

沙漠化防治化学固沙材料研究进展

铁生年¹, 姜雄¹, 汪长安^{1,2}

1. 青海大学非金属材料研究所, 西宁 810016
2. 清华大学新型陶瓷与精细工艺国家重点实验室, 北京 100084

摘要 本文对国内外防治沙漠化现状、无机类化学固沙材料、有机类化学固沙材料、有机-无机复合类化学固沙材料的研究进展进行综述。化学固沙是在流沙表面形成一层具有一定结构和强度,能够防止风力吹蚀,又可保持下层水分的固结层。通常包括黏结作用、表层覆盖作用、水化作用、胶凝作用、聚合作用 5 个方面内容,同时指出存在的问题和发展新型化学固沙材料的必要性和重大意义。这将为沙漠防治治理方面开发低成本、高性能、适合植被生长、不污染环境、可降解、可大规模实施的新型化学固沙材料提供技术支撑。

关键词 沙漠化防治; 化学固沙材料; 进展

中图分类号 TB32

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.h1.020

Progress in Chemical Sand-fixing Materials in Desertification Combating

TIE Shengnian¹, JIANG Xiong¹, WANG Chang'an^{1,2}

1. Non-Metallic Materials Institute, Qinghai University, Xining 810016, China
2. State Key Laboratory of New Ceramics & Fine Processing, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract The research progress in desertification combating at home and abroad, involving inorganic chemical sand-fixing materials, organic chemical sand-fixing materials, and organic-inorganic compound sand-fixing materials, are reviewed. The principle of chemical sand fixation is that the fixation forms a consolidated layer with certain structure and strength in the surface of quicksand. It could prevent the wind erosion and keep the underlying moisture. Chemical sand fixation usually includes five aspects, that is, felting effect, surface coverage effect, hydration, gelification, and polymerization. The existing problems and the necessity for developing advanced chemical sand-fixing materials are pointed out. The technical support for the development of advanced chemical sand-fixing materials with the features of low cost, high performance, suitable for the growth of vegetation, environmentally friendly, degradation, large-scale executable is provided.

Keywords desertification combating; chemical sand-fixing materials; progress

0 引言

地球荒漠化是指包括气候异变和人类活动在内的种种因素造成的干旱地区土地退化。如,过渡耕种土地造成土地贫瘠;牧区放牧过多,毁坏草场;滥伐森林造成水土流失以及缺乏完善的排灌系统导致土地盐碱化等。全世界陆地面积为 1.49 亿 km²,占地球总面积的 29%,其中约 4800 万 km² 是干旱、半干旱荒漠地,而且每年大约以 6 万 km² 的速度扩大^[1]。沙漠化是荒漠化的一种类型,为沙质荒漠化的简称。其定义为,在极端干旱、干旱、半干旱和部分半湿润地区的沙质地表

条件下,由于自然因素或人为活动的影响,破坏了自然脆弱的生态系统平衡,出现了以风沙活动为主要标志,并逐步形成风蚀、风积地貌景观的土地退化过程。其所影响的地区称为沙漠化土地。它的范围比荒漠化要小。在中国,它是 4 种荒漠化类型中面积最大、危害最严重的一种^[2]。沙漠化不仅使原本脆弱的生态环境更加恶化,而且给沙漠化地区的工农业生产和人民生活带来了严重影响。同时,作为土地沙漠化主要指标和突发事件的沙尘暴爆发频率越来越高,强度也越来越大。据研究统计^[3],近 50 年来,中国北方地区沙尘暴年均发生

收稿日期: 2012-10-25; 修回日期: 2013-01-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(51262024)

作者简介: 铁生年,教授,研究方向为环境材料,电子信箱: tieshengnian@163.com

的次数呈逐渐增多的趋势,50年代共发生大范围沙尘暴5次,60年代8次,70年代13次,80年代14次,90年代至20世纪初已发生20多次。沙尘暴频发与同期中国沙漠化土地扩展的步伐是一致的。沙漠化每年给国家造成的直接经济损失高达几百亿元,严重制约了社会经济的发展,成为全国性重大生态环境问题。沙漠化如果得不到彻底解决,国民经济的持续、稳定发展也就得不到保障。

1 国内外防沙治沙方法和进展

目前,国内外防沙治沙的方法有3种:生物固沙、工程固沙和化学固沙。生物固沙又称植物固沙,即通过封育和栽种植物等手段,达到防治沙漠、稳定绿洲、提高沙区环境质量和生产潜力的一种技术措施。它是目前沙漠治理中最普遍的技术,也是一种一劳永逸的最佳固沙方法。生物固沙主要有以下7种^[4]:(1)封育技术;(2)飞播治沙技术;(3)营造防风固沙林技术;(4)人工种草和改良草地技术;(5)农田防护林网技术;(6)营造灌木群落技术;(7)“五带一体”的防沙治沙技术。生物固沙技术虽然具有经济、持久、有效、稳定,能改善生态环境、改善土壤理化性质、促进成土过程、提供生物产品、有经济价值等优点,但是,由于沙漠地区特别是高寒的沙漠地区,自然环境恶劣难以提供植物赖以生存的基本要素。所以,单一的生物固沙方法很难实现全面治沙目的。

工程固沙又称机械固沙,即采用机械工程技术,阻挡沙丘移动,达到阻沙治沙的目的,应用较为普遍的是建立沙障。国内外治沙实践表明^[5],利用风力本身的运动规律设置不同的治沙机械工程,能够使工程治沙取得明显治沙效果。这些工程中,从阻止风沙、改变风沙运行规律着手,有铺设沙障、建立立体栅栏;利用各种材料网膜的技术从输导风沙着手,则有引水拉沙、治沙造田技术。上述两种工程技术,基本构筑了工程治沙技术体系。铺设草方格、建立立体栅栏、设置各种材料网膜的固沙工程技术通过设立障碍物的方法来改变下垫面风沙运行方向和增加地表粗糙度的途径,一般均能收到固定沙土、减轻风沙危害之目的。机械固沙的防护高度有限,容易被流沙掩埋、防护时间短。因此,从它的性能来讲,这种固沙措施只能作为一种临时性、辅助性固沙手段。

化学固沙技术是指在荒漠化土地表面施用有机或无机沙土稳定材料,以提高沙土的稳定性和保水性,或对盐碱土地进行脱盐处理,从而达到改良和治理荒漠化土地的目的。化学固沙技术施工简单、成本低、见效快,可迅速改良荒漠化土地,为植物生长创造良好的水土条件,是1种新型的沙漠治理方法。特别是结合生物固沙和工程固沙,将是以后沙漠治理方法的发展方向。

许多国家根据本国实际情况,因地制宜,运用不同治沙措施,取得了令人瞩目的成绩。前苏联中亚林业科学研究所结合工矿企业等重点地区的流沙治理,研究化学固沙材料,先后采用沥青乳液、棉籽酚树脂、亚硫酸纸浆液固沙,这些胶结物固沙方法成本较高,只能用于荒漠区植物固沙较为困难

的重点工程^[6]。埃及从石化厂、发电厂废料中提取了一种聚合物固沙保湿剂,撒在沙漠上能固沙保湿,使沙漠中种植小麦和稻子成为可能。比利时研制成功的沥青乳化保湿剂是油状液体,其中的亲水性保湿剂能像海绵一样使植物根部周围保湿,而疏水性保湿剂可抑制沙漠中水分的蒸发。这种沥青乳化保湿剂可以像化肥一样施在沙漠上,使沙土长时间蓄水,促使植物生长,达到固沙防风的目的^[7]。日本专家开发出一种能改造沙漠的陶瓷保湿剂,它含有较多空隙,可以吸收比其自身重许多倍的水,将它与高分子树脂和沙混合可用来在沙漠实施无土栽培。70年代以来,在美国、日本、澳大利亚、以色列、前苏联等国家,流行一种化学固沙方法——AS流沙固定技术。AS固沙剂是分子量在几十万至几百万之间的大分子树脂,无色、无味、无毒浆料,把溶液喷洒在流沙上,使流沙固结成片,从而形成地毯式膨润复膜层,流沙固定后能蓄水保墒,其上可植草种花^[8]。阿尔及利亚采用人工小盆地绿洲模式,采取3层结构的立体栽植方式。卡拉库姆东南的列彼捷克沙漠试验站是以防止铁路沙害为主,并结合沙地开发利用,植物措施与机械固沙相结合。在布哈拉、乌拉尔和中亚天然气管道线两侧,喷洒沥青乳液和页岩、焦油以固定流沙。伊朗沙丘的固定除采用沙障外,广泛采用植物固沙;为了加速流沙的固定,还利用丰富的石油资源,广泛采用石油产品覆盖流沙技术^[9]。德国北部沙丘采用埋设松枝或芦苇形成网格沙障;法国用枝条覆盖沙面,以保护直播;丹麦设置楠枝条沙障;波兰安设1m多高的立式沙障。阿拉伯联合酋长国于1976—1978年与日本合作,在年均降水20~40mm的艾因市以西20km的沙漠地区,进行沙地沥青防渗层试验。沙特阿拉伯采用喷洒渣油和沥青乳液的化学固沙方法。印度治沙试验自1953年开始,研究技术已标准化,包括:设围栏防止人畜破坏,立式沙障或活动沙障固沙,造林种草建立人工植被。利比亚固沙方法为,用三芒草等扎方格沙障,然后栽相思树、桉树。结合植树采用原油乳浊液和合成橡胶、矿物油与水的乳浊液固沙,效果颇佳,费用比沙障低,树木生长亦好,在化学固沙上成效较大。埃及和也门用芦苇设沙障,深植柳、沙拐枣等,在年降雨量100mm左右、无地下水补给的沙地上,获较好效果^[10]。以色列采用植物固沙、化学固沙、沙障、城市垃圾利用等进行治沙^[11]。突尼斯用石棉-水泥波纹板做沙障或种植莎草,流沙固定后栽植松、柏、柳等,试验了各种化学固沙方法,结合培育饲林。国际上不同国家按照不同地域特点,采用固沙技术不完全相同,有效的固沙植生技术要结合当地气候特点,在设计固沙植生结构的基础上,制定因地制宜的实施方案,综合固沙所有的技术有机融合,才能达到沙漠变绿洲的目的。

中国土地沙化面积由2004年年均扩展2491km²转变为2009年年均缩减1283km²,土地沙化扩展的趋势得到初步遏制^[12]。2011年1月4日,国务院新闻办举行2011年第一次新闻发布会,由国家林业局副局长祝列克发布第4次全国荒漠化和沙化监测结果:截至2009年底,中国荒漠化土地面积

262.37 万 km², 沙化土地面积 173.11 万 km², 分别占国土总面积的 27.33% 和 18.03%^[13]。监测表明, 中国土地荒漠化和沙化呈整体得到初步遏制, 荒漠化、沙化土地持续净减少, 局部地区仍在扩展的局面。沙化扩张直接影响着近 4 亿人的生产和生活, 每年造成的直接经济损失达 500 多亿元人民币, 严重制约着经济社会的可持续发展。已经治理的沙化土地, 生态状况仍很脆弱, 特别在沙区, 人口、资源、经济压力仍然巨大。中国的治沙战略应该结合当地的地理环境采取不同的固沙植生方法, 对于沙漠绿洲周围, 要营建防风固沙林带、林网, 保护现有天然荒漠植被和绿洲; 对于半干旱沙地类型区, 在保护好现有林草植被基础上, 大力开展高科技固沙植生技术培育适合当地的耐寒耐旱草种和树种, 研发低成本、高性能、不污染环境适合植物生长的复合固沙植生材料。在小范围固沙植生的基础上逐步推进发展沙产业, 种植具有经济价值的特色植被, 大力发展旅游沙产业。

2 化学固沙原理及化学固沙材料特点

化学固沙是在流动的沙丘(地)上喷洒化学黏结材料, 在流动沙表面形成覆盖层, 或渗入表层沙中, 把松散的沙粒粘结起来形成固结层(硬壳), 从而防止风力对沙粒的吹扬和搬运, 达到固定流沙, 防治沙害的目的^[14]。施用化学固沙材料能使松散的沙质地表形成具有一定抗风蚀性能的固结层, 通常包括黏结作用、表层覆盖作用、水化作用、胶凝作用和聚合作用 5 个方面。

性能优良的化学固沙材料应具备以下特点。

- (1) 沙面固定层有一定强度, 耐风蚀性能优良。
- (2) 有一定韧性。以便在固沙层有少许破坏后, 不至于引起大面积破坏。
- (3) 有一定耐水性。保证固沙面在降雨或浇水情况下不被水冲蚀。
- (4) 固结层有较好渗水、透水性。有利于渗透沙漠中少量的雨水或浇灌水, 较好地与植物固沙相结合, 也有利于保墒。
- (5) 浸水后干强度。较高的浸水后干强度体现良好的长期固沙性能。
- (6) 较好的保水性。与植物固沙结合时, 可长时间储存供植物生长所需的水分。
- (7) 无污染性(即环境协调性)。化学固沙剂应既无毒副作用, 又能与环境协调, 不污染环境。
- (8) 一定的耐老化性。保证在严酷的夏季, 不至太快失去固沙性能。
- (9) 一定的抗冻融稳定性。保证在寒冷的冬季仍具备一定的固沙性能。
- (10) 与植物生长的适宜性。如能促进植物生长发育, 则与生物固沙相结合会更好地发挥作用。
- (11) 一定的可控自然降解性。便于在植物成活起到固沙作用后, 不至于阻碍生物群落的自然发展。
- (12) 能缓释化肥及相关化学药物。利于植物生长及抑制

病、虫、鼠害。

- (13) 易于喷洒施工, 容易渗透沙层。
- (14) 植生绿化成本较低, 以便大面积推广。

3 化学固沙材料的分类及研究现状

化学固沙材料按其化学原料来分^[15], 可分为天然化学固沙材料、人工配制化学固沙材料和合成化学固沙材料; 按其化学组成来分^[16], 可分为无机胶凝固沙材料、有机胶凝固沙材料及有机-无机复合固沙材料 3 类。

3.1 无机胶凝固沙材料

3.1.1 水泥浆类

用于固沙的水泥浆类固沙材料^[17], 利用其喷洒在沙面上后的凝结固化作用, 形成一层覆盖层。沙漠地区因气候干燥炎热, 夏季沙面温度很高, 把水泥浆固沙剂喷洒在沙面上后, 水分会迅速蒸发掉, 导致水泥浆类固沙剂缺乏足够的水分而无法完全水化, 只能形成强度很低且厚度很薄的固结层。硬化后的水泥浆属于脆性材料一类, 此类固沙材料没有柔性, 在沙漠中受到沙丘迁移以及恶劣气候的影响, 硬化的水泥浆很快会发生龟裂、干缩、失去其固沙作用和保水作用, 现在已很少使用单独的水泥浆进行固沙。

3.1.2 水玻璃类

水玻璃浆液作为价廉、无毒的固沙材料使用历史已近百年^[18]。过去所采用的水玻璃浆是由水玻璃和酸性反应剂构成的, 在强碱性条件下发生胶凝固结, 胶凝时间不能延长, 浸透性差, 固化反应不完全, 固结层强度不高, 易为外力所破坏, 而且会受到较强的碱性影响, 使生成的二氧化硅胶体逐渐溶出, 抗水性变差, 耐久性降低, 并造成环境的二次碱污染, 所以目前国内外研究者都致力于各种改性水玻璃浆液的研究, 对水玻璃添加有机(如乙二醛、碳酸乙烯酯等有机酸及醋)无机胶凝材料进行复合, 获得了适于喷洒施工的液态复合水玻璃浆液固沙材料。或在水玻璃中添加膨润土然后固化制成多孔沙漠绿化砖^[19]。此类材料植被生长困难, 同时对环境造成污染, 大规模推广价值不大。

3.1.3 石膏类

石膏材料^[20,21]可以促进沙漠植物生长, 显著提高沙漠植物的存活率, 此材料不仅能固定流动的沙漠, 而且有一定的可被植物吸收的养分, 且成本低, 具有一定的强度, 吸水保水性能好, 耐久性好, 抗冻融稳定性、耐风蚀性和耐候性良好, 不污染环境, 作用持久, 无毒性且植物迅速生长的特点, 有利于提高对沙漠固沙植生的效率。此类材料在固沙植生机理研究和结构设计, 大规模喷洒设备研发基础上具有推广价值。

3.2 有机胶凝固沙材料

3.2.1 合成高分子类

合成高分子类固沙材料是 20 世纪 60 年代以来发展起来的新型化学固沙材料。从本质上看, 属于水溶性或油性化学胶结物。使用高分子聚合物固定流沙, 处理手续和施工简便, 可改善劳动条件和缩短工期, 其效力较其他化学材料显

著和稳定,因而引起了人们的普遍重视。

赵水侠等^[22]以甲基三乙氧基硅烷为反应物,在盐酸催化下水解缩合,合成无色透明黏稠的液体有机硅氧烷预聚体,以质量分数 0.06% 的 NaOH-CH₃OH 溶液为固化剂,制得了一种具有较高强度的固沙材料。王银梅等^[23]通过大量的室内试验,研制了 SH 新型高分子化学固沙材料,研究了其固化沙体的强度及相关特征,并采用红外光谱,扫描电镜结合电子能谱等现代分析方法,从微观上探讨了 SH 固沙强度形成的机理。苏鹏等^[24]研制出了丙烯酸/全氟辛基甲基丙烯酸酯共聚物,有效地解决了化学固沙剂固沙层水渗透率低和吸水率高的缺点。杨明坤等^[25]合成了以羧甲基纤维素钠为主接枝丙烯酰胺环保固沙剂,研究了羧甲基纤维素钠与丙烯酰胺投料比、引发剂浓度、反应时间、反应温度以及初始 pH 值的关系。郭凯先等^[26-28]采用日本 JCK 株式会社研制的高分子固沙材料 W-OH 在青海湖湖东种羊场进行了现场试验且取得了一定的治沙效果。杜峰等^[29]通过以聚醚二元醇、TDI、DMPA、TMP、可溶性淀粉为原料,研制了内交联型生物可降解水性聚氨酯固沙剂,不仅具有保水性,还可以生物降解,缓解固沙剂废弃物对环境造成的压力。

高分子聚合物高吸水树脂进行固沙具有固结强度较高、吸水保水性好、耐水性好、固化迅速、黏结性好的特点,有的还具有良好的弹性和高温稳定性等特点,但高分子化学材料会受热氧化和光氧化,发生链断裂和交联反应,这种分子链的裂解和交联使得固结层遭到破坏以至降低治沙效果。高分子聚合物因其成本很高,生产工艺及原料来源等方面也受到限制,未能广泛应用,少数有机高分子材料因具有毒性而限制其使用。

3.2.2 石油产品类

沥青乳液是石油产品类固沙剂的代表,它是当前世界各国应用化学固沙最广泛的材料^[30]。沥青是从石油和煤焦油中提炼而成的副产品,其构成组分非常复杂,主要由分子质量大的高分子化合物——胶质和沥青质的混合物组成。沥青在常温下呈固体或半固体状态,具有较高的凝点和熔点,并具有相当大的黏度。这些特点和物理特性使沥青成为一种传统的黏结、防水和防腐材料。沥青乳液是沥青在乳化剂作用下通过乳化设备制成的,可分为阳离子型、阴离子型和非离子型等几类。沥青乳液作为土壤改良剂可起到防止水土流失、改善土壤水热状况、增温保墒、减少肥料和农药的流失、提高肥效等作用,有人称之为“液态地膜”。作为固沙材料,沥青乳液可单独用于固沙,也可与植物和机械沙障结合固沙,与植物结合时,对植物无毒害,不影响发芽生长,可以较持久地固定于地表面。前苏联早在 1935 年就开始研究利用沥青乳液固沙,直到 20 世纪 70 年代初,塔什干铁路运输工程学院还在进行这方面的研究工作。中国铁道部科学研究院西北研究所曾于 1967—1977 年间在包头至兰州铁路沿线进行乳化沥青固沙研究,并于 1982—1992 年间进行了大面积喷洒乳化沥青并配合栽种固沙植物的试验研究^[31]。中国石油大学(华

东)化学化工学院研制了以重油(渣油、沥青)、膨润土、水玻璃等为主要原料,与多种功能添加剂复合而成的多功能液膜固沙剂。该液膜固沙剂具有较好的渗透性和胶结性,有明显的集水和保墒增温、改善土壤结构、促进植物生长、抑制盐渍土表层积盐等作用,而且降低了原料成本。

单独使用沥青乳液固沙存在的缺陷:沥青稳定沙土效率较低,用量大;沥青本身是憎水性的,大量施用会导致土壤渗水能力下降,水流失增多,不利于植物生长;中国受沥青原料来源限制,大面积推广使用成本太高。将沥青乳液与其他无机物复合,可以改善其性能,并降低成本。

3.2.3 木质素类

木质素类固沙材料是制浆废液经化学改性制备而成的一种新型固沙材料。自 20 世纪 60 年代起,前苏联就曾研究木质素磺酸盐在沙土稳定中的应用。木质素磺酸盐喷洒在沙土表面后,与表层的沙土颗粒结合,通过静电引力、氢键、络合等化学作用,在沙土颗粒之间产生架桥作用,促进沙土颗粒的聚集,使得表层沙粒彼此紧密结合,形成具有一定强度的致密固结层,从而达到固沙的目的。

1981 年,Zaslavsky 等^[32]报道了利用木质素磺酸盐与乙烯基类单体接枝共聚制备土壤改良剂的方法,并指出该改性产物可用于抵御土壤风蚀。国内南京林业大学经过 3 年在宁夏沙化地区的木质素固沙与植被恢复相结合的研究结果表明,该固沙剂具有见效快、可降解、成本低等优点,实现了化学固沙和生物固沙的有机结合^[33]。实验证明,该固沙材料具有较高的抗压强度、良好的抗冻融稳定性和抗老化性能。李建法等以木质素磺酸盐为原料,通过与丙烯酸、丙烯酰胺单体的接枝改性,制备了木素磺酸盐型固沙材料,大量的室内实验以及现场应用试验结果表明,应用该固沙材料固化沙体具有较高的抗压强度,较好的抗冻融、耐老化、抗风蚀、抗水蚀等性能,在乌兰布和沙漠的现场试验中,固沙效果明显^[34]。

中国有丰富的木质素资源,以木质素(磺酸盐)为原料,制备同时具有固沙、保水、赋肥、保肥等环保型多功能固沙材料,将具有广阔的市场前景。

3.2.4 废塑料改性类

改性废塑料类固沙材料是通过物理和化学方法对废塑料进行改性处理,生成可以用来固沙的环保材料。随着日常生活中产生的废塑料不断增加,治理和利用废塑料的问题也迫在眉睫。在废塑料的利用方面,国内外学者进行了大量的工作。废塑料可用于污水处理的凝聚剂,用于汽车工业的汽油、柴油燃烧剂,用于建筑业的轻质混凝土,以及用于沙漠化防治的固沙材料等。包亦望等^[35]以废泡沫塑料为主要原料,采用溶解法和裂解法对其进行改性处理,并加入添加剂生成白色粘稠状固沙材料,实验表明,此种固沙材料使沙砾黏聚成一层坚硬柔韧的薄层,覆盖于流沙表面,可以有效防止沙漠迁移和大风扬沙,而且具有长期稳定性、良好的保水性和提高沙漠中绿色植物存活率的特性。秦玉芳等^[36]利用聚乙烯废塑料为原料,采用反相乳液聚合方法,与亲水性基团的丙烯

酸(AA)及其盐接枝共聚合成吸水率为 477.8g/g 的高吸水性树脂。

目前为止,废塑料用于固沙领域研究还很少,用废塑料制作高吸水性树脂目前只用于固沙可行性研究,而废塑料改性处理固沙剂在野外实验较少,其固沙性能及成本是否优于其他固沙材料还有待于考证,尤其是此类固沙材料的环境协调性还需要进一步研究。

3.2.5 微生物类

微生物类固沙材料是利用沙漠生物结皮人工接种固沙或是从生物结皮中分离出可固沙的细菌,然后将制成的液体菌剂直接用于固沙的新型固沙材料^[7]。生物结皮广泛分布在世界的干旱、半干旱地区,它主要是藻、地衣、苔藓、菌生等土壤颗粒相互作用,在土壤表面发育形成的一层特殊表面结构,对防风固沙、区域生态环境变化以及物质能量交换都起到了很大作用。生物结皮层的胶结机理是藻体选择性地运动到黏土含量较高的微环境中,通过细胞表面高分子多聚糖的物理吸附,与土壤表面的细小颗粒形成错综复杂的网络,同时自由羧基类负电荷基团与基质中金属离子(Ca, Si, Mn, Cu 等)因静电结合而胶结在一起,从而形成有机质层和无机层。中国对生物结皮的研究开始于 20 世纪 80 年代中后期,2000 年以后沙漠生物结皮的研究进入快速发展时期,主要研究集中在:沙漠生物结皮水文特征及其对固沙植物的影响,生物结皮胶结机理和微结构特征,生物结皮的生物组成、分布特征及其环境特征等^[38]。潘惠霞等^[39]从新疆古尔班通古特沙漠生物结皮的下层(沙物质层)分离出寡营养细菌,在适当的环境中培养出液体菌剂。寡营养细菌具有黏性夹膜或厚的果胶质外壁,能分泌大量的黏液,即黏性多糖,通过具有黏性附属物的菌体和黏液可将矿物细粒黏结,形成球状表面团聚。在新疆吐鲁番盆地沙漠植物园流沙区直接喷洒菌液,形成了约 6mm 的结皮层,并减慢了土壤水分蒸发的速度,起到了很好的防止流沙表面活化的作用。

微生物固沙材料能够适应干旱、营养贫瘠的环境,具有很广阔的发展前景,但目前研究缺乏实用性,尤其在人工生物结皮恢复技术的研究和微生物固沙技术的沙漠化实地应用方面,需要深层次探讨。

3.3 有机-无机复合固沙材料

有机-无机复合固沙材料,是针对无机固沙材料力学性能差、缺乏保水性等缺陷,通过在无机材料中添加有机组分而形成的一类新型固沙材料。最为常用的有机组分是高吸水性树脂,其特殊的三维空间网络结构使其具有优异的吸水保水性能,同时又能与水泥水化产生的 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 作用,使合成后的材料具有更高的抗折强度、黏结强度、抗冲击性和抗疲劳度。

纪蓓等^[40]以粉煤灰为骨架,再添加水玻璃、膨润土、聚丙烯酸的固沙材料,研究表明其抗水性能、强度、抗老化性、抗冻融稳定性以及抗风蚀等性能均比单一的无机或有机固沙材料有很大提高。另外,据报道^[41],由中国石油大学与中国石油兰州石化公司合作开发出的一种多功能乳状液膜固沙剂,

其主要成分是重油(渣油、沥青)、膨润土、水玻璃,在此基础上加入多种功能添加剂,生产工艺和施工相对比较简单,实验结果表明:此法具有明显的集水和保墒增温、改善土壤结构、促进植物生长、抑制盐渍土表层积盐等作用。

4 结论与展望

目前,固沙技术主要有 3 种:生物固沙技术、工程固沙技术、化学固沙技术。3 种固沙技术各有特点,综合分析认为以化学固沙技术为主,有机融合生物固沙和工程固沙技术是有效治理沙漠化的发展方向。同时在沙漠化地区制定配套的管理措施是有效发挥固沙技术作用的保障。

常用化学固沙材料有有机物和无机物两大类,有机治沙材料因其固有的特性在青藏高原地区等特殊地理环境的沙漠化治理过程中是禁止使用,因为有机物在强紫外线照射下,发生链裂解和交联反应等而裂解成碎片,时效短;分散在草丛中的有机物碎片,很容易被牲口和野生动物误食吞食,导致消化不良而死亡;大部分有机高分子产品由于它们与环境的相容性差,会对沙漠地区造成二次污染。无机物尤其是接近自然的石膏及石膏沙子细粉和粘土的胶凝材料,正期待开发研究。研究开发低成本、高性能、适合植被生长、不污染环境、可降解、可大规模实施的新型无机化学固沙材料,同时考虑固沙植生技术的结构设计和固沙材料的大规模喷洒技术,将成为今后重要的研究内容。

参考文献 (References)

- [1] 李逢春, 石庆东. 沙漠治理新途径新方法 [J]. 环境科学与管理, 2011, 10(36): 107-109.
Li Fengchun, Shi Qingdong. Environmental Science and Management, 2011, 10(36): 107-109.
- [2] 金铭. 地球荒漠化威胁人类生存[J]. 生态经济, 2012(9): 12-17.
Jin Ming. Ecological Economy, 2012(9): 12-17.
- [3] 刘洪涛. 长途迁徙的环境杀手——沙尘暴[J]. 地球, 2004(3): 9-10.
Liu Hongtao. Earth, 2004(3): 9-10.
- [4] 国家林业局科学技术司. 防沙治沙实用技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
Science and Technology Division of the State Forestry Administration. Anti-desertification practical technology [M]. Beijing: China Forestry Press, 2001.
- [5] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Zhu Zhenda, Wu Zheng, Liu Shu, et al. Introduction to Chinese Desert [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [6] Fan Shengyue, Gao Xincan. Desert control in China: Models and institutional innovations[J]. Social Science in China, 2011(4): 15-19.
- [7] 赵正华. 固沙用新材料及野外固沙综合技术研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2006.
Zhao Zhenghua. Study of new sand-fixing materials and the field integrated sand-fixing technology[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2006.
- [8] Dregan H E, Kassas M, Rozanov B. A new assessment of the world status of desertification[J]. Desertification Control Bulletin, 2001(20): 77-79.
- [9] 陈平. 无机凝胶沙漠绿化砖制备及其性能的研究 [D]. 天津: 天津师范大学, 2010.
Chen Ping. Research on preparation and properties of inorganic cementitious desert greening brick[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2010.

- [10] 李婷. 沙漠绿化砖的制备及性能研究[D]. 海口: 海南大学, 2010.
Li Ting. Preparation and properties of desert green brick [D]. Haikou: Hainan University, 2010.
- [11] 王涛. 沙漠化研究进展[J]. 中国科学院院刊, 2009, 24(3): 290-296.
Wang Tao. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2009, 24(3): 290-296.
- [12] 国家林业局. 我国荒漠化和沙化状况[J]. 四川林勘设计, 2011(3): 69.
State Forestry Administration. Sichuan Forestry Exploration and Design, 2011(3): 69.
- [13] 杨玉峰. 我国土地荒漠化和沙化整体得到初步遏制 [J]. 国土绿化, 2011(1): 6-7.
Yang Yufeng. Land Greening, 2011(1): 6-7.
- [14] 来晓燕, 张艳华. 化学固沙材料的研究现状及进展 [J]. 化工文摘, 2007(5): 46-48.
Lai Xiaoyan, Zhang Yanhua. China Chemicals, 2007(5): 46-48.
- [15] 丁庆军, 许祥俊, 陈友志, 等. 化学固沙材料研究进展[J]. 武汉理工大学学报, 2003(5): 27-30.
Ding Qingjun, Xu Xiangjun, Chen Youzhi, et al. Journal of Wuhan University of Technology, 2003(5): 27-30.
- [16] 严亮, 杨久俊. 新型化学固沙材料的研究现状及展望 [J]. 材料导报, 2009(3): 51-53.
Yan Liang, Yang Jiujun. Materials Review, 2009(3): 51-53.
- [17] 许祥俊. 聚合物水泥基固沙材料的研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
Xu Xiangjun. Study on the polymer modified cementitious sand-fixing material[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2003.
- [18] 杨柳. 新型化学固沙材料的研制和应用[D]. 兰州: 兰州大学, 2011
Yang Liu. The development and application studies of novel chemical sand fixing material[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.
- [19] 吴溢文, 陈永, 郑福斌, 等. 多孔化学固沙砖的制备[J]. 科学技术与工程, 2009(7): 1966-1968.
Wu Yiwen, Chen Yong, Zheng Fubin, et al. Science Technology and Engineering, 2009(7): 1966-1968.
- [20] 铁生年. 一种石膏基复合材料固沙植生的方法: 中国, 200710085351.7[P]. 2007-03-01.
Tie Shengnian. A kind of gypsum base composite material sand-fixation vegetation method: China, 200710085351.7[P]. 2007-03-01.
- [21] 铁生年. 沙漠地区防沙固沙植生的方法: 中国, 200810008732. X[P]. 2008-08-27.
Tie Shengnian. Sand desert regions sand-fixation vegetation method: China, 200810008732. X[P]. 2008-08-27.
- [22] 赵水侠, 王来来. 有机硅氧烷预聚体的合成及其在化学固沙中的应用[J]. 应用化学, 2011(7): 753-755.
Zhao Shuixia, Wang Lailai. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2011(7): 753-755.
- [23] 王银梅, 谌文武. 新型化学固沙材料性能的试验研究[J]. 水土保持通报, 2007(2): 110-111.
Wang Yinmei, Shen Wenwu. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2007(2): 110-111.
- [24] 苏鹏, 马育红, 杨万泰. 丙烯酸/全氟辛基甲基丙烯酸酯共聚物的合成及固沙应用[J]. 北京化工大学学报, 2011(6): 44-47.
Su Peng, Ma Yuhong, Yang Wantai. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2011(6): 44-47.
- [25] 杨明坤, 王芳辉, 姚洋, 等. 一种新型环保固沙剂的制备与性能研究 [J]. 材料研究学报, 2012(3): 225-229.
Yang Mingkun, Wang Fanghui, Yao Yang, et al. Chinese Journal of Materials Research, 2012(3): 225-229.
- [26] 郭凯先, 孙广春, 刘得俊, 等. 青海湖周边流动沙丘化学治沙效果初探[J]. 青海大学学报, 2011(5): 21-23.
Guo Kaixian, Sun Guangchun, Liu Dejun, et al. Journal of Qinghai University, 2011(5): 21-23.
- [27] 杨军, 韦浩民. XH 固沙剂在青海湖沙漠地区的试验研究 [J]. 价值工程, 2012(3): 327.
Yang Jun, Wei Haomin. Value Engineering, 2012(3): 327.
- [28] 郭凯先. W-OH 新材料特性及在青海湖周边地区沙化地植生固沙的应用[J]. 中国农村水利水电, 2012(4): 30-37.
Guo Kaixian. China Rural Water and Hydropower, 2012(4): 30-37.
- [29] 杜峰, 项尚林, 方显力. 内交联型可生物降解水性聚氨酯固沙剂的合成[J]. 中国农学通报, 2012(28): 202-206.
Du Feng, Xiang Shanglin, Fang Xianli. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012(28): 202-206.
- [30] 王丹, 宋湛谦. 高分子材料在化学固沙中的应用[J]. 生物质化学工程, 2006(5): 44-46.
Wang Dan, Song Zhanqian. Biomass Chemical Engineering, 2006(5): 44-46.
- [31] 陈宝莲, 王仁辉, 程国香. 乳化沥青在农业上的应用 [J]. 石油沥青, 2001(15): 44-47.
Chen Baolian, Wang Renhui, Cheng Guoxiang. Petroleum Asphalt, 2001(15): 44-47.
- [32] Zaslavsky D. Lignosulfonate-based graft polymers their preparation and uses: US, 4276077[P]. 1981-06-30.
- [33] 鲁小珍, 金永灿, 杨益琴. 木质素固沙材料应用于沙漠化地区植被恢复的研究[J]. 林业科学, 2005(41): 67.
Lu Xiaozhen, Jin Yongcan, Yang Yiqin. Scientia Silvae Sinicae, 2005(41): 67.
- [34] 叶德展, 江献材, 夏超, 等. 制浆废液木质素类固沙剂研究进展[J]. 中国造纸学报, 2011(4): 58-62.
Ye Dezhan, Jiang Xiancai, Xia Chao, et al. Transactions of China Pulp and Paper, 2011(4): 58-62.
- [35] 包亦望, 苏盛彪, 陈友治. 利用白色污染废料研制开发固沙胶结材料治理沙漠化[J]. 中国建材, 2001(6): 55.
Bao Yiwang, Su Shengbiao, Chen Youzhi. China Building Materials, 2001(6): 55.
- [36] 秦玉芳, 李利, 周宁琳. 利用聚乙烯废塑料合成高吸水树脂 [J]. 南京师范大学学报, 2005, 28(2): 7-9.
Qin Yufang, Li Li, Zhou Ninglin. Journal of Nanjing Normal University, 2005, 28(2): 7-9.
- [37] 王汉杰, 景丽. 木质素固沙材料田间固沙实验与成效分析[J]. 南京林业大学学报, 2008(3): 11-13.
Wang Hanjie, Jing Li. Journal of Nanjing Forestry University, 2008(3): 11-13.
- [38] 闫德仁, 薛英英, 赵春光. 沙漠生物结皮国内研究现状内 [J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(3): 28.
Yan Deren, Xue Yingying, Zhao Chunguang. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 2007, 33(3): 28.
- [39] 潘惠霞, 程争鸣, 张元明. 寡营养细菌及其固沙作用的研究 [J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 473-475.
Pan Huixia, Cheng Zhengming, Zhang Yuanming. Journal of Desert Research, 2007, 27(3): 473-475.
- [40] 纪蓓, 薛彦辉. 粉煤灰/膨润-聚丙烯酸盐聚合化学固沙材料的研究 [J]. 环境科学与管理, 2009(2): 83-86.
Ji Bei, Xue Yanhui. Environmental Science and Management, 2009(2): 83-86.
- [41] 范维玉. 新型多功能液膜固沙剂及其应用技术 [J]. 石油大学学报, 2004, 28(2): 95.
Fan Weiuyu. Journal of the University of Petroleum, 2004, 28(2): 95.

(责任编辑 张玉肖, 马骁骁)