopiptanthus* (Maxim.) Chengf.)、阿拉善沙拐枣(*Calligonum alaschanicum*)、怪柳(*Tamarix chinensis* Ledeb.)、沙米(*Agriophyllum squarrosum* Linn.)、猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)、油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch.)、柠条(*Caragana koishienskii* Kom.)、籽蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch.)、胡杨(*Populus euphratica* Oliv. *P. diversifolia* Schrenk.)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia* L.)等^[15]。

2 研究材料及方法

2.1 研究材料

本研究所用的沙障外包装材料为 PLA 纤维,分子式 $(C_3H_4O_2)_n$,用小圆机织法织成线密度为 16.7

tex,比重为 $1.25 g/cm^3$,240 针的白色圆筒状针织物(未填充流沙时的自然径粗 8~10 cm)。沙障铺设时,将圆筒织物一端打成死结,另一端套在径粗 10~15 cm 的 PVC 管上,而 PVC 管另一端将流动沙丘上的风沙土灌装在其内形成了圆柱体的障体单元(圆柱体直径约为 20 cm),进而采用编席的方式,相互叠压,铺设在坡度平缓的沙垄表面铺设形成格状沙障。

2.2 研究方法

(1) 沙区自然环境下 PLA 纤维材料的降解特性研究。于 2012 年 9 月初选取铺设 5 a 的 $1 m \times 1 m$ 的典型沙丘,分别在迎风坡坡底、迎风坡坡中、坡顶、背风坡坡中和背风坡坡底进行取样、标记后带回实验室测定。取样时,将沙袋沙障暴露于空气的一侧和贴地面的一侧用记号笔划分后按照经向和纬向取样,其中经向障边是与沙丘走向垂直的障边,而纬向障边是与经向障体垂直的障边(图 1)。

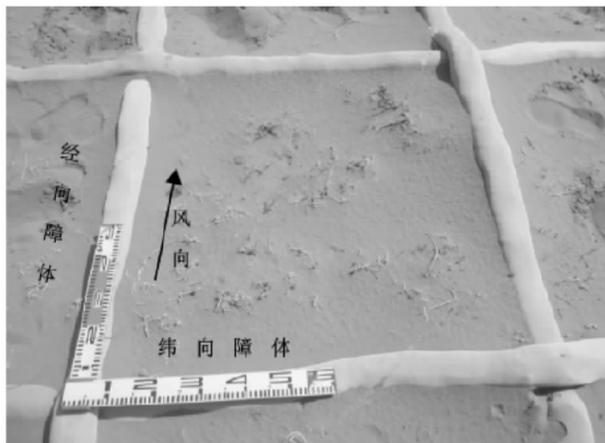


图 1 $1 m \times 1 m$ 格状 PLA 沙障

(2) 室内控制性因子试验。温度控制性试验:将与野外铺设的沙障材料一致 50 cm 长的障体单元放置在盛有土壤含水量 10% 的风沙土铁盘内,为了避免因湿度差异导致的降解误差,铁盘上均盖有透明玻璃盖,且在盘沿与玻璃接触部位涂有甘油达到密封的效果。本研究依据沙区环境温度大,且夏季最高地表温度可达到 $70^{\circ}C$,将温度设置 $-15^{\circ}C$, $4^{\circ}C$, $60^{\circ}C$ 和 $80^{\circ}C$ 共 4 个梯度,其中 $60^{\circ}C$ 和 $80^{\circ}C$ 高温条件在烘箱内模拟, $4^{\circ}C$ 和 $25^{\circ}C$ 中温在光照培养箱(JC-GPJ-300)内模拟,而 $-15^{\circ}C$ 低温在冰箱内实现,处理时间均为 70 d。湿度控制性试验:同温度控制性试验一样,将盛有障体和风沙土的铁盘放置在室温下用玻璃盖密封,将土壤含水量分别设置为试验区土壤田间持水量的 3%, 6%, 9% 和 15% 共 4 个梯度,定期采用时域反射仪(TDR)速测土壤含水量并进行补充,处理时间为 154 d。

(3) 测试指标及方法。①力学性能指标。先将野外取回来的试样放置在标准大气下调湿平衡处理

能损失率大于东侧面。这是由于暴露空气一侧障体长期受太阳紫外线照射,且温度较高,加之沙丘坡中处的较为剧烈的风沙活动导致 PLA 沙障的坡中处的障体机械性能损失最大,暴露空气一侧的障体机械性能

损失较贴地面一侧大,迎风一侧(北侧面和西侧面)障体机械性能损失较积沙一侧(南侧面和东侧面)大。总之,沙障障体的北侧面和西侧面拉伸强力损失最大(与主风向垂直),其次为暴露面,贴地面损失最小。

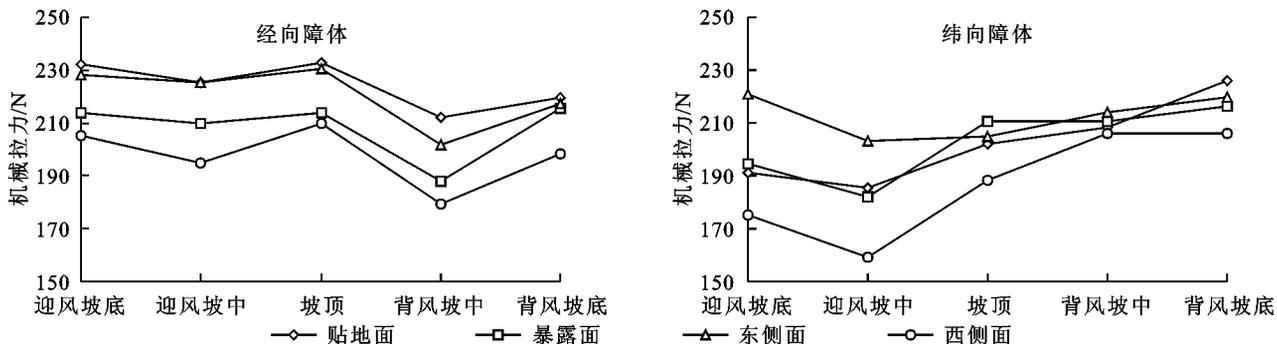


图 3 不同方位障体各部位的拉伸强力变化

3.3 PLA 沙袋沙障降解因子分析

3.3.1 温度对 PLA 纤维降解的影响 沙区地表温度具有显著的昼夜温差和季节温差,夏季(7—8月)地表土壤温度可高达 70℃,而在冬季(12月—次年1月)地表土壤温度可低至-10℃以下。为了探究在沙区环境下不同季节 PLA 纤维沙障材料降解速率,本研究人工模拟不同温度(-15℃, 4℃, 25℃, 60℃, 80℃)对 PLA 纤维沙障材料降解的影响,分别在各温度后的 1 d, 2 d, 3 d, 7 d, 14 d, 35 d 和 70 d 进行质量损失率测试,结果如图 4 所示。

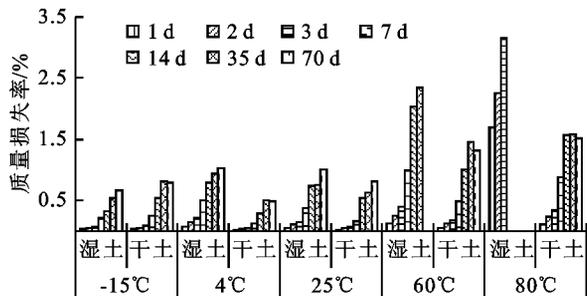


图 4 温度对 PLA 沙障材料质量损失率的影响

从图 4 可以看出:随着温度的升高及处理时间的延续,PLA 沙障材料的质量损失率呈现增加的趋势,其中经过在干土、4℃环境下处理 70 d 的 PLA 沙障材料质量损失率最小,仅为 0.48%;在 80℃湿土条件下仅处理 7 d 后 PLA 沙障材料已降解破碎无法称量。湿土环境下的 PLA 沙障材料质量损失率大于干土环境,在湿土、60℃环境下 PLA 沙障障体可保存 35 d,而在 80℃下仅可保存 3 d。方差分析表明,在低温和中温条件下干土和湿土处理间差异不显著($p < 0.05$),而在高温(60℃和 80℃)条件下两者差异达到极显著水平($p < 0.01$)。经分析认为,只有在温度和湿度共同作用下,加速了 PLA 沙障障体的降解速率,因此可以认为在沙区环境下夏季雨后高温环境是促

使 PLA 沙障材料降解的主要因子。

3.3.2 土壤含水量对 PLA 纤维降解的影响 干旱、半干旱沙漠地区的表层土壤含水量一般为 3%~5%,即使在半湿润荒漠区流沙表层土壤含水量均 $< 15%$ 。为了研究沙区环境下同一季节不同立地条件或不同气候区域条件(立地条件导致土壤含水量差异)下 PLA 沙障障体材料的降解速率,本研究将 PLA 沙障材料分别铺设在沙表和沙内 2 种环境下,设置 3%, 6%, 9%, 12% 及 15% 五个土壤含水量梯度,为探究 PLA 沙障在不同气候区域下的使用寿命提供参考。

从图 5 可以看出,随着处理时间的延续,PLA 沙障材料不论是在沙表铺设还是埋在沙内均表现出沙障材料失重率增大的现象,且在铺设早期材料失重率较大;随着土壤水分含量的增加,沙障材料失重率呈现增加的趋势。在沙表铺设 7 d 后不同土壤含水量间的 PLA 沙障材料失重率间出现了一定差异,且土壤含水率 15% PLA 沙障材料失重率显著高于土壤含水率 3% ($p < 0.01$)。在不同土壤含水量条件下处理 150 d 后 PLA 沙障材料失重率表现为沙障材料铺设较高土壤含水量(15%和 12%)环境中降解速率显著高于其它 3 种处理,且沙障材料失重率在中低土壤含水量(3%, 6%和 9%)间差异不显著($p > 0.05$)。将 PLA 沙障材料铺设在沙土表面和埋在沙土内 2 种环境下沙障材料的质量损失率表现为:铺设在沙土表面的材料失重率均大于埋在沙土内的材料失重率,土壤含水量 15%条件下处理 150 d 后沙土表面的材料失重率较沙土内材料高出 0.19%,两者未达到显著差异水平($p > 0.05$)。

综上所述,PLA 沙障材料降解速率随土壤水分含量越高,沙障材料降解速度越快。同一土壤含水量条件下,在沙土表面铺设的沙障材料降解速率大于埋

在沙土中的沙障材料。但在本研究 15% 土壤含水量处理 150 d 后, PLA 沙障材料失重率仅为 1.27%。

由此认为, 土壤含水量不是影响沙障材料快速降解的主要因素。

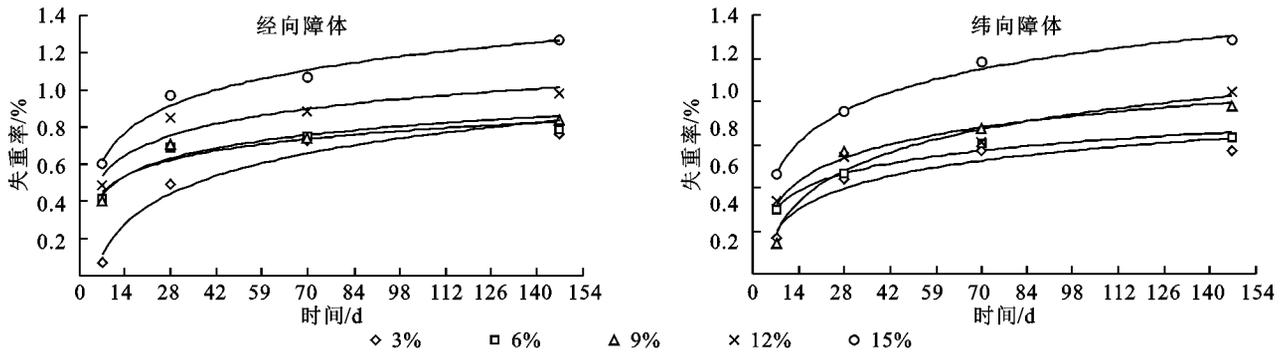


图 5 土壤水分含量对 PLA 纤维材料失重率的影响

4 结论

PLA 沙障材料在沙丘迎风坡中部处及障体迎风侧机械性能损失最大; PLA 沙障暴露空气一侧的机械性能损失显著高于贴近地面一侧。PLA 沙障材料降解速率随土壤水分含量增加而加快; 在沙土表面铺设的沙障材料降解速率大于埋在沙土中的沙障材料; 高温高湿环境可以促使 PLA 沙障材料快速降解。在沙区环境条件下, 夏季雨后高温和剧烈频繁地风沙活动是促使 PLA 沙障材料快速降解的主要因素。

参考文献:

- [1] 回良玉在治理荒漠化国际会议开幕式上强调[N]. 人民日报, 2008-01-23(2).
- [2] SFA(State Forestry Administration, P. R. China). A bulletin of status quo of desertification and sandification in China[EB/OL]. <http://www.forestry.gov.cn>. 2011.
- [3] 王永芳, 包慧娟, 海春兴, 等. 防护林对科尔沁沙地耕地土壤理化性质的影响[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 1009-1013.
- [4] 王晓峰. 荒漠绿洲过渡带灌丛(草)沙堆土壤养分特征研究: 以新疆和田河流域为例[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2008.
- [5] 吴波, 苏志珠, 陈仲新. 中国荒漠化潜在发生范围的修订

- [J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 911-917.
- [6] 崔向慧, 卢琦. 中国荒漠化防治标准化发展现状与展望[J]. 干旱区研究, 2012, 29(5): 913-919.
- [7] 马瑞, 刘虎俊, 马彦军, 等. 沙源供给条件对机械沙障固沙作用的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 104-108.
- [8] 张克存, 屈建军, 姚正毅, 等. 青藏铁路格拉段风沙危害及其防治[J]. 干旱区地理, 2014, 37(1): 74-80.
- [9] 屈建军, 凌裕泉, 俎瑞平, 等. 半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 329-335.
- [10] 党晓宏, 虞毅, 高永, 等. PLA 沙障对沙丘土壤粒径的影响分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 16-19, 24.
- [11] 周丹丹. 生物可降解聚乳酸(PLA)材料在防沙治沙中的应用研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [12] 周丹丹, 虞毅, 胡生荣, 等. 沙袋沙障凹曲面特性研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 22-25.
- [13] 袁立敏, 高永, 虞毅, 等. PLA 沙障对土壤硬度的影响[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 90-94.
- [14] 韩春冬, 高君亮, 虞毅, 等. PLA 沙障对毛乌素沙地新月形沙丘土壤水分的影响[J]. 内蒙古林业科技, 2010, 36(4): 1-4.
- [15] 党晓宏, 高永, 虞毅, 等. 新型生物可降解 PLA 沙障与传统草方格沙障防风效益[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(3): 118-125.
- [16] 阿荣. 吉兰泰地区立地条件类型划分[J]. 内蒙古林业调查设计, 1997(4): 151-153.