

騰格里沙漠地区沙地土壤微生物学特性的研究*

張憲武 許光輝

(中国科学院林业土壤研究所)

沙漠的严重危害主要是流沙的移动。因此,沙漠改造和治理中的重要工作之一,是采取各种措施固定流沙^[1]。

一般說来,固定流沙有两种方法:一种是植物固沙,一种是机械固沙。机械固沙是暫时的固沙法,为固定流沙不可缺少的一环;而植物固沙是一种最根本最可靠的永久固沙方法^[2,3]。流沙一經生长植物,它的基本性質就要改变,形成固定沙丘。这就为进一步改造利用沙漠,創造了先决条件。

騰格里沙漠属于阿拉善荒漠区。荒漠和半荒漠地区环境条件比較恶劣。气候干燥,降雨量少,蒸发量大,风害严重。温度变化剧烈,夏季酷热(沙面温度最高可达70℃以上),冬季酷冷,沙丘高陡,遇大风时,沙尘飞揚,沙粒移动,地形随时变化。沙內水分和养分含量十分貧乏。所有这些自然因素,都是一般植物所不能忍受的,以致沙丘上面几乎没有植物生长^[2,4]。

几年来,固沙造林試驗結果証明,在这历来很少生长植物的流沙上植物固沙方法的成功,在很大程度上是由于选择了适宜的固沙植物^[2]。但是,植物种类繁多,沙丘地面情况千变万化,影响植物成活及生长的有許多因子。因此,一方面要研究固沙植物的生物学和生态学特性;一方面还必须了解植物的生长发育和所有环境条件,包括气候、水文、土壤、微生物等条件之間的相互关系。只有充分掌握了这些規律,才能順利地解决固定流沙,綠化沙漠,改良土壤,改变气候,从而变沙漠为良田,彻底改变沙区面貌的根本任务。

关于以自己积极的生命活动影响着周围环境条件的活的有机体——微生物——在沙地土壤中的存在,以及这些微生物在这一特殊条件下所进行的一系列的生物学过程,对固沙植物的生长,流沙的固定和沙土肥力形成等有关的許多問題,都是土壤微生物学中富有意义而亟待了解的^[5]。对这些問題的研究,不仅可以幫助我們深入查明沙漠地区土壤微生物学特性,而且使我們有可能提出充分利用微生物加速流沙固定、改良沙土、提高沙土肥力的措施。

我們在1959年,曾对包兰鉄路中卫段騰格里沙漠地区的不同沙丘类型进行过土壤微生物区系的分析。有关資料已在中国科学院治沙队第一次学术报告会上发表^[6]。

1960年,我們对该地区的不同沙型的沙土,同时結合固沙造林,对各种主要固沙植物根际的沙土进行了微生物学的分析。这里发表的是分析的結果。

* 参加工作的还有科学院治沙队梁玉蓮、閻玉仙等同志。

在本研究过程中,承科学院治沙队陈文瑞、陈隆亨两位同志的热誠帮助,指导采集样品和介紹資料,又承該队理化組协助分析沙中有机質、全氮含量和 pH,特致謝意。

研 究 方 法

(一) 样品的采集

我們在上茶房庙以西至一碗泉間的鐵路兩側,采集了各种不同类型沙丘的样品。流动沙丘分布在鐵路以北,沙丘完全裸露,沒有植物复盖,仅在风蝕洼地及落沙坡脚下,有稀疏的花棒及籽蒿生长。这种沙丘流动性很大。半固定沙丘的样品采于鐵路北面。一般叫棕鈣土型沙土^[7]。表面有松脆的薄結皮,石灰反应較強烈,表层盐分含量較高,質地也較細。剖面与流沙比較开始分化。植物复盖度約 30—50%,主要为柠条及籽蒿,間以一些油蒿和猫头刺。固定沙丘位于路南,为发育于山前平原的松沙質原始棕鈣土。沙地表面全部固定,土壤有比較明显的发育层。能初步看出較紧密的和含碳酸盐較多的淀积层,土壤質地变得更細,粘粒和腐殖質增加。其上生长着抗旱耐盐的草本植物,如茵陈蒿、沙葱等,低处則出現苔草。灌木有紅沙和白芨柴。样品采集的深度为 0—30 厘米。

固沙植物,几乎都生长在沙坡头鐵路以北格状新月形流动沙丘的丘間低地上(沙窩)。我們采集了下列几种主要的固沙植物根际的沙土,作为分析的样品。

乔木中有沙枣 (*Elaeagnus angustifolia*),小叶楊 (*Populus simonii*);灌木中有花棒 (*Hedysarum scoparium*),黃柳 (*Salix flavida*),柠条 (*Caragana microphylla*),沙拐枣 (*Calligonum mongolicum*);半灌木中有籽蒿 (*Artemisia sphaerocephala*)。

此外,我們还采集了格状半隱蔽式沙障(草方格)中的表层結皮和結皮下层沙土的样品。

各种样品采集于 1960 年 8 月。

(二) 研究方法

对采集的样品我們进行了微生物数量、組成和生物活性的分析。

微生物的分析包括:細菌、真菌、放綫菌、芽孢杆菌、固氮微生物和分解纖維素微生物。我們还测定了硝化細菌和矽酸盐細菌的数量。

生物活性強度的測定包括氨化作用、固氮作用、硝化作用和纖維素分解作用。

上述各項分析,我們采用了一般常用的土壤微生物分析方法。这些方法見我所主編的土壤微生物分析方法手册^[8]。

結 果 和 討 論

根据土壤調查的資料,这一地区流沙上土壤的发育有两种情况:一种是地下水位高,土壤的发育受地下水的影响,向草甸化(同时有盐漬化)过程发育;一种是地下水位埋藏很深,土壤則向着地带性的土壤发育。一般后者的发育过程为流沙 → 棕鈣土型沙土 → 松沙質原始棕鈣土 → 沙質棕鈣土^[1,7]。我們的分析表明,从流沙經棕鈣土型沙土到松沙質原始棕鈣土,不仅在土壤的性質(沙粒大小,水分养分状况)和植被的分布上有所不同,而沙中微生物也起着相应的变化。土壤水分养分和微生物数量分析的結果列于表 1。

从表 1 可以看出,在流沙中水分养分状况都是十分貧乏,加上沙的流动性,微生物的

表 1 不同沙型下沙中水分养分状况和微生物数量的变化

沙 型	水分 (%)	pH	有机质 (%)	全 氮 (%)	微生物总数 (千/克干土)	細 菌 (千/克干土)	真 菌 (千/克干土)	放 綫 菌 (千/克干土)	芽孢杆菌 (千/克干土)
流 沙	0.4	8.26	0.26	0.035	812	680 [*]	4	8	120
半固定	1.2	8.55	0.42	0.023	6,344	5,324	244	632	144
固 定	3.3	9.14	0.87	0.056	4,867	4,512	212	101	42

含量是相当低的。流沙中細菌占优势,真菌和放綫菌的量相对的少得多。

流沙的固定显然給其中微生物的发育創造了有利的条件。流沙上面生长了植物,沙中有机质含量增加,其他条件也有所改善,因此微生物旺盛地发育起来。表中的数据充分表明,流沙一經固定,微生物的一些主要类羣:細菌、真菌、放綫菌都大量增加。

对細菌組成分析的結果(表 2)表明,在流沙中有着相当数量的产色无芽孢細菌,它們大多属于細球菌属(*Micrococcus* spp.)和八迭球菌属(*Sarcina* spp.)。芽孢杆菌属(*Bacillus*)的細菌,在流沙中占的比例也很大,它們多呈芽孢型存在于流沙中, $\frac{A^*}{B}$ 的比值为 6, 这說明这些产生芽孢的細菌多半处于不活动的状态。在产色无芽孢細菌中产螢光細菌的量很少。这反映了由于流沙中有机质含量的貧乏,这些重要的氨化細菌沒有得到适宜的发育环境^[9]。

表 2 在不同沙型下細菌組成的变化

沙 型	細 菌 (千/克干土)					芽 孢 杆 菌 (千/克干土)				
	总 数	无色无芽孢菌	产色无芽孢菌	产螢光菌	芽孢杆菌	总 数	馬鈴薯-枯草杆菌	巨大芽孢杆菌	<i>Bac. idosus</i>	其他各种芽孢杆菌
流 沙	680	80	520	60	20	120	30	50	10	30
半 固 定	5,324	0	2,840	2,414	70	144	17	18	19	90
固 定	4,592	0	1,632	2,680	280	42	4	3	17	18

随着流沙的固定可以看出,无芽孢細菌中产螢光細菌(大部分属假单孢杆菌属 *Pseudomonas* spp.) 的数量急剧增加。而与此同时,芽孢型状态的芽孢杆菌的数量却相应减少。

$\frac{A}{B}$ 的比值在半固定沙丘为 2, 而在固定沙丘为 0.15。

从芽孢杆菌种的組成可以看出,在流沙上巨大芽孢杆菌(*Bacillus megatherium*)和馬鈴薯-枯草杆菌(*Bacillus mesentericus-subtilis*) 数量較多。而随着沙丘的固定这两种菌逐漸减少,代之而起的是 *Bacillus idosus*。这种变化在一定程度上反映了流沙固定后沙土中有机氮的增加。一般认为,巨大芽孢杆菌和馬鈴薯-枯草杆菌是要求无机氮,而 *Bacillus idosus* 則是处于要求无机氮和有机氮之間的过渡类型^[10]。

流沙固定以后,产螢光細菌和芽孢杆菌营养型細胞的增加,反映了土壤中有一定数量新鮮有机物質的累积^[9,10]。这一点,可以从沙土中有机质含量分析的結果得到証明。

从真菌和放綫菌的組成来看,在流沙中主要的为青霉属(*Penicillium*) 的真菌和白色

* $\frac{A}{B} = \frac{\text{在肉汁蛋白胨 + 麦芽汁培养基上的芽孢型芽孢菌数(經巴氏灭菌)}}{\text{在肉汁蛋白胨培养基上的营养型芽孢菌数}}$

有气生菌絲的放綫菌。而隨着沙丘的固定,真菌中麴霉属(*Aspergillus*)的代表代替了青霉属的代表而占优势。放綫菌中除了白色有气生菌絲的类型外,出现了无色的无气生菌絲的类型。

已经累积的有关青霉和麴霉生态分布规律性的材料表明,在碱性土中,青霉属真菌的生长受到很大的抑制,然而麴霉属真菌的数量反而增加。麴霉属的代表随着土壤中矿化作用加强而增加时,青霉属的相对菌数降低^[11]。

对不同沙丘类型沙地土壤中微生物生理类群数量的分析可以看出,沙漠由流动沙丘向半固定和固定沙丘变化的过程,各主要生理群的数量也起着明显的变化。固氮微生物、分解纤维素微生物、硝化细菌的数量逐渐增加。在流沙中没有发现的矽酸盐细菌,在半固定和固定沙丘中它们却大量出现(表3)。

表3 不同沙型下微生物各生理群数量的变化

沙 型	固氮微生物(千/克干土)			分解纤维素微生物 (千/克干土)	硝化细菌 (个/克干土)	矽酸盐细菌 (千/克干土)
	总 数	微嗜氮细菌	自生固氮菌			
流 动	265	180	42	0.6	100	0
半 固 定	3,077	1,103	182	17.6	1,000	547
固 定	3,351	1,533	290	13.5	10,000	238

从土壤分析的資料表明,流沙固定后,沙土中鉀的含量增加。这与沙中所含长石較易风化有关^[7]。但矽酸盐细菌的增加,必将促进矿物中鉀的释放,从而提高沙土中鉀的含量^[12]。

分析的材料表明,在流沙中存在着相当数量的固氮微生物,其中主要的为微嗜氮的细菌和某些自生固氮菌(主要是褐色球形自生固氮菌 *Azotobacter chroococcum*)。它们具有較强的固氮能力。随着流沙的固定,这类微生物的数量增加,作用强度也相应提高(表4)。固氮微生物固定的氮素,看来是沙土中氮素的重要来源之一。

表4 不同沙型下生物活性强度的比較

沙 型	氨 化 作 用 (N毫克/克干土)	固 氮 作 用 (N毫克/克干土)	硝 化 作 用* (NO ₃ 毫克/克干土)	纤 维 素 分 解 作 用 (%)
流 动	0.61	2.3	1.30	5.6
半 固 定	1.01	2.5	1.67	4.4
固 定	0.78	2.9	1.55	3.3

* 硝化作用为测定由 NH₃ 形成 NO₃ 的量。

从表4的结果可以看出,虽然在流沙中氨化细菌的数量不多,但它们都具有較强的潜在的氨化能力。从表4还可以看到,随着流沙的固定,沙土中硝化细菌数量增加的同时,硝化细菌的活性也有增加的趋势。

在流沙中,真菌是主要的纤维素分解者。而在半固定和固定沙丘中,参与纤维素分解的微生物主要是放綫菌。只是在固定沙丘下有少数的细菌参加了这一作用。

所有上述结果表明,随着流沙的固定,沙土中微生物的数量和活性都发生着很大的变化,其中某些重要的作用在流沙固定后的相应提高,对于沙地土壤肥力和植物营养必将产生一定的影响。因此,流沙的固定是创造和提高土壤肥力的重要一环,而植物的生长不仅

是流沙固定的重要因素，而且也是沙土中与創造土壤肥力有关的那些微生物旺盛发育和积极活动的重要条件。

在流动沙丘上进行固沙造林，是人工促进流沙固定的主要措施之一。几年来的試驗表明，許多植物能在流沙上生长发育，它們大多是耐干旱、耐貧瘠、抗风性能強、生长快、根系发达的多年生植物^[2]。

我們从这些主要的固沙植物根部采集了根际土壤样品，进行了微生物学分析，結果列于表 5。

表 5 各种固沙植物根际微生物的数量

固沙植物	微生物总数 (千/克干土)	在肉汁蛋白胨上的細菌(千/克干土)					在肉汁蛋白胨+麦芽汁上的芽孢細菌 (千/克干土)	真 菌 (千/克干土)	放 綫 菌 (千/克干土)
		总 数	无 色	产 色	螢 光	芽 孢			
沙 枣	3,579	3,409	0	40	0	80	111	53	6
小 叶 楊	3,653	3,265	50	1,070	1,230	900	12	363	13
花 棒	628	582	0	460	30	30	22	4	20
黄 柳	2,340	2,101	1950	130	0	10	20	194	25
檉 条	2,877	2,423	400	1,400	100	500	140	38	276
沙 拐 枣	3,443	3,350	740	1,800	680	110	6	79	8
籽 蒿	4,695	4,054	0	3,250	0	50	5	608	28
流 沙	543	240	120	100	0	0	292	9	2

表 5 的数据表明，各种固沙植物根际微生物的数量与附近流动沙丘相比，显然是有很大的增长。从細菌的組成来看，固沙植物根际产生色素的細菌增加，而在一些植物的根际出现了大量的、在流沙中几乎没有发现的产生螢光的无芽孢細菌。芽孢杆菌在固沙植物的根际大半是呈营养型状态， $\frac{A}{B}$ 的比值很小。而在流沙中它們差不多全是静止型的芽孢。大量的无芽孢細菌，特别是产色的螢光細菌的出现，正象前面已經指出的那样，说明了土壤中具有一定数量的有机物质。細菌形成芽孢，一般认为是为了抵抗不良的外界环境。在固沙植物根际大部分芽孢杆菌轉变为营养型的細胞，并且大量生长，反映了环境条件已有利于这类菌的发育。芽孢杆菌是活跃的氨化能力較強的一类細菌。除了氨化作用

表 6 各种固沙植物根际微生物生理量数量的变化

固 沙 植 物	氨化細菌 (千/克干土)	固氮微生物(千/克干土)			分解纖維 素微生物 (千/克干土)	硝化細菌 (个/克干土)	矽酸盐細菌 (千/克干土)
		总 数	微嗜氮菌	自生固氮菌			
沙 枣	3,409	543	60	361	1.1	100	90
小 叶 楊	3,265	2,331	0	70	7.1	1,000	300
花 棒	582	1,996	0	160	28.3	100	110
黄 柳	2,101	754	80	400	3.7	10	0
檉 条	2,423	1,979	575	374	2.9	10	101
沙 拐 枣	3,350	2,103	1,288	60	4.0	10	190
籽 蒿	4,054	1,872	391	531	4.6	10	120
流 沙	240	60	55	2	3.5	10	0

外,它們大都具有形成生长素的能力^[9,10]。

在流沙上,真菌的組成中几乎只有青霉屬的代表,而在固沙植物的根际除了青霉外,出現了大量的麴霉。在沙枣和沙拐枣的根际出現了毛霉屬(*Mucor*)的代表,而在沙枣的根际还发现了镰刀霉屬(*Fusarium*)的代表。已有資料表明,毛霉在新鲜的、富含有机态氮素和单糖的有机殘体中繁殖較多,而镰刀霉的出現是反映了土壤中无机氮的增加^[10]。

从各种固沙植物根际主要微生物生理羣的分析,也可以看出类似的情况(表6)。

从表6数据可以看出,除了氨化細菌在固沙植物根际比附近的流沙有大量的增加以外,各种固沙植物根际固氮微生物的数量也有显著的增长。在某些植物的根际硝化細菌和分解纖維素微生物数量比流沙要多。而在流沙中没有发现的矽酸盐細菌,却在許多种固沙植物的根际旺盛地生长。这些具有強烈矿化作用能力、并能从空气中固定氮素的微生物在植物根际的旺盛发育,对植物营养,毫无疑义,将起着一定的作用。

生物活性測定的結果,在一定程度上反映了这些微生物类羣数量的变化与其作用强度之間的相关性(表7)。

表7 各种固沙植物根际土壤中微生物的活性

固沙植物	氨化作用 (N毫克/克干土)	固氮作用 (N毫克/克干土)	硝化作用 (NO ₃ 毫克/克干土)	纖維素分解作用 (%)
沙 枣	0.50	1.1	1.29	3.0
小 叶 楊	1.25	1.0	52.35	3.7
花 棒	0.75	1.3	0.90	3.1
黄 柳	0.25	2.0	0.54	2.1
檉 条	0.80	1.0	1.65	2.3
沙 拐 枣	0.80	2.3	0.60	2.5
籽 蒿	0.50	2.0	0.54	2.6
流 沙	0.60	1.0	0.90	3.0

微生物分析的結果表明了,在各种固沙植物的根际总的來說,微生物的数量是增加了,在一些植物的根际,生物活性强度也有着明显的提高,但是这种变化,在不同固沙植物的根际,有着不同的表現。

从上述各种微生物学分析資料可以看出,在流沙上生长这些植物后,流沙逐渐被固定,沙土的性質随着也发生着改变。这主要表现在沙土中水分养分的变化,植物根际微生物的动态和土壤中微生物所引起的重要生物学过程,如有机質的分解和矿質化,大气氮素的固定等这些与植物营养元素的轉化和累积有关的各种現象上。可以认为,根际微生物的組成和活动性与植物的生长有着密切的联系。植物根系从各方面影响着土壤的特性,从而也影响着微生物組成的性質。而微生物在土壤中引起的各种生物学过程,又是提高土壤肥力、改善植物营养、直接影响植物生长的重要因子。因此,微生物学分析的結果,在一定程度上反映了固沙植物生长后,沙地土壤肥力变化的方向。

由于沙的流动性,各种固沙植物,无论栽植或是播种,都要有机械沙障的保护,才能稳定地成活与生长。在机械沙障中,一般以格状半隱蔽式沙障效果較好^[4]。設置沙障的沙丘上流沙被局部固定,在沙的表层往往形成一层硬的結皮。这层結皮如果不被破坏,可以长期的复盖在流沙上,从而促进流沙的固定和保护植物的生长。

我們采集了結皮层和結皮下层的沙样,进行了有机質、全氮的含量和微生物的分析,結果列于表 8。

表 8 結皮层和結皮下层沙土中养分和微生物数量的比較

层 次	水 分 (%)	有机質 (%)	全 氮 (%)	微生物总数 (千/克干土)	細 菌 (千/克干土)	真 菌 (千/克干土)	放 綫 菌 (千/克干土)	芽孢杆菌 (千/克干土)
結 皮 层	0.35	0.7240	0.0102	2,572	2,489	74	5	4
下 层	0.35	0.2327	0.0033	6,532	6,432	77	15	23

从表 6 的数据可以看出,在結皮层中有机質和全氮的含量显著提高。在結皮下层的沙层中各类微生物的数量增加。

但是,对各生理羣分析的结果出现了另一种情况(表 9)。固氮微生物、分解纖維素微生物和矽酸盐細菌在結皮层中的数量却大大地超过了結皮下层沙土中所含的数量。

表 9 結皮层和結皮下层沙土中微生物生理羣菌数的比較

层 次	固 氮 微 生 物 (千/克干土)			分解纖維素微生物 (千/克干土)	矽 酸 盐 細 菌 (千/克干土)
	总 数	微嗜氮細菌	自生固氮菌		
結 皮 层	869	662	140	15.7	66
下 层	122	79	25	1.4	15

特別值得提出的是藻类,它們出現在結皮中。可惜,在試驗室的条件下,我們沒有能把它分离出来。

由此可以推断,沙层結皮的形成与微生物有着密切的关系。在結皮中,除中含有一定机械組成的沙粒、盐类和其他一些物質以外,主要是微生物形成物。那些产生大量粘液的固氮菌、矽酸盐細菌以及藻类,是形成結皮的重要成員。对微生物在沙丘固定过程中的作用,还有待进一步研究。

总 結

1. 沙丘由流动到固定,不仅沙内水分养分状况发生变化,而且沙中微生物的数量、組成与生物活性也产生相应的变化。流沙一經固定,沙中微生物的数量增加和活性提高,由此可以看出沙地土壤肥力改变的方向。

2. 在植物根际土壤中,微生物的数量和活性都要比附近流沙中高得多。这显示了高等植物根际对微生物区系的影响。

3. 沙地表面結皮的形成,与微生物的組成有密切的关系。利用微生物作为先鋒来固定流沙的可能性問題,值得进一步探討。

参 考 文 献

- [1] 蔡蔚祺: 內蒙古及西北六省(区)沙地土壤类型及其改良利用意見。中国科学院治沙队第一次学术报告会文件, 1959 年。
- [2] 李鳴崗、刘瑛心等: 包兰铁路中卫段騰格里沙漠地区铁路沿綫固沙造林的研究。中国科学院林业土壤研究所研究报告集。林业集刊, 第三号, 1960 年, 科学出版社。
- [3] 彼得洛夫 M. П.: 关于铁路固沙問題。同上。

- [4] 铁道部铁道科学研究所的資料。
- [5] Edwan S. H. and Mahmoud S. A. Z.: Note on the bacterial flora of the Egyptian desert in summer. *Archiv. Mikrobiologie*, 1960, 36: 4.
- [6] 张宪武、周崇莲: 腾格里沙漠地区土壤微生物区系的研究。中国科学院治沙队第一次学术报告会文件, 1959 年。
- [7] 陈隆亨、陈文瑞: 包兰铁路中卫段(孟家湾-迎水桥)沙漠地区固沙造林的土壤条件。中国科学院林业土壤研究所研究报告集, 土壤集刊, 第一号, 1958 年, 科学出版社。
- [8] 中国科学院林业土壤研究所微生物室主編: 土壤微生物分析方法手册。科学出版社, 1960 年。
- [9] 米苏斯金 E. H.: 土壤微生物和土壤肥力。中譯本, 科学出版社, 1959 年。
- [10] 普希金斯卡娅 O. И.: 土壤微生物学讲座讲稿。
- [11] 普希金斯卡娅 O. И.: 微觀土壤真菌的生态地理分布学术报告。
- [12] 亚历山大罗夫 B. П.: 矽酸盐細菌。中譯本, 科学出版社, 1955 年。

STUDIES ON THE MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF THE SAND DUNES IN TENGKELI DESERT OF NINGHSIA HUI AUTONOMOUS REGION

H. W. CHANG AND K. H. HSU

(*Institute of Forestry and Pedology, Academia Sinica*)

The present paper deals with results of preliminary studies on the microbiological properties of the sand dunes in Tengkelı desert of Ninghsia province. It reveals the following facts:

1. The relative number of microorganisms and the composition of microflora in the fixed sand dunes are quite different from those in the mobile sand dunes. Larger number of microorganisms with higher activity have been found in the fixed sand dunes than in mobile sands. It also indicates that the fixation of the sands under the influence of the growth of high plants is an essential factor in improving soil fertility.

2. In the fixed sand dunes, more microorganisms with higher activity exist in soils of rhizosphere of high plants. It shows that the root development of high plants has a significant influence to the microflora.

3. A greater number of microorganisms also exist in the surface crust of sand dunes in comparison with the corresponding subsoils. The activity of microorganisms may give a definite affect on the formation of soil surface crust. The role of microorganisms in the process of fixing the sand dunes needs further investigations.