有机混合物的制备及其在退化沙地恢复方面的应用

王少昆[1]，赵学勇[1]，王晓江[2]，张铜会[1]，李玉霖[1]，洪光宇[2]，岳祥飞[1]

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 奈曼沙漠化研究站，甘肃 兰州 730000；2. 内蒙古林业科学研究院，内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要：针对科尔沁沙地沙漠化和农牧业生产中的重大生态和经济问题，利用微生物定向培育技术，选择土壤和牛粪混合的菌源母质筛选出具有较强分解能力的纤维素分解菌群(NMCel)；将玉米秸秆和牲畜粪便按照5∶3(干重比)的比例混合，加入稀释后的NMCel菌液进行有氧发酵，发酵60 d后制备成具有一定保水性、透气性和粘性的有机混合物。这种有机混合物对裸沙的修复能力较好，可以显著提高裸沙地表土壤碳氮含量和促进裸沙地表生物结皮的形成。有机混合物的最佳播撒方式是：在裸沙表面播施差不嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、胡枝子(*Lespedeza davurica*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等固沙植物种子后播撒1 kg·m^{-2}有机混合物，然后覆盖遮阴网。有机混合物的播撒使沙丘裸露创面的植被盖度从6%增加到26%，保水性提高24%～47%，抗风蚀能力提高了5.4～8.6倍。

关键词：纤维素分解菌；农牧业冗余物；有机混合物；裸露沙丘；科尔沁沙地

文章编号：1000-694X(2016)04-0990-07　　**DOI**：10.7522/j.issn.1000-694X.2015.00129

中图分类号：S963.91　　**文献标志码**：A

0 引言

科尔沁沙地是中国北方半干旱农牧交错带最典型的区域，也是中国生态环境最为脆弱的地区之一，人为干扰和气候变化使当地脆弱的生态系统进一步恶化[1]。近年来，禁牧、封育等政策的实施使沙漠化呈现逆转的趋势[2]。退化沙地的恢复一直是生态学家关注的热点，其固沙方式以机械固沙、生物固沙和化学固沙为主，其中一些措施具有很好的固沙效果[3-5]。

科尔沁沙地传统的生产方式是农牧结合、半农半牧的形式，传统的农作物以玉米、小麦、水稻、高粱、荞麦、谷子等为主。近年来，由于人口激增和生存压力的加大，大面积的草地和沙丘被开垦成为农田，主要种植高产型农作物——玉米[2]。其种植面积和产量逐年增加，大量的玉米秸秆无法正常还田或被合理利用，焚烧秸秆成了最直接的处理方式，造成了严重的环境污染[6-7]。传统的畜牧业以家庭放牧为主，然而，围封禁牧政策的强制实施使以家庭为单元的放牧模式规模大大缩减，以大规模圈养形式代替。圈养模式在增加农牧民收入的同时可以减轻牛羊等牲畜对草场的破坏，具有很好的生态效果[8]。然而，大规模圈养后的牲畜粪便会大量堆积，如果处理不当，可能造成土壤和水体污染。以地处科尔沁沙地的内蒙古通辽市为例，每年产生玉米秸秆约500万t，牛羊粪便约700万t[9]，而且其产量在逐年增长。在发展农牧业的同时，如何快速、环保的处理玉米秸秆和牲畜粪便等农牧业冗余物已经成为通辽市面临的一大难题。

本研究针对科尔沁沙地沙漠化土地不易恢复、农牧业规模化生产中产生的农牧业冗余物处理不当引起环境污染等重大生态和经济问题，利用微生物定向培养技术，将玉米秸秆和牲畜粪便充分利用，通过发酵制备成具有一定保水性、透气性和粘性的有机混合物，将这种有机混合物应用在沙地修复中，既可以将秸秆和牲畜粪便等农牧业冗余物充分利用，还可以防治固沙。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

本研究在位于科尔沁沙地通辽市奈曼旗境内的中科院奈曼沙漠化研究站内进行(42°41′N，120°55′E)。该地区平均海拔360 m，属温带半干旱大陆性季风气候，年平均降水量366 mm，降水主要发生在

收稿日期：2015-03-09；**改回日期**：2015-08-05

资助项目：国家科技支撑计划项目(2011BAC07B02)；国家自然科学基金项目(41401620，41271007)；中国科学院“百人计划”项目(Y451H31001)；内蒙古自治区科技重大专项(Y439K71001)

作者简介：王少昆(1982—)，男，陕西绥德人，博士，助理研究员，主要从事干旱半干旱地区土壤微生物生态学研究。E-mail：wangsk@lzb.ac.cn

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

7—9 月，年蒸发量1 935 mm，年均气温 6.4 ℃，年均风速 3.2～4.1 m·s^{-1}，冬季多西北风，夏季多西南风。地带性土壤为沙质栗钙土，在长期风蚀作用下退化为风沙土。该地区呈现以流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘、平缓沙地、丘间低地和沙质草地相间分布的景观[1]。主要植物种有差不嘎蒿（*Artemisia halodendron*）、小叶锦鸡儿（*Caragana microphylla*）、达乌里胡枝子（*Lespedeza davurica*）、白草（*Pennisetum cdntraasiatrcum*）、糙隐子草（*Cleistogenes squarrosa*）、灰绿藜（*Chenopodium acuminatum*）、虫实（*Corispermum elongatum*）、狗尾草（*Setaria viridis*）和沙米（*Agriophyllum squarrosum*）等。农作物以玉米为主，占到总播种面积的 70%以上，产量占总粮食产量的 80%以上[9]。

1.2　研究方法

1.2.1　试验设计

高效纤维素分解菌群的筛选。分别选取沙质草地、固定沙丘、丘间低地、人工林地表层土壤和牛粪作为筛选纤维素分解菌源母质，设置草地（GL）、固定沙丘（FD）、丘间低地（ID）、人工林地（AF）、混合土壤（MS）、牛粪（CD）和混合所有（MA）等 7 种组合处理。其中 MS 是将 4 种样地表层土壤破碎化后进行等比混合，MA 是将混合土壤（MS）和牛粪（CD）进行等比例混合。分别将 7 种菌源母质取 5 g 接种到装有纤维素秸秆培养液（CMC－Na，10 g；秸秆粉，10 g；KH_2PO_4，1 g；$MgSO_4 \cdot 7H_2O$，0.5 g；NaCl，0.5 g；H_2O，1 000 mL）的三角瓶中进行纤维素分解菌群初级分离，每种处理设置 5 瓶重复，振荡（150 rpm）培养 3 d。将初级培养液 10 mL 转接入纤维素培养液（CMC-Na，15 g；酵母膏，1 g；KH_2PO_4，1 g；$MgSO_4 \cdot 7H_2O$，0.5 g；NaCl，0.5 g；H_2O，1 000 mL）中，30 ℃水浴中摇瓶 150 rpm 培养 15 d。在摇瓶培养的过程中，每 3 d 测定 1 次培养液的 pH 值。培养结束后，对筛选出的分解菌群的滤纸分解能力进行测定。通过培养液的 pH 变化及其分解能力综合判定最佳菌源母质，对最佳菌源母质筛选出的分解菌群定为高效纤维素分解菌群（NMCel）。

有机混合物的配比优化与发酵制备。选择玉米秸秆和牛粪作为原材料，根据不同比例组合成 5 种配比的混合物（玉米秸秆与牛粪的干重比分别为 5∶1、5∶2、5∶3、5∶4 和 5∶5）；将这 5 种不同配比的混合物分别称取 5 g 置于培养皿中，分别取 20 mL 的 NMCel 培养液接种到培养皿中（不加盖），每种配比 5 个重复。将培养皿置于培养箱中 30 ℃通气培养，15 d 后测定混合物的分解率。选择分解率最高的组合为最优配比。将玉米秸秆和牛粪分别粉碎后按照两者最优配比的比例进行混合，同时将 NMCel 培养液稀释 20 倍后喷洒在玉米秸秆和牛粪混合物中，使混合物保持约 200%的持水率（质量含水量），加入发酵池搅拌均匀，发酵在有氧条件下进行，每隔 5 d 搅拌 1 次。发酵过程中观察菌丝体、颜色和秸秆硬度的变化，判定发酵结束时间。

有机混合物播撒方式和播撒量的确定。在奈曼沙漠化研究站选择一块植被和土壤都比较均一且地势平坦的试验地，通过 2 种结皮处理（原状 CK 和去掉结皮与植被）、不同地表覆盖处理（不遮盖 CK、遮阴网覆盖、塑料薄膜覆盖）和不同有机混合物添加量处理（图 1、2）。一个月后，测定不同处理下土壤表层（0～5 cm）和下层（5～10 cm）碳氮含量和每种处理下的结皮发育情况，以确定有机混合物最优喷洒方式和播撒量。

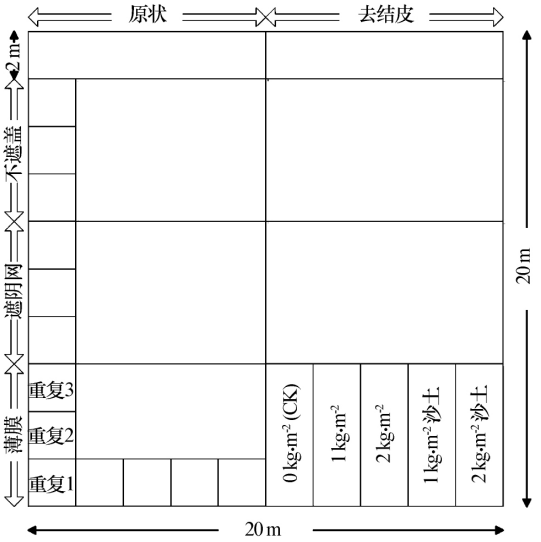

图 1　有机混合物播撒方式

Fig. 1　Experimental scheme for optimizing the consumption of the organic compound

有机混合物在退化沙地修复方面的应用。依据有机混合物最优播撒方式的结果，选择半固定沙丘中的裸露创面为修复对象。在风季过后（5 月底）将有机混合物播撒在沙丘裸露创面，加施差不嘎蒿、胡枝子、狗尾草等固沙植物种子后，用遮阴网进行覆盖，不进行任何处理的裸露创面作为对照（CK）。用插钎法测定土壤风蚀量，在植物生长旺季（8 月初）进行植被调查和土壤水分的测定，以确定有机混合物对沙丘裸露创面植被恢复、保水性和抗风蚀能力等方面的效果。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

图2 试验样地

Fig. 2 Experimental site for optimizing the consumption of the organic compound

1.2.2 测定方法

纤维素分解菌群的分解能力采用滤纸分解法测定[10-11]。将0.5 g滤纸作为唯一碳源置于100 mL培养液中，接入5 mL纤维素分解菌液，每种菌液分别接种9个重复，35 ℃下培养5 d，分别在第2、3、5天时离心、烘干(每次3个重复)，利用失重法计算纤维素分解菌群对滤纸的分解率。土壤有机碳含量采用重铬酸钾-硫酸氧化法，全氮含量采用凯氏定氮法[12]。土壤体积含水量用TDR(时域反射仪)测定[13]，结皮厚度用游标卡尺测定，风蚀量采用测钎法[14-15]测定。植被调查包括植被盖度和高度。

1.2.3 数据分析

基本数据分析和绘图采用Microsoft excel和Origin 8.0软件，差异性分析采用SPSS软件，两者之间的差异采用One-way ANOVA和LSD，所有数值采用平均数±标准差的形式。

2 结果与分析

2.1 高效纤维素分解菌群

2.1.1 培养液pH值

经过15 d的培养，各培养液中的pH值变化明显，而且变化趋势也有所不同(图3)。4种样地表层土壤培养液pH值变化趋势基本相同，最终pH值均在8.0左右，呈碱性，而土壤混合物的pH值平稳上升，最终保持在7.5左右；牛粪培养液的pH值先升高，后降低，最终的pH值低于初始培养液值，呈酸性；土壤和牛粪混合物培养液中的pH值在第6天达到最高值7.5，之后一直缓慢降低，接近中性。因此，混合土壤和混合所有处理是较稳定的筛选高效纤维素分解菌源母质。

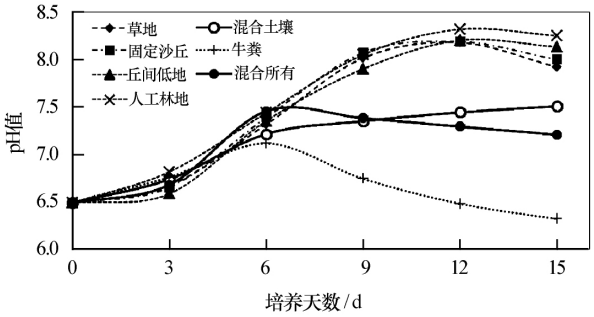

图3 培养液pH值随培养时间的变化

Fig. 3 Trends of pH value in liquid medium along cultural procedure

2.1.2 菌群分解能力

不同的菌源母质分离出的7种分解菌群对滤纸的分解率都能达到较高水平，其中CD和MA样品中分离出的分解菌群具有对滤纸更高的分解效率(表1)。

表1 滤纸分解率

Table 1 Changes of filter paper decomposition rate

分解菌群来源	分解率/%		
	第2天	第3天	第5天
草地(GL)	13.43	30.54	59.27
固定沙丘(FD)	16.06	28.65	57.97
丘间低地(ID)	13.39	33.33	56.48
人工林地(AF)	14.61	28.94	56.93
混合土壤(MS)	16.74	32.72	64.00
牛粪(CD)	19.18	35.98	70.98
混合所有(MS+CD)MA	19.83	41.64	82.14

综合考虑分解菌群培养液pH环境变化及分解能力，选定MA样品中筛选出的分解菌群为高效纤维素分解菌群，将其命名为NMCel菌群，用于后期有机混合物快速发酵。

2.2 有机混合物的配比优化与发酵制备

2.2.1 配比优化

当玉米秸秆与牛粪的干重比为5∶3的时候，分解最快，显著高于其他配比组成(图4)。因此，利用农牧业冗余物玉米秸秆和牛粪按照干重比5∶3的比例进行混合后，加入之前筛选出的高效纤维素分解菌群NMCel，可以组成有利于分解的有机混合物，并用于扩大化发酵处理。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

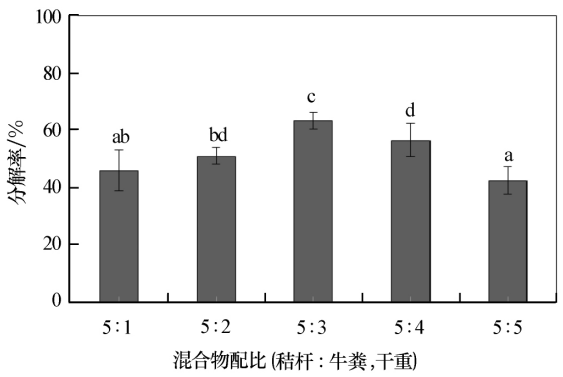

图 4　不同配比的有机物分解率(不同字母表示差异显著，$P<0.05$)

Fig. 4　Decomposition rate of the different compounds

2.2.2　发酵过程

混合物在发酵池发酵过程中，其中菌丝体、颜色、硬度和形态发生着很大的变化(表 2，图 5)。第 5 天，混合物已经出现白色菌丝体；第 15 天，菌丝体迅速滋生，混合物颜色变深；之后混合物颜色逐渐加深，在一个月左右的时候，混合物开始变黑；两个月的时候，混合物中只能见到少量菌丝体，其颜色发黑，变得松软，有机混合物制备成功，可以进行大田利用。

2.3　有机混合物播撒方式和播撒量的确定

2.3.1　土壤碳氮含量

有机混合物播撒一个月后，不同添加量处理表层(0～5 cm)和下层(5～10 cm)土壤有机碳和全氮含量如图 6 所示。在原状草地中，播撒有机混合物对土壤碳氮含量影响不大，尤其是对下层土壤碳氮含量没有影响，只有在添加 2 kg·m^{-2}有机混合物的情况下，表层土壤有机碳显著高于对照 CK。但是，当去掉草地表层植被和结皮后，添加有机混合物均能够在不同程度上增加土壤有机碳和全氮含量。其中以添加 2 kg·m^{-2}有机混合物的时候土壤有机碳和全氮含量最高，但是在添加有机混合物的 4 个处理间差异不显著($P>0.05$)。也就是说，在地表没有植被和结皮覆盖的裸沙表面，喷洒这种有机混合物能够增加土壤养分含量，这对沙地裸露创面的固定和恢复具有积极的意义。

表 2　混合物在有氧发酵过程中的变化

Table 2　Changes of the compound along aerobic fermentation procedure

	0 d	5 d	15 d	30 d	60 d
菌丝体	−	+	+++	++	少许
颜色	淡黄色	黄色	黄褐色	褐色，有黑色斑点	黑色
秸秆硬度	硬	较硬	较硬	开始变软	松软

图 5　混合物在发酵过程中形态的变化

Fig. 5　Changes of the compound along aerobic fermentation procedure

2.3.2　结皮发育情况

无有机混合物添加处理(CK)中结皮厚度为无覆盖＜遮阴网覆盖＜薄膜覆盖，其中薄膜覆盖处理下地表结皮厚度最大。而 4 种添加有机混合物处理下相同覆盖的地表结皮厚度没有差异($P>0.05$，图 7)。然而，从发育的结皮种类来看，3 种覆盖处理的差异较大。无覆盖下，生成的结皮都是物理结皮，遮

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

阴网覆盖处理下生成了生物结皮，主要集中在表层添加有机混合物 1 kg·m^{-2}和 2 kg·m^{-2}的样方中，添加有机混合物后翻土处理下（＋沙土）发育的结皮主要是物理结皮，部分养分发育出少许生物结皮。而薄膜覆盖处理下主要是物理结皮，在添加有机混合物的情况下有少许生物结皮。

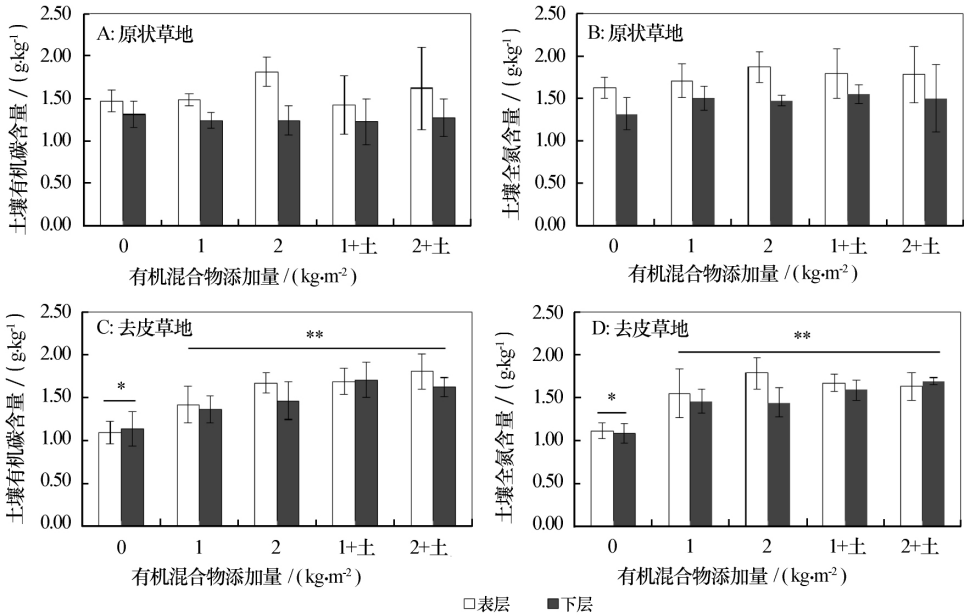

图6 有机混合物不同添加方式下土壤有机碳和全氮含量（*，差异显著，$P<0.05$；**，差异极显著，$P<0.01$）

Fig. 6 Soil organic carbon and total nitrogen under different organic compound addition treatments

塑料薄膜覆盖处理下，虽然发育的结皮厚较厚，但是这些结皮大部分是物理结皮。这主要是由于水汽蒸发不出去，在地表形成板结现象。在本试验过程中，由于5月初连续几天高温，塑料薄膜覆盖处理样方中的植物被高温灼伤，造成了地表植被大批死亡，所以用薄膜覆盖处理在具体实施过程中具有一定的风险。虽然无覆盖与遮阴网覆盖处理下结皮厚度基本相同，但是遮阴网覆盖可以诱导生物结皮的生成，而且遮阴网还可以将有机混合物固定在地表，防止大风将其刮走。

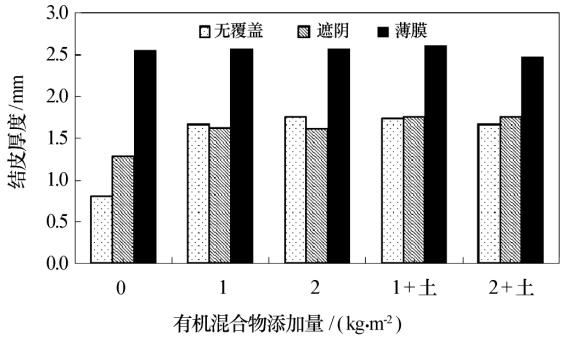

图7 有机混合物不同添加方式下地表结皮厚度

Fig. 7 Soil crust thickness under different organic compound addition treatments

从土壤碳氮含量、结皮发育情况，以及成本投入和生态效果综合考虑，有机混合物的最佳播撒方式是，在裸沙表面播撒 1 kg·m^{-2}有机混合物后用遮阴网进行覆盖。

2.4 有机混合物对沙丘裸露创面的修复

2.4.1 植被

有机混合物的播撒可以有效增加沙丘裸露创面的植被盖度，对植物高度影响不显著。播撒有机混合物后，沙丘裸露创面的植被盖度从6%增加到26%，增加了4倍多。可见，本有机混合物的播撒可以促进沙丘植物的生长，对退化沙丘的植被恢复具有积极的意义。

2.4.2 土壤水分和风蚀量

有机混合物的播撒对土壤水分和地表抗风蚀能力均具有显著的影响。有机混合物覆盖下，土壤水分含量比对照高76.71%，保水性提高了24%～47%；风蚀厚度比对照减少了83.49%，抗风蚀能力提高5.4～8.6倍。可见，有机混合物在最优播撒方式下对沙丘裸露创面具有较好的保水性和抗风蚀性，能够减弱恶劣环境对沙丘裸露创面的破坏。

3 结论与讨论

本研究利用特异性碳源物质（碳源为羧甲基纤维素钠 CMC-Na）培养液在不同的菌源母质中筛选出具有不同分解能力的纤维素分解菌群，其中利用土壤与牛粪混合（MA）后筛选出的菌群（NMCel）具

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有最高的滤纸分解率(82.14%)和较稳定的 pH 值。玉米秸秆与牛粪的干重比为 5∶3 时，NMCel 菌群对其分解最快，显著高于其他配比组成。混合物经过两个月的有氧发酵后植被成具有一定保水性、透气性和粘性有机混合物，这种有机混合物可以显著提高裸沙地表土壤碳氮含量和促进裸沙地表生物结皮的形成。综合考虑成本投入和生态效果，有机混合物的最佳播撒方式是在裸沙表面播撒 1 kg·m^{-2} 有机混合物后用遮阴网进行覆盖。有机混合物的播撒使沙丘裸露创面的植被盖度从 6%增加到 26%，保水性提高了 24%～47%，抗风蚀能力提高了 5.4～8.6 倍。有机混合物在最优播撒方式下对沙丘裸露创面具有较好的保水性能和抗风蚀能力，能够减弱恶劣环境对沙丘裸露创面的破坏。

国内外有关纤维素分解菌(群)分离和筛选方面的研究非常广泛，从森林[16]、草地[17]、农田[18]、沙地[19]、淤泥[20]、动物肠胃[21]、堆肥[22]等不同环境中筛选出了具有较强纤维素分解能力的微生物和菌群。单一菌株具有针对性强、易于控制的特点，然而其对环境的要求很高；混合菌群中各种微生物相互协调，具有更加稳定的分解能力。本研究中筛选出的高效纤维素分解菌群具有较高的分解能力和较稳定的环境适应能力，但是由于混合菌群中的菌种复杂，无法对菌群中所有菌种进行逐一鉴定，在后期的研究中有必要对混合菌群中的优势菌进行鉴定。

利用高效纤维素分解菌群的高效分解能力，在合适的温湿度和有氧条件下将玉米秸秆和牛粪按照一定比例混合后进行分解和发酵。利用有机混合物本身具有的肥力效果，对沙丘裸露创面进行修复，同时加以播施固沙植物种子，固沙植物种子可以在有机混合物和遮阴网的保护下，在这种水肥环境较好的条件下萌发并定植，达到固沙的效果。有关固沙材料选择是沙漠化防治中的重要环节，传统的固沙方式主要集中在机械固沙和生物固沙方面[4]，机械固沙和生物固沙的固沙时间较长，促使化学固沙的快速发展，化学固沙材料一般包括聚合物水泥浆、水玻璃、石油产品类、高分子材料类，这些化学材料能起到较好的固沙效果，然而，也存在二次污染的风险和研发成本高的问题[23-24]。本研究以生态固沙的理念为导向，利用农牧业冗余物制备成的这种有机混合物固沙材料具有保水、增肥、生产成本低的优点，因此，具有很好的推广价值。但是，由于在固沙过程中用到了遮阴网对有机混合物进行覆盖，所以遮阴网要在灌木-草被-结皮体系形成之后进行人工去除，否则会影响固着的植物生长，并且污染土壤环境。如果能综合利用可降解材料或无污染高分子胶对其进行覆盖，本研究的固沙效果会更好。

参考文献：

[1] 赵哈林，赵学勇，张铜会. 科尔沁沙地沙漠化过程及其恢复机理[M]. 北京：海洋出版社，2003.

[2] Zhao X Y，Wang S K，Luo Y Y，et al. Toward sustainable desertification reversion：a case study in Horqin Sandy Land of northern China[J]. Sciences in Cold and Arid Regions，2015，7(1)：23－28.

[3] 朱震达，刘恕，邸醒民. 中国的沙漠化及其治理[M]. 北京：科学出版社，1989.

[4] 王涛. 中国沙漠与沙漠化[M]. 石家庄：河北科学技术出版社，2003.

[5] 袁立敏，高永，黄海广，等. 生物模块沙障对流动沙丘土壤微生物分布的影响[J]. 中国沙漠，2015，35(1)：189－194.

[6] 刘春艳，侯辉，宋文有，等. 通辽市科尔沁区玉米生产现状及发展对策[J]. 现代农业科技，2011(6)：374.

[7] 周亚星，周伟. 通辽市玉米生产现状及发展策略[J]. 内蒙古农业科技，2014(1)：8－9.

[8] 陈晓彩，修宗敏，孟根其木格. 通辽市草原畜牧业发展的现状与对策[J]. 内蒙古民族大学学报，2007，13(5)：48－49.

[9] 内蒙古统计局. 内蒙古统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2013.

[10] 崔宗均，李美丹，朴哲. 一组高效稳定纤维素分解菌复合系 MC1 的筛选及功能[J]. 环境科学，2002，23(3)：36－39.

[11] 王得武，姚拓，杨巧丽，等. 高效稳定纤维素分解菌群筛选及其分解特性研究[J]. 草业学报，2014，23(2)：253－259.

[12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000.

[13] 刘新平，张铜会，赵哈林，等. 流动沙丘降雨入渗和再分配过程[J]. 水利学报，2006，37(2)：166－171.

[14] Gupta J P，Aggarwal R K，Raikhy N P. Soil erosion by wind from bare sandy plains in western Rajasthan，India[J]. Journal of Arid Environments，1981，4(1)：15－20.

[15] 戴海伦，金复鑫，张科利. 国内外风蚀监测方法回顾与评述[J]. 地球科学进展，2011，26(4)：401－408.

[16] Štursová M，Žicáková L，Leigh M B，et al. Cellulose utilization in forest litter and soil：identification of bacterial and fungal decomposers[J]. Fems Microbiology Ecology，2012，80(3)：735－746.

[17] 芦光新，陈秀蓉，杨成德，等. 一株纤维素分解菌的鉴定及对两种草坪草凋落物分解活性的研究[J]. 草业学报，2011，20(6)：170－179.

[18] 甄静，王继雯，谢宝恩，等. 一株纤维素降解真菌的筛选、鉴定及酶学性质分析[J]. 微生物学通报，2011，38(5)：709－714.

[19] Wang S K，Zhao X Y，Zuo X A，et al. Screening of cellulose decomposing fungi in sandy dune soil of Horqin Sandy Land[J]. Sciences in Cold and Arid Regions，2015，7(1)：74－80.

[20] 唐蕊. 土壤中纤维素分解菌的分离与鉴定研究[J]. 北方园艺，2011，13：41－42.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[21] 樊程,李双江,李成磊,等.大熊猫肠道纤维素分解菌的分离鉴定及产酶性质[J].微生物学报,2012,52(9):1113-1121.
[22] 牛俊玲,李国学,崔宗均,等.堆肥中高效降解纤维素林丹复合菌系的构建及功能[J].环境科学,2005,26(4):186-190.
[23] 周明吉,周玉生,孙加亮,等.我国固沙材料研究及应用现状[J].材料导报,2012,26(2):332-334.
[24] 严亮,杨久俊.新型化学固沙材料的研究现状及其展望[J].材料导报,2009,23(3):51-54

Organic Compound and Its Utilization in Sandy Land Restoration

Wang Shaokun[1], Zhao Xueyong[1], Wang Xiaojiang[2], Zhang Tonghui[1], Li Yulin[1], Hong Guangyu[2], Yue Xiangfei[1]

(1. *Naiman Desertification Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*; 2. *Inner Mongolia Academy of Forestry, Hohhot* 010010, *China*)

Abstract: Our study focused on the ecological and economical issue that caused by desertification and farming production in Horqin Sandy Land. We use microbial cultivation technique to screen efficient cellulose decomposing microbial flora (NMCel) from the matrix of sand soils and cattle dung. Maize straw and cattle dung (the dry weight ratio is 5∶3) were used to produce organic compound, adding diluted NMCel to accelerate the compound decomposition rate. The organic compound had a good potency of water holding capacity, air permeability, and viscosity after 60 days fermentation. The organic compound was very efficient to rehabilitate bare sand dunes, and it can increase surface soil organic carbon and total nitrogen, and accelerate biological soil crust formation. Take cost and ecological effects in consideration, we optimized the dune restoration method: put the organic compound ($1\ kg \cdot m^{-2}$) on the bare sand dunes after sowing the seeds of *Artemisia halodendron*, *Lespedeza davurica*, *Setaria viridis* and so like sand-fixing plants, and then cover the organic compound by shadow nets. The field experiment showed that the optimized method increased vegetation coverage from 6% to 26%, improved soil water hold capacity by 24%-47%, and enhanced wind erosion resistance ability by 5.4-8.6 times compared with natural restoration.

Key words: cellulose decomposers; redundant material; organic compound; bare sand dune; Horqin Sandy Land

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net