

液化玉米秸秆基固沙剂控制土壤风蚀试验^{*}

王体朋¹ 毛志怀²

(1. 华北电力大学生物质发电成套设备国家工程实验室, 北京 102206; 2. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 以室内风洞试验机为主要设备,研究了液化玉米秸秆及液化玉米秸秆基聚氨酯作为固沙剂对建筑渣土的保护效应。研究表明,二者均能粘结土样表面的大小颗粒形成保护层,提高建筑渣土的抗风蚀性;当液化玉米秸秆的喷施量较低时,随着风速的提高,对土壤的保护作用逐渐消失,土壤的侵蚀度迅速增加;液化玉米秸秆基聚氨酯作为固沙剂的效果要明显优于液化玉米秸秆,当其喷施量为 120.37 g/m² 时,起沙风速超过 20 m/s,当固沙效果相同时,液化玉米秸秆基聚氨酯的用量仅是液化玉米秸秆的 50%,而且由于液化玉米秸秆基聚氨酯保护层的机械强度较高,使其在较高的风速下,对建筑渣土仍有很好的保护作用。

关键词: 玉米秸秆 液化 聚氨酯 土壤风蚀 固沙剂

中图分类号: X712; S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0036-05

Experiment on Sandy Fixation Material Based on Liquefied Corn Stover to Decrease Wind Erosion

Wang Tipeng¹ Mao Zhihui²

(1. National Engineering Laboratory for Biomass Power Generation Equipment, North China Electric Power University, Beijing 102206, China 2. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

As sandy fixation materials to protect building residue soil (BRS) from wind erosion, liquefied corn stover (LCS) and polyurethane based on LCS were investigated by a wind tunnel. The results indicated that various particles on the soil surface are connected by LCS or polyurethane to form a protective crust which increases the soil resistance to wind erosion. At a low spraying amount of LCS, with an increase of wind speed, the protective action of LCS to the BRS disappears gradually due to low mechanical strength of LCS crust, and wind erosion ratio widely increases. Compared with LCS, the polyurethane is a more effective sandy fixation material. The threshold wind velocity of BRS is more than 20 m/s at a polyurethane spraying amount of 120.37 g/m²; at a same protective action, the amounts of polyurethane used is a half of LCS's. Moreover, at a high wind speed, the protective action of polyurethane is still good due to a more mechanical strength of polyurethane crust.

Key words Corn stover, Liquefaction, Polyurethane, Soil wind erosion, Sandy fixation material

引言

风蚀的实质是气流或气固两相流对地表物质的

吹蚀和磨蚀过程^[1],当吹过地表气流的剪切力和冲击力大于砂粒或者土粒的重力或粘结力,并克服地表的摩擦力时,砂粒或者土粒就会被剥离和搬运。

收稿日期: 2009-04-23 修回日期: 2009-08-13

* 国家自然科学基金资助项目(30971683)、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20060019041)、国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA05Z302)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(09QG17)

作者简介: 王体朋, 讲师, 主要从事生物质资源开发利用和研究, E-mail: wtp_771210@163.com

通讯作者: 毛志怀, 教授, 博士生导师, 主要从事生物质资源开发利用和农产品加工研究, E-mail: maozhh@cau.edu.cn

风蚀的强度受风力大小、地面粗糙度、砂粒或者土粒的粒径及其与地表物质连接强度等因素的影响。因此,对于一定的土壤要发生风蚀必须具备的条件:一定强度的风和地表有裸露、干燥、松散的颗粒。显然,通过改变土壤特性,增加土壤颗粒之间的粘结力是有效控制土壤风蚀的方法之一。为此,许多研究工作者通过添加聚丙烯酰胺(PAM)^[2-6]、乳化沥青^[7]和醋酸乙烯树脂(VAMA)^[8]等高分子物质,促进土壤团粒结构的形成,提高土壤的抗风蚀性。研究表明,高分子物质是很好的固沙材料,可以有效提高土壤颗粒之间的粘结力。

利用热化学液化技术将固态的生物质转变为液态产品,是高效利用这些可再生资源的方法之一。利用液化生物质制备生物质油的技术日益成熟^[9]。许多学者也探讨了液化生物质作为多元醇制备酚醛树脂^[10]、胶黏剂^[11-12]和聚氨酯^[13-17]等高分子材料的可能性。而液化生物质及其合成的高分子能否像乳化沥青等物质一样作为固沙剂控制土壤风蚀,至今未见相关的报道。而且液化生物质及其合成的高分子具有可降解的优点^[18],降解后的产物可以提高土壤的肥力,有可能从根本上改善土壤的性质。本文以室内风洞试验机为主要设备,以城市内建筑渣土为土样,研究液化玉米秸秆及其合成的聚氨酯作为固沙剂提高土壤抗风蚀的效果,为开发新型的固沙剂和开辟液化生物质利用的新途径提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验土壤及试验区概述

试验土样取自北京奥运会摔跤馆施工现场。

北京市位于北纬39°56′、东经116°20′,地处华北平原的北部,属暖温带半湿润大陆性气候区,年平均气温8~13℃,1月份最冷,平均气温-3.7℃,7月最热,平均气温25.2℃,年平均降雨量507.7 mm,年平均蒸发量1 800~2 000 mm。无霜期180~200 d。

1.2 试验设备

试验中所用的主要仪器设备:百分之一天平、AR836型数显风速仪(ARCO香港恒高电子集团)、风洞试验机、MS2000型激光粒度分析仪(英国马尔文公司)、气泵和喷枪。

试验风洞为美国生产,主要由风机、风室、喷嘴、稳流装置和风道等5部分组成。风机为离心式,额定功率为37.5 kW,采用直流变频方式进行调速,转速为30~1 500 r/min。风机在标准工况下的流量可达61 200 m³/h。风道用角钢焊接而成,其断面为

75 cm×100 cm,分为3段,总长度为9 m。风道沿宽度方向分为4条小风道,每条小风道的断面为25 cm×75 cm。

1.3 试验方法

1.3.1 土样的制备

把取回的土样在自然条件下风干7 d,过2 mm筛,然后用筛分法(粒径大于等于0.05 mm)和激光粒度分析仪(粒径小于0.05 mm)测量土样的粒径分布,用烘箱法测定土样的含水率。

1.3.2 样品盘的制备

将筛分好的土样自然装填在4.5 cm×24 cm×45 cm的样品盘中,样品盘由钢板焊制而成,在土样的搬动过程中不会破坏土样的结构,用塑料板刮平土样盘的表面,然后在表面均匀喷涂一定量的液化玉米秸秆或者液化玉米秸秆基聚氨酯,用天平称量喷涂前、后土样盘的质量,并记录。将制备好的土样在室内放置2~3 d。其中,液化玉米秸秆的制备方法、特性测试及物性见文献[16];聚氨酯的合成工艺配方为:液化玉米秸秆100份,异氰酸根指数0.4,三乙胺1份,二月桂酸二丁基锡1份,硅油1份。试验所用异氰酸酯为多亚甲基多苯基多异氰酸酯,其用量的计算方法见文献[16]。液化秸秆或者液化秸秆基聚氨酯对土样的喷施量为

$$\eta = \frac{w_2 - w_1}{bd}$$

式中 η ——喷施量, g/m²

w_1 ——喷涂前样品盘质量, g

w_2 ——喷涂后样品盘质量, g

b ——样品盘宽度, m

d ——样品盘长度, m

1.3.3 试验

将土样盘轻轻放入风洞试验机的试验段中,并保持土样盘底部与风洞试验机底部相平行,然后开动风机进行测试。

1.4 试验指标

试验指标为起沙风速和侵蚀度。

起沙风速测定:先关闭风机,将试样放入风道后逐渐升高风机风速,当看到土样盘表面有砂粒或者土粒跳跃或滚动时的风速即为该样品的起沙风速,关闭风机。最大测试范围为20 m/s。

侵蚀度测定:将土壤样品放入风道中,升高风速到设定值(8、10、12、16 m/s),在设定的风速下吹蚀5 min,并称量吹蚀前、后的样品质量,质量差除以土样盘的表面积和时间,得到样品在该风速下的侵蚀度(单位为g/(m²·min))。

2 结果与讨论

2.1 建筑渣土的含水率及粒径分布

用烘箱法测得的建筑渣土的含水率为 1.27%。建筑渣土中砂砾(粒径大于 0.05 mm)的质量分数为 88.49%,其中极粗砂(粒径 2~1 mm)、粗砂(粒径 1.0~0.5 mm)、中砂(粒径 0.5~0.25 mm)、细砂(粒径 0.25~0.1 mm)、极细砂(粒径 0.1~0.05 mm)的质量分数分别为 19.77%、15.94%、11.11%、24.99%和 16.68%;而粉粒(粒径 0.05~0.002 mm)和粘粒(粒径小于 0.002 mm)质量分数较低,分别为 10.93%和 0.58%。

Chepil^[19]研究表明,土壤中砂砾的含量越高,土壤团聚体越难形成,土壤的抗风蚀性就越差;而土壤中粉粒和粘粒含量越高,越容易形成土壤团聚体,土壤的抗风蚀性越高。但是土壤最终稳定性还要取决于土壤各粒级的适当组合,含有 20%~40%的砂粒、40%~50%的粉粒和 20%~30%的粘粒的土壤具有较强的抗风蚀性。建筑渣土中砂砾 88.49%、粉粒 10.93%和粘粒 0.58%,因此这种土样抗风蚀性很差,极易受到风蚀的影响。

2.2 液化玉米秸秆对建筑渣土的保护效应

液化玉米秸秆对建筑渣土起沙风速和侵蚀度的影响如表 1 所示。由表 1 可以看出,随着喷施量增加,建筑渣土的起沙风速逐渐增大;在同一喷施量下,随着风速增大,侵蚀度迅速增大。当不喷施时,即原样土时,建筑渣土的起沙风速为 6.4 m/s,也就是说只有当风速大于等于 6.4 m/s 时,土粒才开始发生移动;当喷施量升高到 74.07 g/m² 时,起沙风速升高到 9.1 m/s,升幅超过 42%;当喷施量为 101.85 g/m² 时,起沙风速达到 10.4 m/s,升幅超过 62%;当喷施量为 138.89 g/m² 时,起沙风速达到 12.4 m/s,升幅超过 93%。在同一喷施量下,随着风速从 8 m/s 升高到 16 m/s,侵蚀度迅速增大,而且风速越高,与原土样的差别越小,比如在 16 m/s 风速下,喷施量为 138.89 g/m² 的土样的侵蚀度为 1459.26 g/(m²·min),相对于原土样的 1981.48 g/(m²·min)仅降低了 26.4%,也就是说在高风速下,液化秸秆对土壤的保护作用逐渐减弱;在相同风速下,随着喷施量的增加,侵蚀度降低。总之,在较低风速下,液化玉米秸秆作为固沙剂对建筑渣土的抗风蚀性有明显的促进作用。

喷涂液化玉米秸秆后建筑渣土表面颗粒连接形貌如图 1 所示。由图 1 可以看出,液化玉米秸秆能使土样表面的颗粒相互粘结,小颗粒变成大颗粒,并形成保护层,增加土壤表面的强度,提高了抗风蚀能

表 1 液化玉米秸秆喷施量对建筑渣土的影响

Tab.1 Effects of spraying amount of liquefied corn stover on building residue soil

喷施量/ g·m ⁻²	起沙风速/ m·s ⁻¹	不同风速下的侵蚀度/g·(m ² ·min) ⁻¹			
		8 m/s	10 m/s	12 m/s	16 m/s
0	6.4	1 177.78	1 288.89	1 375.93	1 981.48
74.07	9.1	0	111.11	327.78	1 747.07
101.85	10.4	0	0	143.53	1 545.08
138.89	12.4	0	0	0	1 459.26

力。当喷施量较低时,保护层较薄,机械强度低,不可能承受较大风速的侵袭,在风速较大时,保护层被撕裂和吹走(试验中已观察到),侵蚀度增大。这可能是在一定喷施量下,随着风速增大侵蚀度与原土样的差别逐渐减小的主要原因。随着喷施量增加,保护层逐渐增厚,机械强度相应提高,颗粒之间的粘结力增大,从而使土壤表面能够承受更高的风速。

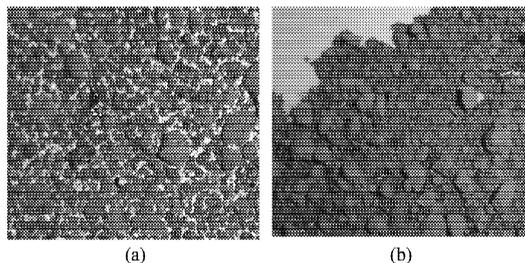


图 1 建筑渣土表面土粒连接形貌

Fig.1 Connection appearance of soil particles

(a) 土壤表面形貌 (b) 表面土粒内部粘接形貌

2.3 液化秸秆基聚氨酯对建筑渣土的保护效应

为了提高表面保护层的机械强度,增强土壤的抗风蚀性,降低液化产物的用量,考察了液化玉米秸秆与少量异氰酸酯(异氰酸根指数为 0.4)混合得到的聚氨酯作为固沙剂控制土壤风蚀的效果,结果如表 2 所示。

表 2 聚氨酯喷施量对建筑渣土的影响

Tab.2 Effects of spraying amount of polyurethane on building residue soil

喷施量/ g·m ⁻²	起沙风速/ m·s ⁻¹	不同风速下的侵蚀度/g·(m ² ·min) ⁻¹			
		8 m/s	10 m/s	12 m/s	16 m/s
0.00	6.4	1 177.78	1 288.89	1 375.93	1 981.48
46.30	9.6	0	7.41	61.11	135.18
101.85	14.8	0	0	0	70.37
120.37	>20.0	0	0	0	0

由表 2 可以看出,当液化秸秆基聚氨酯的喷施量为 46.30 g/m² 时,起沙风速从 6.4 m/s 升高到 9.6 m/s,升幅达 50%;当喷施量为 120.37 g/m² 时,起沙风速已经超过 20 m/s。在同一喷施量下,随着

风速的升高,侵蚀度有所增加,但是在同一风速下,侵蚀度远小于原土样,当喷施量为 46.30 g/m^2 时,在 16 m/s 风速下吹蚀 5 min 后,土样的侵蚀度为 $135.18 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$,相对于原土样降低了 93.2% ;在同一风速下,随着喷施量的增加,侵蚀度显著降低。由此可见,液化秸秆基聚氨酯作为固沙剂可以显著提高建筑渣土的抗风蚀性。

比较表1和表2可以发现,当液化秸秆的喷施量为 74.07 g/m^2 时,土样的起沙风速为 9.1 m/s ,而聚氨酯的喷施量为 46.30 g/m^2 时,起沙风速提高到 9.6 m/s ,在起沙风速相似的同时,喷施量降低了 37% ;在相同喷施量 101.85 g/m^2 时,液化秸秆作为固沙剂的土样起沙风速为 10.4 m/s ,而聚氨酯的为 14.8 m/s ,提高了 42.3% ;当液化秸秆的喷施量为 138.89 g/m^2 时,土样的起沙风速为 12.4 m/s ,而聚氨酯的喷施量为 120.37 g/m^2 时,起沙风速已经超过 20 m/s ,也就是说在喷施量降低了 13.3% 的同时,起沙风速却提高了 61.3% 。从二者的侵蚀度比较分析可以看出,在相同风速下,聚氨酯作为固沙剂,土样的侵蚀度都远远小于液化玉米秸秆,在喷施量 120.37 g/m^2 时,聚氨酯作为固沙剂的土样在 16 m/s 风速下的侵蚀度为零,而液化玉米秸秆在该喷施量下土壤仍发生严重的风蚀。由此可见液化秸秆基聚氨酯作为固沙剂相比液化秸秆对于提高建筑渣土抗风蚀性有更明显的效果,且用量更少。这主要是由于液化玉米秸秆作为多元醇与异氰酸酯发生

了反应,形成的聚氨酯^[13]使土壤表面保护层的机械强度更高,从而能够承受更强风的吹蚀,保护土壤避免风蚀。

3 结束语

液化玉米秸秆及液化玉米秸秆基聚氨酯均能使土样表面的大小颗粒粘接在一起,形成保护层,从而提高建筑渣土的抗风蚀性。但由于液化玉米秸秆保护层较低的机械强度,使其在较高的风速下对土壤的保护效应逐渐消失,土样的侵蚀度与原土样的逐渐接近。液化玉米秸秆基聚氨酯作为固沙剂的效果要明显好于液化玉米秸秆,当固沙效果相同时,液化玉米秸秆基聚氨酯用量仅是液化玉米秸秆的一半。当液化玉米秸秆基聚氨酯的喷施量为 120.37 g/m^2 时,土样起沙风速超过 20 m/s ,而且由于其保护层的机械强度较好,使其在较高风速下仍然有较好的保护功能。

试验证明,液化玉米秸秆及液化玉米秸秆基聚氨酯均具有作为固沙剂的巨大潜力,但是,为了开发出性能优良的液化生物质基固沙剂,仍然需要大量的工作。为此,在下一阶段,将重点研究液化生物质基固沙剂的制备工艺、不同条件下(包括日照和雨水及其共同作用等)固沙剂的有效固化时间以及液化生物质基固沙剂的降解性能与固沙效果的关系,为开发出性能优良的液化生物质基固沙剂提供理论依据。

参 考 文 献

- 1 李小雁,李福兴,刘连友. 土壤风蚀中有关土壤性质因子的研究历史与动向[J]. 中国沙漠, 1998, 18(1): 91~95.
Li Xiaoyan, Li Fuxing, Liu Lianyou. Research history and trend on soil property factors concerning wind erosion[J]. Journal of Desert Research, 1998, 18(1): 91~95. (in Chinese)
- 2 夏卫生,雷廷武,刘纪根. PAM防治水土流失的试验研究及评述[J]. 土壤通报, 2002, 33(1): 78~79.
Xia Weisheng, Lei Tingwu, Liu Jigen. Development and review of research of preventing soil erosion with polyacrylamide (PAM)[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(1): 78~79. (in Chinese)
- 3 和继军,蔡强国,唐泽军. PAM控制土壤风蚀的风洞实验研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 12~15.
He Jijun, Cai Qiangguo, Tang Zejun. Wind tunnel experimental study on soil wind erosion control with PAM[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(2): 12~15. (in Chinese)
- 4 刘东,任树梅,杨培岭. PAM对土壤抗风蚀能力的影响[J]. 中国水土保持, 2006(12): 33~35.
Liu Dong, Ren Shumei, Yang Peiling. Influence of PAM to capability of anti-wind erosion of soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006(12): 33~35. (in Chinese)
- 5 褚丽妹,谭国栋,凡久彬,等. 聚丙烯酰胺对沙化草场土壤颗粒组成的改良效果[J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 483~486.
Chu Limei, Tan Guodong, Fan Jiubin, et al. Effect of polyacrylamide on soil particle composition of desertified grassland [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(5): 483~486. (in Chinese)
- 6 Sharratt B, Feng G, Wendling L. Loss of soil and PM10 from agricultural fields associated with high winds on the Columbia Plateau[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2007, 32(4): 621~630.
- 7 Brofas G, Varelides C. Hydro-seeding and mulching for establishing vegetation on mining spoils in Greece [J]. Land Degradation & Development, 2000, 11(4): 375~382.

- 8 Chepil W S. The effect of synthetic conditioners on some phases of soil structure and erodibility by wind[J]. Soil Science Society of America Journal, 1954,18(4):386~391.
- 9 张春梅,刘荣厚,易维明,等. 玉米秸秆等离子体热裂解液化实验[J]. 农业机械学报,2009,40(8):96~99.
Zhang Chunmei, Liu Ronghou, Yi Weiming, et al. Experiment on plasma pyrolysis of corn stalk for liquid fuel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(8):96~99. (in Chinese)
- 10 Lee S H, Teramoto Yoshikuni, Shiraishi Nobuo. Resol-type phenolic resin from liquefied phenolated wood and its application to phenolic foam[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2002, 84(3):468~472.
- 11 Mehmet H A, Mehmet A B. Liquefaction of grapevine cane waster and its application to phenol-formaldehyde type adhesive[J]. Industrial Crops and Products, 2006, 24(2):171~176.
- 12 傅深渊,余仁广,杜波,等. 竹材残液液化及其液化产物胶粘剂的制备[J]. 林产工业,2004,31(3):35~38.
Fu Shenyuan, Yu Renguang, Du Bo, et al. Liquefaction of bamboo and preparation of liquefied bamboo adhesive[J]. China Forest Products Industry, 2004, 31(3):35~38. (in Chinese)
- 13 Kurimoto Y, Takeda M, Doi S, et al. Network structures and thermal properties of polyurethane films prepared from liquefied wood[J]. Bioresource Technology, 2001,77(1):33~40.
- 14 戈进杰,徐江涛,张志楠. 基于天然聚多糖的环境友好材料(II)麻纤维和芦苇纤维多元醇的生物降解聚氨酯[J]. 化学学报,2002,60(4):732~736.
Ge Jinjie, Xu Jiangtao, Zhang Zhinan. Environmental-friendly materials based on natural polysaccharides(II)——biodegradable polyurethane foams from biomass polyols of banknote paper and pulp paper[J]. Acta Chemical Sinica, 2002, 60(4):732~736. (in Chinese)
- 15 戈进杰,张志楠,徐江涛. 基于玉米棒的环境友好材料的研究(II)以玉米棒为原料的聚氨酯的合成及生物降解性[J]. 高分子材料科学与工程,2003,19(4):177~180.
Ge Jinjie, Zhang Zhinan, Xu Jiangtao. Studies on the biodegradable materials based on corn-cob(II) preparation and biodegradation of PU foam from corn-cob[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2003, 19(4):177~180. (in Chinese)
- 16 Wang T P, Zhang L H, Mao Z H, et al. Mechanical properties of polyurethane foams prepared from liquefied corn stover with PAPI[J]. Bioresource Technology, 2008,99(7):2265~2268.
- 17 王体朋,毛志怀,梁凌云,等. 发泡剂对玉米秸秆基聚氨酯泡沫性能影响[J]. 农业工程学报,2009,25(1):185~188.
Wang Tipeng, Mao Zhihui, Liang Lingyun, et al. Effects of blowing agent on the properties of polyurethane foams based on corn stover[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(1):185~188. (in Chinese)
- 18 Breslin V T. Degradation of starch-plastic composites in a municipal solid waste landfill[J]. Journal of Polymers and the Environment, 1993,1(2):127~141.
- 19 Chepil W S. Wind credibility of fields[J]. Soil and Water Conservation, 1959,14(5):214~219.

(上接第15页)

- 7 吕兴才,张武高,黄震. 燃料设计改善发动机燃烧和排放的研究(2)—对柴油机燃烧与排放影响的分析[J]. 内燃机学报, 2004, 22(3):210~215.
Lü Xingcai, Zhang Wugao, Huang Zhen. Fuel design concept for improvement of the engine combustion and emissions (2)—effect of fuel design concept on heat release rate and emissions of diesel engine[J]. Transactions of CSICE, 2004, 22(3):210~215. (in Chinese)
- 8 Saravanan N, Nagarajan G, Narayanasamy S. An experimental investigation on DI diesel engine with hydrogen fuel[J]. Renewable Energy, 2008, 33(3):415~421.
- 9 Masood M, Mehdi S, Reddy P. Experimental investigations on a hydrogen-diesel dual fuel engine at different compression ratios[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2007, 129(2):572~578.
- 10 Saravanan N, Nagarajan G, Kalaiselvan K, et al. An experimental investigation on hydrogen as a dual fuel for diesel engine system with exhaust gas recirculation technique[J]. Renewable Energy, 2008, 33(3):422~427.