

黄土高原不同植被坡地土壤微生物区系特征

张文婷, 来航线, 王延平, 张 海, 杨 婷, 吕家珑*

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:应用稀释平板法对黄土高原不同植被覆盖下坡地土壤 0~5cm 和 5~20cm 土层的细菌、真菌和放线菌的分布特征进行了研究;结果表明:(1)该区域不同植被下土壤中细菌、真菌和放线菌总体比较丰富,数量差异较大,柠条土壤中微生物数量最多,苜蓿地中的最少。同一植被下各类菌群数量排序为细菌>放线菌>真菌。(2)放线菌和真菌随土层深度的增加而呈明显的减少趋势,而细菌的不明显。(3)天然荒坡的微生物数量高于人工草地的,人工灌木林微生物数量高于人工乔木林的,人工乔草复生果树林的微生物数量高于人工纯生乔木林、纯生草地和纯生果树林的。

关键词:微生物区系;植被;土层

文章编号:1000-0933(2008)09-4228-07 中图分类号:Q143, Q938.1 文献标识码:A

Microbial populations in different vegetations in sloping field on the Loess Plateau

ZHANG Wen-Ting, LAI Hang-Xian, WANG Yan-Ping, ZHANG Hai, YANG Ting, LÜ Jia-Long*

College of Resource & Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4228 ~ 4234.

Abstract: Microbial populations at different soil depths in the different vegetation soils of the Mizhi county on the Loess Plateau were studied. The results showed that (1) in this region, the amount of soil microbes was abundant and the proportion of *Caragana korshinskii* was much larger than others. It was least under *Medicago sativa* L. However, the different proportions of bacteria, fungi and actinomycetes in a plot was obvious and in the order: bacteria > actinomycetes > fungi. (2) The quantity of actinomycetes and fungi clearly decreased with the soil depth, however this was not obvious for bacteria. (3) The quantity of microbes under the naturally vegetated slope was larger than under than annual *Medicago sativa* L. grassland. The quantity of microbes under the bush vegetation- *Caragana korshinskii*- was more than under tree forest- dominated by *Prunus armeniaca*, *Robinia pseudoacacia*, *Platrhodus orientalis* and *Ziziphus jujube*. The quantity of microbes under fruit tree plantations, (*Prunus armeniaca*), which also supported grass, was greater than under the forest, *Platrhodus orientalis*, and *Robinia pseudoacacia*, pure grassland, *Medicago sativa* L. and fruit tree plantations of *Ziziphus jujube*.

Key Words: microbial population; vegetation; soil depths

基金项目:黄土高原水土保持与旱地农业国家重点实验室基金资助项目(10501-138);国家“973”资助项目(2005CB121101);陕西省科技厅资助项目(2006K03-G11-01)

收稿日期:2007-09-03; **修订日期:**2008-06-06

作者简介:张文婷(1982~),女,陕西省太白县人,硕士生,主要从事土壤生物化学研究. E-mail: zhangwenting1982@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jialong.lu@hotmail.com

Foundation item: The project was financially supported by Foundation of State Key Laboratory of Soil Erosion and 32Dryland Farming on Loess Plateau (No. 10501-138), The project “973”, China (No. 2005CB121101), Foundation of the office of science and technology in Shaanxi province (No. 2006K03-G11-01)

Received date:2007-09-03; **Accepted date:**2008-06-06

Biography: ZHANG Wen-Ting, Master candidate, mainly engaged in biochemistry of soil. E-mail: zhangwenting1982@163.com

土壤微生物主要指土壤中那些个体微小的生物体,主要包括细菌、放线菌、真菌,还有一些原生动物和藻类等。土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的成分,担负着分解动植物残体的重要使命,推动着生态系统的能量流动和物质循环^[1]。因此,对于土壤生态系统的稳定和服务功能的提高具有重要作用^[2]。土壤微生物在土壤中的数量与分布反映了土壤、植被和气候等综合因素对微生物的影响及作用,同时也反映出土壤肥力状况与植物营养的密切关系。土壤放线菌主要以土壤中的植物残体及有机质为营养源,土壤的植被类型及养分状况影响土壤放线菌的数量和种类。土壤中真菌的许多类群对有机残体的分解能力极强,在提高土壤肥力等方面有重要作用^[3]。土壤微生物之间更多的是半共生关系,即“一种生态依赖关系,一种生物体改变周围的环境,为其后来的另一种生物体的生长创造条件”^[4]。土壤微生物之间相互作用维持着整个土壤生态系统内土壤微生物群落结构的稳定^[5]。

黄土高原地区的林区大多是人工林,植被比较单一,基本没有自我更新调节的能力。相对于其他类型的土壤,林地土壤中各种微生物类群的数量和比例受到土壤成分和植被种类的影响颇大。Melany 等研究了美国北部泥炭地生态系统中植被类型对土壤微生物活性、功能群组成格局的影响,表明植被类型影响土壤微生物活性、功能类群^[6]。在植被种类相对单一的人工林中,普遍存在微生物区系和数量变化的问题。近些年,利用土壤微生物进行退化陆地生态系统的恢复等研究成为热点^[7~9]。因此,人工林特殊条件下土壤微生物区系变化规律及其对植被的影响,对推动我国黄土高原地区的水土保持工作具有重要意义^[10]。

本文选取了黄土高原丘陵区米脂县的几处典型陡坡地的人工林地和人工草地,以荒坡和耕地为对照,对土壤的微生物区系进行研究,旨在探讨植被类型、土壤剖面 and 土层垂直分布与微生物种类和数量之间的关系,欲从生物学角度对该地区的人工林地进行评价,从而为该地区的水土保持和生态建设做出贡献。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

米脂县位于陕西省北部东侧,榆林市中部,无定河中游,地处东经 109°49′~11°029′,北纬 37°39′~38°5′,东邻佳县,南接绥德,西连子洲、横山、北界榆林。东西长 59km,南北宽 47km,总面积 1212km²,地形属黄土高原丘陵沟壑区,平均海拔 1049m(表 1)。气候属半干旱大陆性季风气候,年平均气温 8.3℃,无霜期 165d,降雨量 440.9mm,多集中在 7~9 月份。

表 1 样地基本情况

Table 1 Basic conditions of plots

植被类型 Vegetation types	植被年限 Vegetation years (a)	坡向 Slope orientation	坡度 Slope gradient (°)	海拔 Altitude (m)	经度 Longitude(N)	纬度 latitude(E)
荒坡 Desolate land	—	北偏东	25	993	37°46.353′	110°13.006′
耕地 Farmland	—	北	38	1006	37°46.001′	110°16.157′
苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	20	北偏东	35	990	37°46.024′	110°12.703′
柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	10	东	37	1059	37°46.001′	110°16.137′
枣树 <i>Ziziphus jujube</i>	10	东	37	973	37°46.035′	110°13.502′
杏树 <i>Prunus armeniaca</i>	15	北偏东	35	1016	37°46.460′	110°15.884′
侧柏 <i>Platrhadus orientalis</i>	50	北	37	1031	37°46.588′	110°17.562′
刺槐 <i>Robinia Pseudoacacia</i>	10	北	36	1048	37°39.728′	110°04.514′

1.2 样品采集

采集的土壤类型主要为黄绵土,取样时间为 2006 年 10 月,在不同植被(荒坡、耕地、苜蓿、柠条、枣树、杏树、侧柏和刺槐)下,按不同坡位和不同土层采集(表 2)。用土钻采集 0~5cm 和 5~20cm 的土样,每层按混合采样法取 5~6 个点的混合样,用四分法取适量装入无菌袋中,将鲜样带回室内待测。

1.3 样品微生物测定

细菌、放线菌、真菌采用稀释平板法测定,将接种的培养基在 28℃ 下培养,细菌培养 3~4d,真菌培养 3~5d,放线菌培养 5~7d,对所得的菌落数按照涂抹法的计算公式计算:菌数/克干土 = 计数皿平均菌落数 × 计

数皿稀释倍数 $\times 20 \times$ 水分系数,所得值为每克干土中所含微生物数量。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用 PDA 培养基,放线菌用改良高氏 1 号 +3% KCr_2O_4 培养基^[11]。

表 2 样地土壤基本理化性质

Table 2 Soil chemical and physical property of plots

植被类型 Vegetation types	土壤含水量 Soil moisture (%)	有机质 Organic matter (g/kg)	全 N Total-N (g/kg)	速效 P Available-P (mg/kg)	pH
荒坡 Desolate land	8.32	5.82	0.267	3.66	8.14
耕地 Farmland	9.01	3.145	0.298	5.38	8.10
苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L.	7.84	4.05	0.172	4.23	8.11
柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	7.73	4.57	0.337	3.365	8.22
枣树 <i>Ziziphus jujube</i>	7.97	4.16	0.223	4.46	8.05
杏树 <i>Prunus armeniaca</i>	9.52	5.50	0.34	2.76	8.07
侧柏 <i>Platrhodus orientalis</i>	9.46	4.91	0.26	2.35	8.14
刺槐 <i>Robinia Pseudoacacia</i>	5.60	4.25	0.3	5.47	8.13

2 结果与分析

不同植被下土壤微生物数量和组成列于表 3 和图 1。

表 3 不同植被下的土壤微生物区系

Table 3 The quantity and composition of soil microbes in the different vegetations

植被类型 Vegetation types	土层 Soil depths (cm)	细菌数量 Quantity of bacteria ($\times 10^6/\text{g}$)				真菌数量 Quantity of fungi ($\times 10^3/\text{g}$)				放线菌数量 Quantity of actinomycetes ($\times 10^6/\text{g}$)			
		坡 顶 Up- slope	坡 中 Middle- slope	坡 底 Down- slope	占总数 (%)	坡 顶 Up- slope	坡 中 Middle- slope	坡 底 Down- slope	占总数 (%)	坡 顶 Up- slope	坡 中 Middle- slope	坡 底 Down- slope	占总数 (%)
柠条	0~5	45	54	26	82.72	0.6	3	4.9	0.01	8	22	2.3	17.26
<i>Caragana korshinskii</i>	5~20	60	76	15		16	11.6	6.5		7	12	6.3	
耕地	0~5	7.06	9	6.4	56.67	2.5	1.4	7.2	0.02	5.2	9	3.4	43.30
Farmland	5~20	3.4	6	7.4		1.5	2.8	0.8		2	4.4	6	
侧柏	0~5	7	1.4	6	51.63	0.2	0.8	2.2	0.02	1.4	2.2	6.2	48.35
<i>Platrhodus orientalis</i>	5~20	4.4	4	4		3.86	0.65	0.8		0.4	1.7	3.5	
枣树	0~5	9	18	36	77.84	3.9	3.4	4.6	0.01	4.1	8	7.4	22.15
<i>Ziziphus jujube</i>	5~20	14	6	3.45		1	0.4	0.4		3.5	1	0.6	
苜蓿	0~5	0.6	0.9	3.3	56.53	2.4	4.8	0.2	0.07	1.9	2.4	0.8	43.40
<i>Medicago sativa</i> L.	5~20	2.9	1.4	0.8		1.1	0.4	1.02		0.8	0.7	1	
刺槐	0~5	6	2.1	4.8	84.40	2.2	0.6	1.4	0.13	0.68	0.58	0.96	15.47
<i>Robinia pseudoacacia</i>	5~20	4.2	4.4	3.6		10	20	5.2		1	0.8	0.58	
荒坡	0~5	2.4	10	90	91.74	5.6	2.6	9.8	0.02	5.7	0.47	2	8.24
Desolate land	5~20	1.2	7	31		0.4	0.4	4.9		2.1	0.95	1.5	
杏树	0~5	60	7.08	7.5	83.20	16	3	3.2	0.02	11.2	6.7	6.2	16.79
<i>Prunus armeniaca</i>	5~20	69	3.4	2.7		3	1.7	1		3.7	1.7	0.7	

2.1 不同植被下土壤中细菌的分布状况

由表 3 可以看出,在坡顶部柠条、枣树、苜蓿和杏树 4 种植被下的土壤中 0~5cm 处土壤中细菌数量少于 5~20cm 处的,其余 4 种则相反。0~5cm 和 5~20cm 土壤中,杏树和柠条土壤中细菌数量最多,荒坡和苜蓿土壤中数量最少。在坡中部柠条、侧柏、苜蓿和刺槐四种植被下土壤中 0~5cm 处土壤细菌数量少于 5~20cm 处的数量,其余 4 种则是表层细菌数量多于 5~20cm 处。0~5cm 和 5~20cm 土壤中,柠条土壤细菌数量最多,而苜蓿土壤细菌数量最少。在坡底部除耕地外的其他植被在 0~5cm 土壤处细菌数量均多于 5~20cm 处。0~5cm 和 5~20cm 土壤中,荒坡土壤中细菌数量最多,苜蓿则最少。柠条土壤中,细菌数量与耕地、侧

柏、苜蓿和刺槐土壤中的细菌数量呈显著性差异(表4)。

表4 不同植被下土壤细菌差异分析
Table 4 differences of bacteria in different vegetation

	N	X	Y	Z	T	B	C	M
N		0.184	0.1799	0.0718	0.0306	0.0255	0.0259	0.02
X	0.184		0.9303	0.5201	0.2804	0.2394	0.2383	0.1915
Y	0.1799	0.9303		0.5529	0.3022	0.2624	0.2637	0.2137
Z	0.0718	0.5201	0.5529		0.6111	0.5438	0.5441	0.4578
T	0.0306	0.2804	0.3022	0.6111		0.8928	0.8849	0.7707
B	0.0255	0.2394	0.2624	0.5438	0.8928		0.9853	0.8628
C	0.0259	0.2383	0.2637	0.5441	0.8849	0.9853		0.8694
M	0.02	0.1915	0.2137	0.4578	0.7707	0.8628	0.8694	

N: 柠条 *Caragana korshinskii*, X: 杏树 *Prunus armeniaca*, Y: 荒坡 desolate land, Z: 枣树 *Ziziphus jujube*, T: 耕地 Farmland, B: 侧柏 *Platyrhodus orientalis*, C: 刺槐 *Robinia pseudoacacia*, M: 苜蓿 *Medicago sativa* L., 下同 the same below

2.2 不同植被下土壤中真菌分布情况

在坡顶部柠条、侧柏和刺槐土壤中表层真菌数量少于5~20cm处的数量,其他的则是表层土壤中真菌数量多于5~20cm处的数量。0~5cm土壤中,杏树和荒坡土壤中真菌数量比较多,侧柏土壤中真菌数量最少;5~20cm土壤中,柠条和刺槐土壤中真菌数量比较多,荒坡土壤中真菌数量比较少。在坡中部柠条、耕地和刺槐土壤中表层真菌数量少于5~20cm处的数量,其他的则是表层土壤中真菌数量多于5~20cm处的数量。0~5cm土壤中,苜蓿土壤中真菌数量最多,刺槐和侧柏土壤中真菌数量最少;5~20cm土壤中,刺槐和柠条土壤中真菌数量最多,枣树、苜蓿和荒坡土壤中真菌数量最少。在坡底部柠条和刺槐土壤中表层真菌数量少于5~20cm处的数量,其他的则是表层土壤中真菌数量多于5~20cm处的数量;0~5cm土壤中,荒坡和耕地土壤中真菌数量最多,苜蓿和刺槐土壤中真菌数量比较少;5~20cm土壤中,柠条土壤中真菌数量最多,枣树土壤中真菌数量最少。柠条土壤中,真菌数量与侧柏、枣树和苜蓿土壤中的真菌数量呈显著性差异(表5)。

表5 不同植被下土壤真菌差异分析
Table5 differences of fungi in different vegetation

	N	C	X	Y	T	Z	M	B
N		0.7838	0.2418	0.1479	0.0527	0.0379	0.0219	0.0183
C	0.7838		0.3308	0.2124	0.0797	0.0586	0.0346	0.0292
X	0.2418	0.3308		0.719	0.3482	0.2711	0.175	0.1499
Y	0.1479	0.2124	0.719		0.5224	0.4212	0.2851	0.2484
T	0.0527	0.0797	0.3482	0.5224		0.8302	0.6116	0.5465
Z	0.0379	0.0586	0.2711	0.4212	0.8302		0.7459	0.6745
M	0.0219	0.0346	0.175	0.2851	0.6116	0.7459		0.9039
B	0.0183	0.0292	0.1499	0.2484	0.5465	0.6745	0.9039	

2.3 不同植被下土壤中放线菌的分布情况

在坡顶部除去刺槐外,其他植被在表层土壤中放线菌的数量多于5~20cm处的数量;0~5cm和5~20cm土壤中,同样是柠条和杏树土壤中放线菌数量最多,而侧柏和刺槐土壤中数量最少。在坡中部除去刺槐和荒坡土壤中5~20cm处放线菌的数量多于表层,其他的都是表层多于5~20cm处。0~5cm和5~20cm土壤中,柠条土壤中放线菌数量最多,而苜蓿、荒坡土壤中放线菌数量最少。在坡底部柠条、耕地和苜蓿土壤中5~20cm处放线菌数量多于其在表层的数量,其他的都是表层放线菌数量多于5~20cm处数量;0~5cm和5~20cm土壤中,柠条和枣树土壤中放线菌数量最多,而刺槐和苜蓿土壤中放线菌数量最少。柠条土壤中放线菌数量与枣树、侧柏、苜蓿、刺槐、荒坡和杏树土壤中放线菌数量呈显著性差异(表6)。

表 6 不同植被下土壤放线菌差异分析

Table 6 differences of actinomycete in different vegetation

	N	X	T	Z	B	Y	M	C
N		0.0537	0.0629	0.0333	0.0096	0.0071	0.0036	0.0024
X	0.0537		0.9881	0.6927	0.316	0.2469	0.1439	0.1036
T	0.0629	0.9881		0.6869	0.3087	0.2441	0.1426	0.1033
Z	0.0333	0.6927	0.6869		0.4944	0.4052	0.2515	0.1879
B	0.0096	0.316	0.3087	0.4944		0.8412	0.5827	0.4614
Y	0.0071	0.2469	0.2441	0.4052	0.8412		0.7023	0.5675
M	0.0036	0.1439	0.1426	0.2515	0.5827	0.7023		0.8225
C	0.0024	0.1036	0.1033	0.1879	0.4614	0.5675	0.8225	

图 1 结果表明,柠条土壤中细菌、真菌和放线菌含量相对丰富,特别是细菌和放线菌含量位于前列,杏树土壤中真菌和放线菌含量也位于前列,刺槐和荒坡土壤中真菌数量较丰富,刺槐和苜蓿细菌和放线菌含量相对较少,柏树土壤中微生物数量居中,耕地土壤中真菌和放线菌含量较多,枣树土壤中 3 种微生物数量居中。

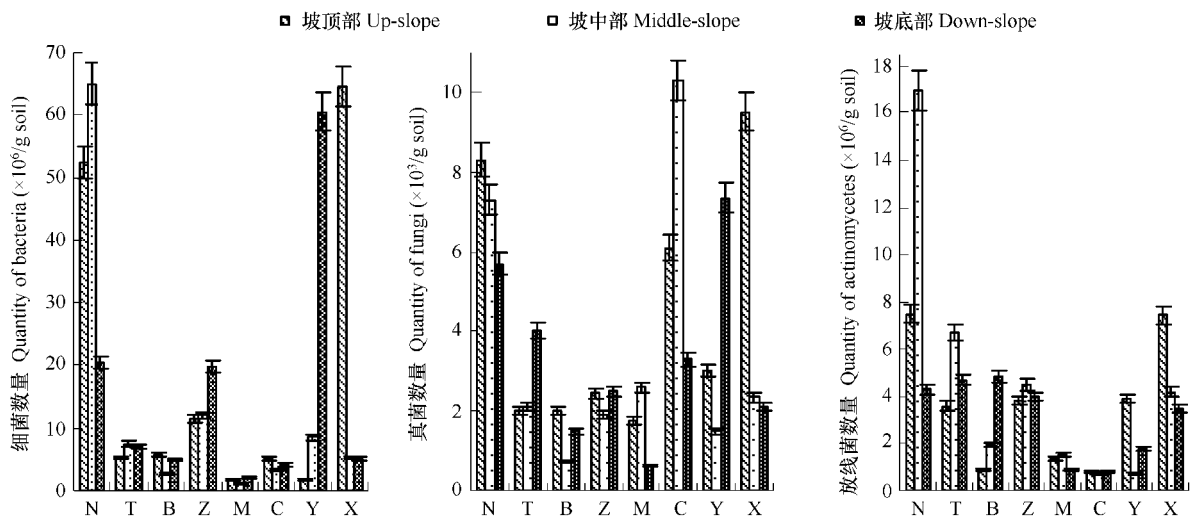


图 1 不同植被下土壤中微生物分布

Fig. 1 Distributions of bacteria in the different vegetation soils

N: 柠条 *Caragana korshinskii*, T: 耕地 *Farmland*, B: 侧柏 *Platrhadus orientalis*, Z: 枣树 *Ziziphus jujube*, M: 苜蓿 *Medicago sativa* L., C: 刺槐 *Robinia pseudoacacia*, Y: 荒坡 *desolate land*, X: 杏树 *Prunus armeniaca*

3 结论与讨论

3.1 黄土高原不同植被坡地土壤中细菌、放线菌和真菌数量丰富,同种植被各类群数量排序为:细菌 > 放线菌 > 真菌。本实验所选土壤属于黄棉土,其土壤为偏碱性,这就符合以往的研究结果,细菌与放线菌适宜在中性或微碱性的土壤环境中生长,真菌在微碱性环境中生长较差^[12]。

3.2 土壤微生物之间具有一定的拮抗作用,土壤中细菌产生的挥发性物质能影响其它土壤微生物的生长,直接影响了土壤微生物的群落结构^[5]。荒坡土壤中,细菌所占微生物总数的比例很高,其次柠条、杏树、刺槐土壤中细菌含量相对较高,均高于 80%;耕地、侧柏和苜蓿土壤中放线菌含量较高,均高于 40%;苜蓿和刺槐土壤中真菌含量较高,分别为 0.07% 和 0.13%,而其他植被土壤中真菌含量在 0.02% 左右。

3.3 所选的植被中,乔木类的为刺槐、侧柏、杏树和枣树,灌木类的为柠条,草本类的为苜蓿,作为对照的是荒坡和耕地。细菌、真菌和放线菌在各种植被中的分布情况不同,但是柠条土壤中 3 种菌的数量均多于其他植被下的土壤,可以看出柠条林为微生物生长提供较适宜的环境。另外,荒坡和杏树土壤中细菌和真菌数量次

多于其他五种植被下的土壤。这主要由于荒坡是天然生长,植被相对人工草地丰富多样,而且受人为干扰的因素很小,这些都为微生物生命活动旺盛提供了条件。苜蓿覆盖土壤中 3 种菌的数量均少于其他植被下的土壤,苜蓿是人工草地,而且年限较长,人工草地相比于天然荒坡植被品种单一,这些容易使土壤养分贫瘠、不平衡,加之人畜破坏的因素较大,更加不利于微生物的生长繁殖。因此人工草地微生物数量少于天然荒坡微生物数量,这与张成娥的研究结果一致^[13]。

3.4.1 柠条、杏树和荒坡土壤中细菌数量很丰富。在坡顶和坡中部,有一半植被在表层土壤中细菌数量少于 5~20cm 处的,在坡底部有一种植被在表层土壤中细菌数量少于 5~20cm 处的数量,这说明细菌随土层深度的增加而逐渐减少的趋势不是很明显。

3.4.2 放线菌的发育一般比真菌和细菌要缓慢得多,它的作用主要是分解植物的某些难分解的组分,形成腐殖质,把植物残体和枯落物转化为土壤有机组分^[14]。柠条、杏树和耕地土壤中放线菌数量很丰富。坡底部放线菌数量比较多,可能是由于坡底部相对于坡顶和坡中部,跌落或下滑的枯落物和植物残体相对比较丰富,从而为放线菌的生长提供了更多的物质和能量来源,使得土壤中放线菌数量相对较多。8 种植被在不同坡位土壤中放线菌在表层的数量基本均多于在 5~20cm 处土壤中的数量,即这说明放线菌的数量随土层的加深而逐渐减少的趋势很明显,这也符合苏静的研究结论^[15]。

3.4.3 真菌积极参与有机质的分解,使枯落物中的蛋白质形成林木可直接吸收的 N 素氨基酸和铵盐等,同时它对无机营养的吸收也有显著影响^[14]。柠条、刺槐和杏树覆盖土壤中真菌数量很丰富。柠条、刺槐土壤表层真菌数量少于 5~20cm 处的数量,而其他植被基本是表层真菌数量多于 5~20cm 处的数量。这说明真菌数量随土层深度的增加而逐渐减少的趋势比较明显。

3.5 从微生物总数来看,除了柠条林地土壤中微生物丰富,杏树林地土壤中所含的微生物数量也很丰富,高于其他植被下的土壤。这是由于杏树林属于果树林,而且杏树林区表层同时生长大量杂草,属于乔草复层生的林地形式,这与其它乔木林林地表面杂草覆盖率低相比,也是微生物生长旺盛的有利条件。范君华也提出在果园土壤微生物总数的含量高于其他利用方式土地^[16]。侧柏土壤中微生物总数相对其它植被下土壤微生物总数很低,实验样地侧柏的生长年限为 50a, O. V. Menyailo 研究发现,超过 27a 的森林植被的生长,导致某些细菌(反硝化细菌)的生物量显著减少^[17],杜国坚等研究发现连栽杉木林地土壤微生物中的细菌、放线菌数量下降而真菌数量出现增加^[18,19],而细菌数量主要影响着土壤微生物的总体数量^[14],因此生长年限较长也可能是导致侧柏覆盖下土壤中微生物总数少的原因之一。

References:

- [1] Zhang Q S, Yu X T, *et al.* Seasonal dynamics of soil microorganisms under various mixtures after Chinese fir replanting in Fujian. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(2): 121—126.
- [2] Rogers B F, Tate I R L. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in pineland soil. *Soil Biol. Biochem*, 2002, 33: 1389—1401.
- [3] Teng X F, Wei Z M, Li C. The effects of applying organic matter in wind blown soil on microbial biomass and enzyme activity. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2003, 3: 13—14.
- [4] Waid J S. Metabiotic interactions in plant litter systems. In: Cadisch G and Giller K E. *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CABIPublishing. 1997, 145—153.
- [5] Hu Y L, Wang S L, Yan S K. Research adance on the factors influencing the activity and community structure of soil microorganism. *Chinese Journal of Soil Science*. 2006, 37(1): 170—176.
- [6] Melany C F, Kristin F R, Joseph B Y. Microbial activity and functional composition among northern peatland ecosystems. *Soil Biol. and Biochem*, 2003, 35(4): 591—602.
- [7] Van Bruggen A H C, Semenov A M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, 2000, 15: 13—24.
- [8] He L J, Wei D Z, Zhang W Q. Research of microbial treatment of petroleum contaminated soil. *Progress of Environmental Science*, 1999, 7(3): 110—115.

- [9] Zhang B X, Zhang P, Chen X B. Factors of affecting colonization of introduced microorganisms on plant roots. *Chin J Appl Ecol*, 2000, 11(6): 951—953.
- [10] Li Y M, Hu S C, Wang S L, *et al.* Function and application of soil microorganisms in forest ecosystem. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15(10): 1943—1946.
- [11] Cheng L J, Xue Q H. *Experimental Technique of Microbiology*. Xi'an: World Books Press, 2000. 63—83.
- [12] Xue L, Kuang L G, Chen H Y. Soil nutrients, microorganisms and enzyme activities of different stands. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 280—285.
- [13] Zhang C E, Liu G B, Chen X L. Characteristics of microorganisms, enzyme activities and biomass on sloping land with different land utilization ways. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(3): 101—103.
- [14] Zhang S Q, Wang G D, Tian P, *et al.* Distributive feature of soil microorganism of *Robinia pseudoacacia* L. plantation forestland in Loess Plateau. *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(6): 128—131.
- [15] Su J, Zhao S W. The relationship between the vegetation and soil microbial population. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 21(S): 131—135.
- [16] Fan J H, Liu M. Influence of five cultivations on soil microorganism diversity and enzyme activity in extremely droughty region in Tarim. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(S): 131—135.
- [17] Menyailo O V. The influence of tree species on the biomass of denitrifying bacteria in gray forest soils. *Soil Biology*, 2007, 3: 331—337.
- [18] Du G J, Zhang Q R, Hong L X, *et al.* Study on soil microbiota and its biochemical properties and physical chemistry properties of *Cunninghamia lanceolata* succession cultivation stand. *Journal of Zhejiang Forest Science and Technology*, 1995, 15(5): 14—20.
- [19] Yang Y S, Qiu R H, Yu X T. Study on soil microbes and biochemical activity in the continuous plantations of *Cunninghamia lanceolata*. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(1): 1—7.

参考文献:

- [1] 张其水, 俞新妥, 等. 福建不同杉木连栽混交林地土壤微生物季节性动态研究. *生态学报*, 1990, 10(2): 121—126
- [3] 滕险峰, 魏自民, 李成. 在施用有机质风沙土对微生物和酶的活性的影响. *黑龙江农业科学*, 2003, 3: 13—14
- [5] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍馥. 影响土壤微生物活性与群落结构因素研究进展. *土壤通报*, 2006, 37(1): 170—176
- [8] 何良菊, 魏德洲, 张维庆. 土壤微生物处理石油污染的研究. *环境科学进展*, 1999, 7(3): 110—115.
- [9] 张炳欣, 张平, 陈晓斌. 影响引入微生物根部定殖的因素. *应用生态学报*, 2000, 11(6): 951—953.
- [10] 李延茂, 胡江春, 汪思龙, 王书锦. 森林生态系统中土壤微生物的作用与应用. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1943—1946
- [11] 程丽娟, 薛泉宏. *微生物学实验技术*. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 63—83
- [12] 薛立, 卞立刚, 陈红跃. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究. *土壤学报*, 2003, 40(2): 280—285
- [13] 张成娥, 刘国彬, 陈小利. 坡地不同利用方式下土壤微生物和酶活性以及生物量特征. *土壤通报*, 1999, 30(3): 101—103
- [14] 张社奇, 王国栋, 田鹏, 郭满才. 黄土高原刺槐林地土壤微生物的分布特征. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 128—131
- [15] 苏静, 赵世伟. 植被与土壤微生物群落的关系. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(增刊): 131—135
- [16] 范君华, 刘明. 塔里木极端干旱区 5 种土地利用方式对土壤微生物多样性与酶活性的影响. *农业环境学学报*, 2006, 25(增刊): 131—135
- [18] 杜国坚, 张庆荣, 洪利兴, 等. 杉木连栽地土壤微生物区系及其生化特性和理化性质的研究. *浙江林业科技*, 1995, 15(5): 14—20.
- [19] 杨玉盛, 邱仁辉, 俞新妥. 杉木连栽土壤微生物及生化特性的研究. *生物多样性*, 1999, 7(1): 1—7.