

黄土丘陵区土壤生物结皮对土壤微生物分布特征的影响

边丹丹^{1,2}, 廖超英^{1,2}, 孙长忠³, 李晓明¹, 许永霞^{1,2}, 唐海滨^{1,2}

(1. 西北农林科技大学, 林学院/资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业部黄土高原农业资源和环境修复重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国林业科学研究院 华北林业实验中心, 北京 102300)

摘要: 通过对山西省偏关地区 4 种主要植被类型和撂荒地土壤生物结皮及下层土壤样本微生物的计数, 研究不同植被状况下土壤生物结皮覆盖对土壤微生物生态分布特征的影响, 探讨土壤生物结皮的生物学作用及影响土壤微生物数量的因子。结果表明: ① 在所有微生物类群中细菌数量最大, 放线菌次之, 真菌最少; ② 不同植被下土壤微生物数量差异显著 ($P<0.05$), 其中, 撂荒地中的土壤微生物数量随着撂荒年限的增长而逐渐降低, 油松林中土壤微生物数量则随林龄增长表现出了增长趋势; ③ 微生物数量的垂直变化规律为: 结皮层>结皮下 0~5 cm>6~10 cm>11~20 cm, 细菌和微生物总数达到显著差异水平, 放线菌和真菌也呈现明显下降趋势; ④ 土壤微生物数量与土壤生物结皮的覆盖程度有关, 有结皮土壤的微生物数量显著高于无结皮土壤的微生物数量, 其中细菌数量以中等厚度结皮最高, 放线菌和真菌数量以薄结皮最高。

关键词: 土壤生物结皮; 土壤微生物数量; 黄土丘陵区

中图分类号: S154.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0109-06

土壤生物结皮不仅能够适应干旱缺水、土壤贫瘠等恶劣的环境, 还能够影响土壤的物理、化学及生物学性质使其不同于无结皮土壤, 增加土壤稳定性, 防止土壤侵蚀, 防风固沙, 改变土壤水分状况^[1~6], 固定大气中的氮, 影响土壤养分循环和维管植物的养分吸收^[7~9], 促进种子库的建立, 影响维管植物种子的萌发^[10~12], 为微管植物的定居提供有利条件, 加速干旱地区植被演替的进程。

土壤微生物是形成土壤生物结皮的主导因素之一, 同时, 其数量和种群分布也受所处生态环境的影响。土壤微生物参与土壤有机质的分解和转化, 促进生态系统能量流动和物质循环, 是评价土壤质量最敏感的指标, 其数量和种类则可以指示土壤微生物群落动态和功能, 被认为是土壤生物活性的具体表现^[13~14]。在干旱、半干旱地区, 许多土壤微生物的特有种类通过自身的生理代谢活动及数量变化改变表层土壤的理化性质, 进而影响地表植物的分布^[15]。土壤微生物在土壤中的组成和数量分布既与土壤理化性质、土壤酶活性和土壤生物因子相关, 也与植被状况、土层深度等有一定联系^[3, 16]。

目前有关土壤生物结皮的研究主要集中在沙漠地区, 缺乏关于黄土丘陵区土壤生物结皮的研究, 特别是土壤微生物数量特征的研究较少。本文通过对

偏关地区不同植被土壤生物结皮及其下层土壤中土壤微生物数量进行研究, 分析土壤微生物的分布特征, 探讨土壤微生物与土壤生物结皮发育阶段的关系。

1 研究区概况

研究区位于半干旱黄土丘陵沟壑区的山西省偏关县, 东经 111°21'2"~112°0'48", 北纬 39°12'56"~39°39'88", 属温带大陆性气候, 气候特点为冬寒夏热, 春季多风, 降雨主要集中于夏季。年平均温度 8℃, 年无霜期 105~145 d, 年平均降雨量 419 mm, 年蒸发量 2 037.5 mm, 土壤属黄绵土, 间有灰褐土, 土质松散、贫瘠, 自然土壤有机质含量 0.29 g/kg, pH 7.5^[17]。研究区主要造林树种有樟子松 (*P. sylvestris* var. *mongolica*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、柠条 (*Caragana microphylla*) 等及沙打旺 (*As-tragalus adsurgens*) 等人工草地。

2 研究方法

2.1 样地设置及样品采集

在研究区域内选取坡向、坡度、海拔相似的 3 个撂荒年限的撂荒地、樟子松林地、柠条林地、草地, 3 个林龄的油松林地, 各设置 10 m×10 m 样地 1 块,

收稿日期: 2010-12-01
基金项目: 国家自然科学基金项目 (30670339)
作者简介: 边丹丹 (1985—), 女, 河北保定人, 硕士研究生, 研究方向为森林生态学。E-mail: zhuzhou1985dandan@163.com.
通讯作者: 廖超英 (1959—), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。E-mail: chaoying95@163.com.

每块样地设置 3 个重复(表 1)。每块样地内根据土壤生物结皮厚度(3~7 mm、7~12 mm、12~18 mm),各设立 100 cm×100 cm 样方 3 个,并设置 3 个无结皮样方作为对照。每个样方按结皮层、结皮下 0~5 cm、6~10 cm、11~20 cm 间隔采集土壤样品,保鲜带回实验室进行土壤微生物数量测定。

2.2 土壤微生物数量测定

土壤微生物的分离和计数采用平板稀释法,好气型细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,放线菌采用高氏 I 号培养基,真菌采用马铃薯培养基。将接种好的平板倒置放于 28℃ 培养箱,细菌培养 1~2 d,真菌培养 3~5 d,放线菌培养 5~7 d。

2.3 数据分析

采用 Excel 和 spss17.0 软件对试验数据进行分

析。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型微生物数量变化规律

从研究地 3 大类微生物数量的平均状况来看,细菌为 $8\,099.41\times10^5$ 个/g,放线菌为 33.40×10^5 个/g,真菌为 1.16×10^5 个/g,微生物总数为 $8\,133.97\times10^5$ 个/g,细菌:放线菌:真菌为 6992:29:1。细菌对土壤微生物总量具有决定性作用,是土壤微生物的主要类群,数量达到总数的 99.57%,放线菌次之,占微生物总数的 0.41%,真菌最少,仅为微生物总数的 0.01%。由此可见,细菌是土壤生物结皮中微生物的主要组成部分,但放线菌和真菌也有着不容忽视的地位。

表 1 样地基本概况
Table 1 General features of the plots

样地 Plots	种植年限 Planting years (a)	坡向 Slope direction	坡度 Slope degree (°)	平均高度 Average height (m)	郁闭度 Canopy closure (%)	草本盖度 Closure (%)	结皮盖度 Closure (%)
撂荒地 Abandoned land	I	3~5	北偏西 45°~50° North west	10~13	0	0	5~10
	II	8~10	北偏西 47°~52° North west	5~7	0	0	5~15
	III	15~20	北偏西 52°~61° North west	9~11	0	0	20~30
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	I	3~5	南偏西 57°~65° South west	8~11	0.70	10~11	15~30
	II	8~10	北偏西 35°~44° North west	10~13	1.20~1.50	10~15	20~50
	III	15~20	北偏西 33°~39° North west	10~11	5.00~6.00	30~40	30~50
樟子松 <i>P. sylvestris var. mongolica</i>	15~20	北偏西 29°~35° North west	12~15	6.00~7.00	20~25	7~9	40~70
柠条 <i>C. microphylla</i>	15~20	南偏西 60°~66° South west	12~14	1.00	45~50	5~10	40~75
草地 Grassland	15~20	南偏西 63°~79° South west	13~16	0.15~0.20	0	50~70	80~90

表 2 不同植被土壤微生物数量分布(CFU/g)
Table 2 Location of the quantity of soil microorganisms at different vegetations

不同植被 Different vegetations	细菌(×10 ⁵) Bacteria	放线菌(×10 ⁵) Actinomycetes	真菌(×10 ⁵) Fungi	微生物总数(×10 ⁵) Total number of microorganisms
撂荒地 Abandoned land	I 7800.25cC	30.42dCD	0.75deD	7831.42cC
	II 7227.97cdCD	46.29bB	1.86aA	7276.12cdCD
	III 5685.50eF	28.92dDE	1.06bcBC	5715.49fE
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	I 7239.55cdCD	23.81eE	0.69eD	7264.05cdCD
	II 10475.00bB	56.30aA	0.84deCD	10532.14bB
	III 13417.62aA	43.75bB	1.96aA	13463.33aA
樟子松 <i>P. sylvestris var. mongolica</i>	7852.68cC	35.33cC	1.23bB	7889.23cC
柠条 <i>C. microphylla</i>	6767.58deD	28.83dDE	0.94cdCD	6797.35deD
草地 Grassland	6428.58eDE	6.96fF	1.09bcBC	6436.63eDE
平均数 Average	8099.41	33.40	1.16	8133.97

注:同列小写字母表示差异达显著水平, $P<0.05$,大写字母表示差异达极显著水平, $P<0.01$ 。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference, $P<0.05$; Different capital letters indicate extreme significant difference, $P<0.01$ 。

从表 2 可以看出,微生物数量在 9 个样地间的差异显著,个别样地间达到极显著差异。土壤微生物总数的最大值出现在油松林Ⅲ,数量可达 $13\,463.33\times 10^5$ 个/g,最小为撂荒地Ⅲ,仅 $5\,715.49\times 10^5$ 个/g,相差 2.34 倍,细菌数量最大值出现在油松林Ⅲ,数量为 $13\,417.62\times 10^5$ 个/g,最小值出现在撂荒地Ⅲ,为 $5\,685.50\times 10^5$ 个/g,相差 2.36 倍,放线菌数量最大值出现在油松林Ⅱ,为 56.30×10^5 个/g,以草地最低,为 6.96×10^5 个/g,相差达 8.09 倍,真菌数量则以油松林Ⅲ最高,为 1.96×10^5 个/g,油松林Ⅰ最低,为 0.69×10^5 个/g,相差 2.84 倍。

撂荒地的微生物总数随撂荒年限的增长呈现明显的降低趋势,撂荒地Ⅲ与撂荒地Ⅰ、撂荒地Ⅱ间差异均达到极显著水平,细菌数量与微生物总数呈现相同的趋势,放线菌和真菌数量的最大值都出现在撂荒地Ⅱ,且与撂荒地Ⅰ、撂荒地Ⅲ的差异均达到极显著水平。

3 个林龄油松林的微生物数量也存在较大差异,微生物总数呈现随种植年限增加而增长的趋势,

油松林Ⅲ微生物总量分别是油松林Ⅰ和油松林Ⅱ的 1.85 倍和 1.45 倍,并且差异达到了极显著水平,细菌数量的变化趋势与微生物总数相同,放线菌数量的最大值出现在油松林Ⅱ,其次是油松林Ⅲ,油松林Ⅰ最小,差异达到极显著水平,真菌数量以油松林Ⅲ最大,其次是油松林Ⅱ,油松林Ⅰ最小,油松林Ⅰ和油松林Ⅱ间差异不明显,但与油松林Ⅲ差异极显著。

3.2 微生物数量的垂直分布规律

由表 3 可以看出,研究地土壤微生物总数的垂直下降趋势明显,且达到了显著水平($P<0.05$),只有撂荒地Ⅱ的结皮层和结皮下 0~5 cm、6~10 cm 和 11~20 cm 之间差异不显著,正如 Belnap^[18]研究结果所示,由于土壤生物结皮的发育改变了土壤的生物及理化性质,其中的某些种类更是能够固定大气中的氮或是通过光合作用制造碳水化合物,增加土壤的有机质含量,为土壤微生物的生长提供有利条件,导致土壤微生物数量随土壤深度的增加逐渐减少的趋势。

表 3 微生物数量垂直分布规律(CFU/g)
Table 3 The vertical distribution of the quantity of microorganisms

处理 Treatments		撂荒地 Abandoned land			油松 <i>P. tabulaeformis</i>			樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	柠条 <i>C. microphylla</i>	草地 Grassland
		I	II	III	I	II	III			
微生物总数 ($\times 10^5$) Total number of microorganism	结皮层 Crust layer	781.45a	737.76a	737.21a	877.63a	1253.56a	1670.19a	850.85a	727.05a	621.95a
	0~5 cm	578.18b	607.07a	361.18b	478.07b	744.18b	1081.39b	618.10b	564.57b	496.88b
	6~10 cm	448.55c	358.78b	264.32b	345.76bc	553.73c	702.42c	414.07c	379.51c	352.31c
	11~20 cm	301.12d	246.58b	137.67c	248.00c	265.07d	175.83d	244.09d	168.35d	219.24d
细菌 ($\times 10^5$) Bacteria	结皮层 Crust layer	778.75a	732.25a	734.54a	874.27a	1248.14a	1664.25a	846.20a	723.49a	620.87a
	0~5 cm	575.23b	603.11a	358.47b	475.39b	739.01b	1077.55b	614.92b	562.31b	496.16b
	6~10 cm	446.18c	356.78b	262.61b	345.08bc	550.35c	700.06c	412.53c	378.25c	351.98c
	11~20 cm	299.47d	244.52b	136.52c	247.64c	263.35d	174.30d	243.36d	166.91d	219.06d
放线菌 ($\times 10^3$) Actinomycetes	结皮层 Crust layer	260.04a	533.55a	247.62a	325.56a	531.23a	559.47a	455.45a	343.19a	82.78a
	0~5 cm	288.15a	372.83b	266.78a	262.56a	509.33a	374.74b	305.77b	217.29b	66.07a
	6~10 cm	233.78a	188.71c	166.98b	64.30b	334.49b	232.19c	147.07c	121.36c	30.27b
	11~20 cm	161.98a	201.14c	112.00c	34.38b	169.41c	150.31d	68.00d	142.18c	16.45b
真菌 ($\times 10^3$) Fungi	结皮层 Crust layer	9.64a	16.62a	20.05a	10.46a	10.61a	34.61a	9.19ab	12.57a	25.18a
	0~5 cm	7.12a	23.17b	3.32b	5.35b	7.43b	8.66b	12.12a	8.21b	5.61b
	6~10 cm	2.97b	11.78c	3.79b	3.33bc	3.41c	3.94c	7.38bc	3.85c	2.34b
	11~20 cm	2.54b	5.36d	2.76b	1.71c	2.62c	2.54c	5.07c	2.58c	1.22b

注:同列小写字母表示差异达显著水平, $P<0.05$ 。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference, $P<0.05$.

细菌数量也具有明显的垂直分布差异,符合随土壤深度的增加逐渐减少的趋势,除撂荒地Ⅱ外均达到显著差异水平($P<0.05$)。这是由于结皮中有充足的光照和空气可供细菌呼吸、利用,地面覆盖的凋落物和结皮本身的代谢又为细菌的生长繁殖提供了充足的养分。另外,土壤生物结皮尤其是地衣和苔藓结皮的覆盖,增强了地表的抗风蚀和水蚀能力,使得结皮下层土壤更加稳定,为能够耐受低氧水平的细菌提供了有利的生存条件^[19]。

放线菌数量也呈现随土壤深度的增加逐渐减少的规律,且大多样地的垂直分布差异明显,达到显著水平($P<0.05$),仅在撂荒地Ⅰ、撂荒地Ⅲ、草地、油松林Ⅰ和油松林Ⅱ的结皮层与结皮下 0~5 cm 间无显著差异。

真菌数量的垂直分布规律较为明显,除撂荒地Ⅰ和樟子松林的结皮层与其下层间差异不显著,各样地表层真菌数量均高于下层土壤,统计上达到显著水平($P<0.05$)。

3.3 不同土壤生物结皮覆盖的微生物数量分布规律

土壤微生物数量还与土壤生物结皮的覆盖程度

有关,从表 4 中可以看出,有结皮土壤的微生物数量明显高于无结皮土壤,其细菌、放线菌、真菌数量和微生物总数分别是无结皮土壤的 1.36 倍、1.98 倍、2.06 倍、1.37 倍,微生物数量大小排序为:细菌:中等结皮>薄结皮>厚结皮>对照;放线菌:薄结皮>中等结皮>厚结皮>对照;真菌:薄结皮>厚结皮>中等结皮>对照;微生物总数:中等结皮>薄结皮>厚结皮>对照。

由表 5 可以看出,9 个样地的有结皮土壤与无结皮土壤之间的细菌数量、放线菌数量和微生物总数差异基本都达到了显著水平,其中细菌数量、微生物总数差异显著情况一致,仅有撂荒地Ⅰ、柠条林的厚结皮土壤以及撂荒地Ⅲ的薄结皮和厚结皮土壤与无结皮土壤差异不显著,放线菌数量仅有撂荒地Ⅰ、撂荒地Ⅲ的厚结皮土壤以及樟子松林的中等结皮土壤与无结皮土壤差异不显著。有结皮土壤和无结皮土壤之间真菌数量的差异状况无明显规律,随样地不同有所变化。

处理 Treatments	微生物数量 Microorganism				倍数 Multiple			
	细菌 ($\times 10^5$) Bacteria	放线菌 ($\times 10^5$) Actinomycetes	真菌 ($\times 10^5$) Fungi	微生物总数 ($\times 10^5$) Total	细菌 Bacteria	放线菌 Actinomycetes	真菌 Fungi	微生物总数 Total
薄结皮 Thin-layer crust	2146.51	10.09	0.44	2157.04	1.35	2.10	2.74	1.35
中等结皮 Medium thickness crust	2360.81	9.62	0.26	2370.69	1.48	2.00	1.60	1.49
厚结皮 Thick-layer crust	2004.86	8.88	0.30	2014.03	1.26	1.85	1.84	1.26
平均 Average	2170.73	9.53	0.33	2180.59	1.36	1.98	2.06	1.37
对照 CK	1591.45	4.81	0.16	1596.42	1.00	1.00	1.00	1.00

4 结论与讨论

1) 在 3 大土壤微生物类群中,细菌数量最多,放线菌次之,真菌最少,与大多数研究得到的结论一致,细菌:放线菌:真菌为 6992:29:1。这说明细菌数量对微生物总数起到主导作用,放线菌和真菌虽然数量不及细菌,但在土壤中也具有不可忽视的作用。

2) 不同植被间的微生物数量差异显著,个别样地达到了极显著差异水平。这与样地的植被覆盖、人为干扰强度等有密切联系。9 个样地中油松林Ⅲ的微生物总数最大,可能是由于该样地郁闭度最高,人为干扰少,地表存留较厚的凋落物,林地土壤湿润,有机质含量高,土壤肥沃,有利于微生物生长繁殖。这与邵玉林等^[20]的研究基本一致。撂荒地的

土壤微生物数量随着撂荒年限的增长而逐渐降低,这可能是由于随着撂荒年限的增加,土壤生物结皮厚度越大,李守中^[21]等在对沙坡头地区生物结皮的研究中得出,结皮年限越长对降水的截留效果越明显,透过结皮层到达土壤的越少,这就抑制了土壤微生物的生长。也可能是由于缺乏植物根系对土壤的翻动作用,使得土壤紧实,孔隙度减小,含水量减低,抑制了微生物的生长。油松林的土壤微生物数量则随林龄增长表现出了增长趋势,并且已达到显著差异水平,这说明随着种植年限的增加土壤质量得到了改善,为微生物的生长提供了有利的条件。

3) 土壤微生物数量随着土壤层次的加深呈现逐渐减少的趋势,其中细菌和微生物总数在不同土壤层次之间的差异达到显著水平,但放线菌和真菌

表 5 各种植被下不同类型结皮微生物数量分布(CFU/g)

Table 5 Variations of quantity of microorganisms at different types of soil biological crust under different vegetations

处理 Treatments		撂荒地 Abandoned land			油松 <i>P. tabulaeformis</i>			樟子松 <i>P. sylvestris</i> <i>var. mongolica</i>	柠条 <i>C. micr-</i> <i>ophylla</i>	草地 Grassland
		I	II	III	I	II	III			
微生物总数 ($\times 10^5$) Total number of microorganis	薄结皮 Thin-layer crust	2093.21ab	1925.38a	1442.05ab	2125.10a	2727.99ab	3453.42b	2124.00a	1893.51a	1628.74a
	中等结皮 Medium thickness crust	2387.31a	2074.12a	1719.58a	1900.01a	3123.42a	4098.48a	2370.44b	1920.93a	1741.92a
	厚结皮 Thick-layer crust	1885.30bc	1851.06a	1339.51ab	1823.29a	2598.20b	3337.57b	1886.91c	1703.99ab	1700.47a
	对照 CK	1503.52c	1425.55b	1214.36b	1415.65b	2082.53c	2573.86c	1507.88d	1278.91b	1365.49b
	薄结皮 Thin-layer crust	2082.10ab	1910.82a	1432.43ab	2116.23a	2714.14ab	3440.22b	2113.55a	1882.60a	1626.52a
细菌 ($\times 10^5$) Bacteria	中等结皮 Medium thickness crust	2373.45a	2058.40a	1714.65a	1893.49a	3109.13a	4085.77a	2359.44b	1913.38a	1739.59a
	厚结皮 Thick-layer crust	1881.29bc	1840.75a	1329.34ab	1817.45a	2579.28b	3322.49b	1878.07c	1696.92ab	1698.12a
	对照 CK	1501.35c	1417.99b	1209.08b	1412.38b	2072.46c	2569.14c	1501.62d	1274.68b	1364.34b
	薄结皮 Thin-layer crust	109.39a	133.85a	93.84a	85.52a	135.27b	126.00b	98.04ab	107.46a	18.81a
	中等结皮 Medium thickness crust	137.05a	155.36b	43.52a	64.33b	141.46b	123.23b	108.00a	71.83b	21.18a
放线菌 ($\times 10^3$) Actinomycetes	厚结皮 Thick-layer crust	36.74b	99.67c	100.65b	56.20c	186.61a	145.79a	86.85b	67.92b	18.69a
	对照 CK	20.97b	74.04d	51.19b	32.02d	99.64c	42.44c	60.46a	41.07c	10.89b
	薄结皮 Thin-layer crust	17.44b	117.32a	23.14b	31.40a	32.73a	60.44a	64.45a	16.92c	34.35a
	中等结皮 Medium thickness crust	15.81b	18.97c	57.09a	9.09c	14.41c	38.74c	20.59b	36.63a	21.15b
	厚结皮 Thick-layer crust	33.53a	34.52b	9.55c	22.03b	25.03b	50.10b	16.22b	28.08b	47.57c
真菌 ($\times 10^3$) Fungi	对照 CK	7.77b	15.62c	16.53bc	6.54c	11.39c	47.12bc	21.71b	12.27c	6.28d

注:同列小写字母表示差异达显著水平, $P<0.05$ 。

Note: The numbers marked in different lowercase letters indicate remakerable difference , $P<0.05$.

各土壤层次之间的差异并非在所有样地中均达到显著水平。土壤微生物数量与土壤含水量密切相关,王翠萍^[22]等对黄土丘陵区土壤生物结皮的水分状况研究表明,土壤生物结皮的存在使得结皮层以及结皮下 0~10 cm 土壤的含水量高于无结皮覆盖土壤。另外,土壤生物结皮使得表层土壤结构疏松,与空气热交换频繁,促进了土壤微生物的生长,随着土壤层次的加深,土壤中水分、有机质等减少,孔隙度变小,空气流通不畅,微生物的繁殖受到了抑制。

4) 土壤微生物数量与土壤生物结皮的覆盖程度有关,有结皮土壤的微生物数量显著高于无结皮土壤,其中细菌数量以中等结皮最高,放线菌和真菌数量以薄结皮最高。9 个样地中有结皮土壤和无结皮土壤的细菌数量、放线菌数量和微生物总数差异基本都达到了显著水平,真菌数量随结皮厚度变化的规律不明显。这与闫德仁等^[3]在库布齐沙漠的研究结论一致,即不同类型的生物结皮均对土壤微生物数量存在影响。赵允格^[23]等在对黄土丘陵区退耕地生物结皮的研究中得出,结皮土壤中的有机质和全氮含量明显高于耕地土壤。土壤生物结皮改善

了土壤表层的土壤环境,使通气状况和土壤结构得到改善,丰富了土壤有机质等营养元素,促进土壤微生物的生长。

参 考 文 献:

[1] 吴玉环,高 谦,程国栋.生物土壤结皮的生态功能[J].生态学杂志,2002,21(4):41—45.

[2] 李新荣,张光明,赵允格.生物土壤结皮研究:进展、前沿与展望[J].地球科学进展,2009,24(1):11—24.

[3] 闫德仁,王素英,吕景辉,等.生物结皮层土壤微生物含量的变化[J].内蒙古林业科技,2008,34(2):1—5.

[4] 刘丽燕,吾尔妮莎·沙衣丁,阿不都拉·阿巴斯.荒漠化地区生物结皮的研究进展[J].菌物研究,2005,3(4):26—29.

[5] 闫德仁,薛英英,赵春光.沙漠生物结皮国内研究现状[J].内蒙古林业科技,2007,33(3):28—32.

[6] 崔 燕,吕贻忠,李保国.鄂尔多斯沙地土壤生物结皮的理化性质[J].土壤,2004,36(2):197—202.

[7] 潘 臻,邢 进.2 种植被下生物结皮化学特征及其对下层土壤的影响[J].现代农业科技,2009,13:271—273.

[8] 吴 楠,张元明,王红玲,等.古尔班通古特沙漠生物结皮固氮活性[J].生态学报,2007,27(9):3785—3793.

[9] 闫德仁.沙漠生物结皮对维管植物养分吸收的影响[J].干旱区资源与环境,2009,23(10):177—181.

[10] 聂华丽,张元明,吴楠,等.生物结皮对 5 种不同形态的荒漠植物种子萌发的影响[J].植物生态学报,2009,33(1):161—170.

[11] 苏延桂,李新荣,陈应武,等.生物土壤结皮对荒漠土壤种子库和种子萌发的影响[J].生态学报,2007,27(3):938—946.

[12] 苏延桂,李新荣,张景光,等.生物土壤结皮对土壤种子库的影响[J].中国沙漠,2006,26(6):997—1001.

[13] 邵玉琴,赵吉.内蒙古库布齐沙带东段油蒿固定沙丘土壤微生物数量的垂直分布研究[J].内蒙古大学学报,2000,31(2):198—200.

[14] 刘占峰,傅伯杰,刘国华,等.土壤质量与土壤质量指标及其评价[J].生态学报,2006,26(3):901—913.

[15] 李新荣,张景光,王新平,等.干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究[J].植物学报,2000,42(9):966—970.

[16] 吴楠,潘伯荣,张元明.土壤微生物在生物结皮形成中的作用及生态学意义[J].干旱区研究,2004,21(4):444—449.

[17] 王翠萍,廖超英,孙长忠,等.藻类结皮对黄土高原丘陵沟壑区土壤物理性状的影响[J].西北林学院学报,2009,24(3):41—45.

[18] Belnap J. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA[J]. Biology and Fertility of Soils, 2002,35:128—135.

[19] 吴楠,潘伯荣,张元明,等.古尔班通古特沙漠生物结皮中土壤微生物垂直分布特征[J].应用与环境生物学报,2005,11(3):349—353.

[20] 邵宝林,龚国淑,张世熔,等.横断山北部高山区不同生态条件下土壤微生物数量及其与生态因子的相关性[J].生态学杂志,2006,25(8):885—890.

[21] 李守中,肖洪浪,罗芳,等.沙坡头植被固沙区生物结皮对土壤水文过程的调控作用[J].中国沙漠,2005,25(2):228—233.

[22] 王翠萍,廖超英,孙长忠,等.黄土地表生物结皮对土壤贮水性能及水分入渗特征的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):54—64.

[23] 赵允格,许明祥,王全九,等.黄土丘陵区退耕地生物结皮理化性状初报[J].应用生态学报,2006,17(8):1429—1434.

Effect of soil biological crust on the distribution of soil microorganisms in the loess hilly region

BIAN Dan-dan^{1,2}, LIAO Chao-ying^{1,2}, SUN Chang-zhong³, LI Xiao-ming¹, XU Yong-xia^{1,2}, TANG Hai-bin^{1,2}
(1. College of Forestry / College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Key Laboratory of Agriculture Resources and Ecosystem Remediation of Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Yangling,
Shaanxi 712100, China; 3. Experimental Center of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China)

Abstract: Study was made on the effect of soil biological crust on the distribution of soil microorganisms in Pianguan area by using the statistics of the quantity of soil microorganisms of soil and soil biological crust under 4 kinds of main vegetation and abandoned land, so as to find out the biological effects of soil biological crust and influencing factors of the quantity of soil microorganisms. The results show that: ① In all the microbial groups, bacteria are the largest group and followed by actinomycetes while fungi are the least. ② The quantity of soil microorganisms among different vegetations are significantly different ($P<0.05$), it decreased with the abandoned land fallow period and tend to increase with the pine planting years. ③ Among different soil levels, crust layer is predominant, followed by 0~5 cm, 6~10 cm the next, 11~20 cm the least, bacteria and the total number of microorganisms are significantly different, actinomycetes and fungi decreased with the depth. ④ The coverage of soil biological crust affects the quantity of soil microorganisms, and microbial content in soil with crust is obviously higher than that in soil without crust. The quantity of bacteria reach the peak value at soil with medium—thick crust, the maximum quantity of actinomycetes and fungi are located at soil with thin—layer crust.

Keywords: soil biological crust; the number of soil microorganisms; the loess hilly region