

川西亚高山林线交错带及邻近植被 土壤细菌生理群数量特征*

齐泽民^{1,2} 王开运² 张远彬³

(1. 内江师范学院化学与生命科学学院 内江 641112; 2. 华东师范大学上海市城市化过程和生态恢复
重点实验室 上海 200062; 3. 中国科学院成都生物研究所 成都 610041)

摘 要: 研究川西亚高山林线交错带及上缘流石滩草甸和下缘冷杉林土壤 8 种细菌生理群数量的空间分布和时间动态特征。结果表明:不同植被细菌生理群数量均随土壤深度加深而降低;0~30 cm 土层硝化细菌、反硝化细菌、好气固氮菌、有机磷分解菌和好气纤维素分解菌数量表现为林线交错带>下缘冷杉林>上缘流石滩草甸,而氨化细菌、无机磷分解菌和厌氧纤维素分解菌除上缘流石滩草甸最低外,林线交错带与下缘冷杉林无显著差异;氨化细菌、有机和无机磷分解菌是各植被土壤中的优势菌群,纤维素分解菌数量最低;在 0~15 cm 土层,上缘流石滩草甸各菌群数量 4 月最低 6 月最高,林线交错带及下缘冷杉林各菌群数量亦 4 月最低,厌氧性的反硝化细菌与厌氧纤维素分解菌 6 月最高,其余菌群均 8 月达最大值,而各植被底层土壤各细菌生理类群数量无明显时间动态规律;林线交错带及邻近植被细菌生理群的空间分布与时间动态与土壤的立地条件、营养成分、水热条件变化关系密切。

关键词: 林线交错带;细菌生理群;数量分布;川西亚高山

中图分类号:S154.36;Q938 文献标识码:A 文章编号:1001-7488(2010)02-0012-07

Quantitative Property of Different Soil Bacterial Physiological Groups in Subalpine Timberline Ecotone and Adjacent Vegetations in Western Sichuan

Qi Zemin^{1,2} Wang Kaiyun² Zhang Yuanbin³

(1. School of Chemistry and Biology, Neijiang Normal University Neijiang 641112;

2. Shanghai Key Laboratory of Urbanization Process and Ecological Restoration, East China Normal University Shanghai 200062;

3. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences Chengdu 610041)

Abstract: The ecological distribution and temporal dynamics of soil bacterial physiological groups in subalpine timberline ecotone and its upper boundary of scree meadow and below boundary of fir forest in Western Sichuan were investigated and analyzed with the plate count and MPN methods. Results showed that populations of soil bacterial physiological groups decreased with increasing soil depth. In 0-30 cm soil layer, the quantities of nitrobacteria, denitrifying bacteria, aerobic nitrogen fixing bacteria, organic phosphorus-decomposing bacteria and aerobic cellulose-decomposing bacteria were in a sequence of timberline ecotone soil > fir forest soil > scree meadow soil. There was no significant difference for ammonifying bacteria, inorganic phosphorus-decomposing bacteria and anaerobic cellulose-decomposing bacteria between timberline ecotone and fir forest soil, while those bacteria in the two soils were more than that in scree meadow. The ammonifying bacteria, inorganic and organic phosphorus-decomposing bacteria were dominant physiological groups in each soil, while the cellulose-decomposing bacteria were the scarcest group. Furthermore, the populations of soil bacterial physiological groups were the least in 0-15 cm soil layer of scree meadow in April and the most in June, whereas the groups were also the least in the topsoil (0-30 cm) of timberline ecotone and fir forest, but all the most in August except denitrifying bacteria and anaerobic cellulose-decomposing bacteria which were the most in June. There was no significant temporal dynamics in the subsoil under three kinds of vegetations. In general, the spatial distribution patterns and temporal dynamics of various soil bacterial physiological groups in timberline ecotone and adjacent vegetations were to certain degree different, depending on the site condition, soil nutrition and water-heat conditions.

Key words: subalpine in Western Sichuan; timberline ecotone; bacterial physiological groups; population distribution

高山或亚高山林线区具有低温、低水分含量及 发育不成熟的土壤基质条件和简单的群落结构等特

征,被认为是对外界干扰极度敏感的典型生态脆弱区,已成为研究各类型干扰特别是全球气候变化与植被动态影响机制的理想天然平台(Scuderi, 1987)。目前,林线的形成与动态、群落特征、种群生理生态特征及适应对策及其与众多生态因子的关系等方面已有了较深入的研究(石培礼等, 2000; 沈泽昊等, 2001; Li *et al.*, 2002)。但林线区域土壤生态系统方面的研究还不多。土壤中微生物的数量直接影响土壤的生物化学活性及土壤养分的组成与转化,是最重要的土壤肥力生物学指标(张奇春等, 2005)。本研究分析川西亚高山林线交错带及上缘流石滩草甸和下缘冷杉林土壤细菌生理类群数量的时间与空间分布特征,以便揭示土壤细菌生理群与土壤肥力,土壤的物质循环、能量流动的关系,为深入了解林线交错带及邻近植被土壤生物学特性、系统生态过程及演化趋势提供基础性资料。

1 研究区概况

王朗自然保护区(103° 55'—104° 10' E,

32°49'—33°02' N),海拔 2 300~4 980 m,位于四川省平武县内,地处青藏高原与四川盆地的过渡地带,属于丹巴-松潘半湿润气候。研究样地设于保护区大窝幽外侧坡林线交错带(104°01'E, 32°59'N),海拔 3 300 m。年均气温 1.0 °C,1 月气温 -6.6 °C,7 月气温 8.9 °C,年相对湿度 70.0%,年降水量 859 mm。流石滩草甸主要以莎草(*Cyperus sp.*)、苔草(*Carex kansuensis*)和羊茅(*Leymus ovina*)为主,盖度约 16%。在整个林线交错带,混生少量乔木,乔木以岷江冷杉(*Abies faxoniana*)和糙皮桦(*Betula utilis*)为主;灌木层主要有高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、杜鹃(*Rhododendron spp.*)、高山柳(*Salix paraplesia*)、刚毛忍冬(*Lonicera hispida*)、花楸(*Sorbus sp.*)和蔷薇(*Rosa sp.*),盖度达 70% 以上;草本层以莎草和苔草为主,盖度约 27%。下缘冷杉林乔木层主要为岷江冷杉,密度为 182 株·hm⁻²,树高 18 m,胸径 24 cm,郁闭度 0.56,地被层苔藓盖度达 90% 以上。林线交错带及邻近植被土壤特性见表 1。

表 1 林线交错带及邻近植被土壤养分特性

Tab. 1 Soil nutrient properties of the timberline ecotone and its adjacent vegetations

植被类型 Vegetation type	土层 Soil layer/ cm	密度 Density/ (g·cm ⁻³)	总空 隙度 Total porosity/ %	pH	阳离子 交换量 Cation exchange capacity/ (mmol·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	全 N Total N/ (g·kg ⁻¹)	全 P Total P/ (g·kg ⁻¹)	全 K Total K/ (g·kg ⁻¹)	有效 N Available N/ (mg·kg ⁻¹)	有效 P Available P/ (mg·kg ⁻¹)	速效 K Soluble K/ (mg·kg ⁻¹)
流石滩草甸 Scree meadow	0~15	0.98	56.74	6.81	119.54	54.04	2.79	1.56	18.69	83.57	1.64	145.56
	15~26	1.74	30.84	6.96	61.03	5.93	0.47	0.47	9.16	16.40	0.85	43.42
林线过渡带 Timber-line ecotone	0~15	0.82	68.82	6.67	239.12	182.17	4.58	1.58	17.94	134.78	4.63	198.73
	15~30	1.24	46.85	6.89	168.48	79.51	3.27	1.05	22.95	63.17	2.83	125.13
	30~47	1.58	36.92	6.82	89.47	12.64	0.56	0.62	14.38	18.72	0.79	64.26
岷江冷杉林 <i>Abies faxoniana</i> forest	0~15	0.74	75.86	5.92	332.83	225.48	3.87	2.90	26.41	167.05	5.76	213.07
	15~30	1.45	54.87	6.27	259.32	82.35	2.68	1.72	32.78	94.87	2.57	150.43
	30~64	1.62	38.4	6.75	129.35	14.24	0.64	0.96	17.59	29.08	1.61	96.56

2 研究方法

在林线交错带上缘无灌木覆盖处为林线交错带与其上缘流石滩草甸的分界线,在林线交错带下缘树高 > 3 m 处为林线交错带与其下缘冷杉林的分界线,在深入流石滩草甸 70 m 处、林线交错带中心线处和深入冷杉林 70 m 处,沿等高线每隔 10 m 挖土壤剖面 5 个。高山草甸土层较薄,表土至残积母质按 0~15 和 15~30 cm,林线过渡区从表土至残积母质按 0~15,15~30 和 30~47 cm,下缘冷杉林表土至残积母质按 0~15,15~30 和 30~64 cm 分层取土样。取样时间分别为 2007 年 4 月 17 日、6 月

20 日、7 月 20 日、8 月 21 日和 10 月 26 日。每次所取土样装入保鲜无菌袋带回实验室,鲜样 4 °C 保存,供土壤微生物及生理类群数量测定。

在 8 种土壤细菌功能群中,好气固氮菌、好气纤维素分解菌、氨化细菌、有机磷分解菌、无机磷分解菌用稀释平板法分离计数,厌气纤维素分解菌、硝化细菌和反硝化细菌采用最大或然数(most probable number)计数法分离计数,其中厌气纤维素分解菌、反硝化细菌用厌氧培养法在 26 °C 温度下培养 16 天后进行计数(鲁如坤, 2000)。以上测定均 3 个重复。

采用 SPSS 13.0 统计软件中 LSD 多重比较方法

研究林线交错带及邻近植被不同层次土壤以及同一土层不同时间之间各细菌生理类群数量的差异显著性,用皮尔逊(Pearson)相关分析研究不同细菌生理类群之间以及各生理类群与土壤物理、化学指标之间的相关性。

3 结果与分析

3.1 林线交错带及邻近植被土壤细菌生理类群数量特征

由表 2 可见,林线交错带及邻近植被土壤细菌生理类群数量在不同土层差异较大。在流石滩草甸

0~15 cm 土层氨化细菌、好气固氮菌、硝化与反硝化细菌、无机和有机磷分解菌、好气与厌氧纤维素分解菌数量是 15~26 cm 土层的 6.26~20.22 倍,在林线交错带 0~15 cm 土层以上菌群数量分别是 15~30 和 30~47 cm 土层的 1.64~3.75 和 7.33~27.57 倍,而在下缘冷杉林 0~15 cm 土层以上菌群数量分别是 15~30 和 30~47 cm 土层的 1.85~4.42 与 4.90~11.06 倍。可见,在林线交错带及邻近植被 0~15 cm 土层细菌生理类群分布最多,微生物活动最活跃,随土层加深,各细菌生理类群数量逐渐降低。

表 2 林线交错带及其邻近植被土壤细菌生理类群数量特征^①

Tab. 2 Quantitative property of bacterial physiological groups in the soil of timberline ecotone and its adjacent vegetations

CFU·g⁻¹ dry soil

植被 Vegetation	土层 Soil layer/ cm	氨化 细菌 Ammoni- fying bacteria	好气 固氮菌 Aerobic nitrogen fixing bacteria	硝化 细菌 Nitrobacteria	反硝化 细菌 Denitri- fying bacteria	无机磷 分解菌 Inorganic phosphorus decomposing bacteria	有机磷 分解菌 Organic phosphorus decomposing bacteria	好气纤维 素分解菌 Aerobic cellulose decomposing bacteria	嫌气纤维 素分解菌 Anaerobic cellulose decomposing bacteria
流石滩草甸 Scree meadow	0~15 15~26	1 534 000 a 105 000 b	76 000 a 3 800 b	5 210 a 310 b	100 800 a 16 100 b	409 000 a 45 000 b	549 000 a 51 000 b	2 980 a 198 b	248 a 39 b
林线交错带 Timberline ecotone	0~15 15~30 30~47	2 622 000 ab 1 380 000 c 332 000 ac	114 100 ab 51 700 a 4 300 b	7 400 ab 2 530 c 580 b	168 400 ab 106 900 a 20 200 b	743 000 c 367 000 a 101 000 ab	724 000 c 215 000 ab 58 000 b	4 462 ab 1 192 c 240 b	436 c 222 a 45 b
岷江冷杉林 <i>Abies faxoniana</i> forest	0~15 15~30 30~64	2 564 000 ab 1 323 000 c 386 000 ac	74 600 a 27 500 bc 1 600 c	3 970 bc 1 380 ac 450 d	73 900 bc 34 000 ac 8 800 d	932 000 bc 418 000 a 87 000 ab	411 000 bc 243 000 ab 69 000 b	3 182 a 726 d 396 bc	654 ab 196 a 58 b

①表中数据为 2007 年 4 月 17 日、6 月 20 日、7 月 20 日、8 月 21 日和 10 月 26 日采样平均值,不同字母代表不同植被各土层细菌生理类群数量差异显著($P < 0.05$, $n = 25$)。The data in the table are average values of five samplings, 15 April, 20 June, 25 July, 21 August and 6 October. Different letters within a column indicate the significant differences among the amount of bacteria physiological groups in different soil layers under three vegetations ($P < 0.05$, $n = 25$).

8 种细菌生理类群中,林线交错带及邻近植被各生理类群数量表现为氨化细菌>无机磷分解菌~有机磷分解菌>反硝化细菌>好气固氮菌>硝化细菌>好气纤维素分解菌>厌氧纤维素分解菌,总体上氨化细菌、有机和无机磷分解菌是林线交错带及邻近植被土壤最主要的优势生理类群,其次是反硝化细菌和好气固氮菌,硝化细菌数量较低,而最少的是好气与厌氧纤维素分解菌。

0~30 cm 土层硝化细菌、反硝化细菌、好气固氮菌、有机磷分解菌和好气纤维素分解菌数量均表现为林线交错带>下缘冷杉林>上缘流石滩草甸,而氨化细菌、无机磷分解菌和厌氧纤维素分解菌数量在上缘流石滩草甸最低,在林线交错带与下缘冷杉林无显著差异($P > 0.05$),无机磷分解菌在下缘冷杉林最高。表明从上缘流石滩草甸→林线交错带→下缘冷杉林,植被的变化对土壤细菌生理类群

数量结构产生了显著的影响。

3.2 林线交错带及邻近植被土壤细菌生理类群数量时间动态

从图 1 可知,从上缘流石滩草甸→林线交错带→下缘冷杉林,相同植被类型,不同土层微生物类群数量的时间动态各异。上缘流石滩草甸 0~15 cm 土层氨化细菌、好气固氮菌、硝化细菌、反硝化细菌、有机磷分解菌、无机磷分解菌、好气与厌氧纤维素分解菌等各菌群数量具有显著的时间动态规律,林线交错带与下缘冷杉林 0~15 与 15~30 cm 土层具有相似的显著时间动态规律,而上缘流石滩草甸 15~26 cm 土层、林线交错带 30~47 cm 土层与下缘冷杉林 30~64 cm 土层均除 4 月中旬最低外,其余时段时间动态规律不显著。在 0~15 cm 土层表现为:上缘流石滩草甸各菌群数量总体上 4 月中旬最低,6 月下旬达最大值,而后至 10 月底逐渐下降;

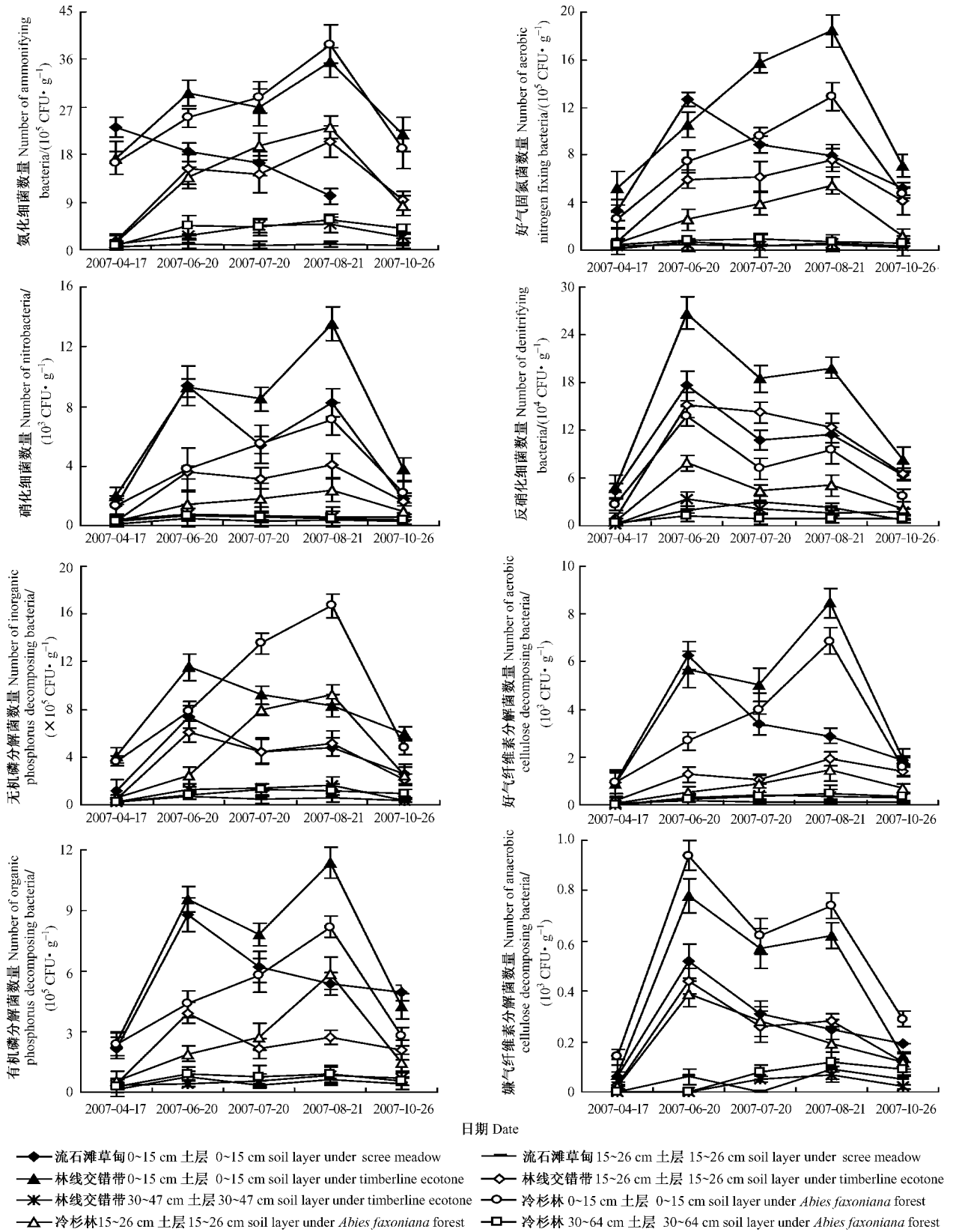


图 1 林线交错带及其邻近植被土壤细菌生理类群数量季节动态

Fig. 1 Number temporal dynamics of physiological groups of soil bacteria in the timberline ecotone and its adjacent vegetations

林线交错带好气固氮菌、有机磷分解菌、好气纤维素分解菌、氨化与硝化细菌数量 4 月中旬数量均最低，

而后升高，7 月下旬有所降低，8 月下旬达最大值，而后至 10 月底逐渐降低，而反硝化细菌、无机磷分解

菌和厌氧纤维素分解菌数量则 6 月下旬最高;下缘冷杉林则 4 月中旬各菌群数量最低,而后持续上升,反硝化细菌和厌氧纤维素分解菌 6 月下旬达最大值,其余均 8 月下旬达最大值,而后降低至 10 月底。4 月中旬各植被下层土壤还处于解冻初期,各菌群数量极低。上缘流石滩草甸 0~15 cm 土层各菌群数量在不同时间的变幅达 3.78~8.67 倍,15~26 cm 土层变幅达 2.91~3.17 倍;林线交错带 0~15 cm 土层在不同时间的变幅达 1.99~11.15 倍,而 15~30 cm 土层变幅达 6.61~14.39 倍;下缘冷杉林 0~15 cm 土层在不同时间的变幅达 3.44~7.74 倍,15~30 cm 土层变幅则达 9.36~18.25 倍。可见,上缘流石滩草甸 15~26 cm 土层细菌生理类群数量时间动态变幅低于 0~15 cm 土层,而林线交错带与下缘冷杉林 15~30 cm 土层变幅高于 0~15 cm 土层。

3.3 各细菌生理类群数量之间的相关性分析

由表 3 可知,林线交错带及邻近植被土壤中,氨化细菌、好气固氮菌数量主要受土壤有机质、全 N、

有效 N、有效 P 含量及土壤密度的影响,硝化细菌数量除受上述化学参数影响外,还受土壤 pH 值及全 P 含量的影响。反硝化细菌数量与全 N、有效 N、有效 P 含量及土壤密度相关。磷素转化细菌中无机磷分解菌与有机磷分解菌数量均受土壤有机质、全 N、全 P、有效 N、有效 P 含量及土壤密度的影响,除此之外,无机磷分解菌还受土壤 pH 值、阳离子交换量及速效 K 含量的影响。碳素转化细菌中好气与厌氧纤维素分解菌数量均与有机质、全 N、有效 N、有效 P 和土壤密度相关,厌氧纤维素分解菌还受土壤 pH 值和速效 K 含量的影响。以上研究结果也表明了可利用的 C 源、N 源和 P 源是土壤微生物生长的重要限制因素。

表 4 表明,在林线交错带及邻近植被土壤中 C、N 和 P 转化细菌生理类群数量除无机磷分解菌与反硝化细菌、氨化细菌与硝化细菌以及硝化细菌与反硝化细菌数量之间呈显著正相关外($P < 0.05$),其余各菌群数量之间均呈极显著正相关($P < 0.01$),彼此之间相互依存,共同消长。

表 3 各细菌生理类群数量与土壤物理化学参数的皮尔逊相关系数^①

Tab. 3 Pearson correlation coefficients between the quantities of bacterial physiological groups and the soil physical and chemical parameters($n = 25$)

细菌生理类群 Bacterial physiological groups	密度 Density	pH	阳离子 交换量 Cation exchange capacity	有机质 Organic matter	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	有效 N Available N	有效 P Available P	速效 K Soluble K
氨化细菌 Ammonifying bacteria	-0.800 *	-0.369	0.681	0.868 **	0.962 **	0.692	0.358	0.852 **	0.902 **	0.719
好气固氮菌 Aerobic nitrogen fixing bacteria	-0.944 **	-0.282	0.586	0.803 *	0.929 **	0.634	0.272	0.864 **	0.840 **	0.686
硝化细菌 Nitrobacteria	-0.906 **	-0.769 *	0.736	0.960 **	0.840 **	0.960 **	0.555	0.963 **	0.749 *	0.696
反硝化细菌 Denitrifying bacteria	-0.821 *	-0.030	0.408	0.656	0.872 **	0.388	0.153	0.851 **	0.807 *	0.757
无机磷分解菌 Inorganic phosphorus decomposing bacteria	-0.932 **	-0.708 *	0.894 **	0.984 **	0.915 **	0.911 **	0.557	0.972 **	0.844 **	0.812 *
有机磷分解菌 Organic phosphorus decomposing bacteria	-0.893 **	-0.282	0.525	0.721 *	0.861 **	0.900 **	0.246	0.776 *	0.765 *	0.665
好气纤维素分解菌 Aerobic cellulose decomposing bacteria	-0.945 **	-0.322	0.574	0.811 *	0.863 **	0.665	0.189	0.847 **	0.784 *	0.560
厌氧纤维素分解菌 Anaerobic cellulose decomposing bacteria	-0.924 **	-0.691 *	0.562	0.977 **	0.895 **	0.618	0.485	0.955 **	0.781 *	0.804 *

① **: $\alpha = 0.01$; * : $\alpha = 0.05$. 下同 The same below.

表 4 各细菌生理类群数量皮尔逊相关系数

Tab. 4 Pearson correlation coefficients among the quantities of bacterial physiological groups($n = 25$)

细菌生理类群 Bacterial physiological groups	氨化细菌 Ammonifying bacteria	好气固氮菌 Aerobic nitrogen-fixing bacteria	硝化细菌 Nitrobacteria	反硝化细菌 Denitrifying bacteria	无机磷分解菌 Inorganic phosphorus decomposing bacteria	有机磷分解菌 Organic phosphorus decomposing bacteria	好气纤维素分解菌 Aerobic cellulose decomposing bacteria	嫌气纤维素分解菌 Anaerobic cellulose decomposing bacteria
氨化细菌 Ammonifying bacteria	1							
好气固氮菌 Aerobic nitrogen fixing bacteria	0.831 **	1						
硝化细菌 Nitrobacteria	0.950 **	0.808 **	1					
反硝化细菌 Denitrifying bacteria	0.677 *	0.865 **	0.627 *	1				
无机磷分解菌 Inorganic phosphorus decomposing bacteria	0.951 **	0.819 **	0.939 **	0.696 *	1			
有机磷分解菌 Organic phosphorus decomposing bacteria	0.822 **	0.952 **	0.810 **	0.859 **	0.831 **	1		
好气纤维素分解菌 Aerobic cellulose decomposing bacteria	0.799 **	0.950 **	0.831 **	0.808 **	0.806 **	0.957 **	1	
厌气纤维素分解菌 Anaerobic cellulose decomposing bacteria	0.886 **	0.826 **	0.891 **	0.813 **	0.886 **	0.840 **	0.822 **	1

4 结论与讨论

对林线交错带及邻近植被土壤细菌生理类群垂直空间分布研究表明, 0 ~ 15 cm 表层土壤是细菌生理类群分布最多、活动较旺盛的土层, 并随土层加深, 各细菌生理类群数量逐渐降低。这是因为植物根系多分布在上层土壤, 根系分泌物和脱落物是微生物生长的重要营养源, 加之水热状况较好, 因此表层土壤是微生物活动最为活跃的区域(张崇邦等, 2002; Fierer *et al.*, 2003)。另外研究表明, 氨化细菌、有机和无机磷分解菌是林线交错带及邻近植被土壤中最主要的优势菌群, 而好气与厌气纤维素分解菌数量最低(表 2), 表明各植被具有较为活跃的土壤有效 N 和 P 的转化。但由于林线附近高海拔极端的低温和气候条件, 好气与厌气纤维素分解菌数量较低, 有机质分解缓慢, 微生物生长必需的碳源和能源物质缺乏, 各菌群数量均低于同地区低海拔(2 600 m)的冷杉针叶林(王开运, 2004)。另外, 各菌群数量与土壤物理构成, 有机质、N 和 P 等养分含量关系密切(表 3)。基于残积母质上发育而成的林线交错带及林缘植被土壤浅薄, 土壤质地粗骨化, 有机质及养分含量较低(表 1), 也是细菌生理类群数

量低于低海拔冷杉针叶林的原因。

研究表明, 0 ~ 30 cm 土层硝化细菌、反硝化细菌、好气固氮菌、有机磷分解菌和好气纤维素分解菌的数量排序为林线交错带 > 下缘冷杉林 > 上缘流石滩草甸, 而氨化细菌、无机磷分解菌和厌气纤维素分解菌除上缘流石滩草甸最低外, 林线交错带与下缘冷杉林无显著差异, 林线过渡带及邻近植被土壤细菌生理类群数量出现了分异现象。一般研究表明, 物种与分解其凋落物的微生物类群具有相互选择、相互协同的作用, 植被类型及物种组成的变化常引起土壤微生物群落组成及数量变化(Groffman *et al.*, 1996; Kowalchuk *et al.*, 2002)。另有研究表明, 低的土壤 pH 值限制硝化与反硝化细菌的生长, 厌氧环境有利于反硝化细菌的生长(Teepe *et al.*, 2001)。与林线过渡带相比, 一方面下缘冷杉林土壤 pH 值较低, 另一方面有机质含量与总孔隙度较高, 土壤通气性较好, 因此, 下缘冷杉林土壤硝化与反硝化细菌数量低于林线过渡带。由此可见, 林线过渡带及邻近植被土壤细菌生理类群数量出现分异与林线交错带及邻近植被群落类型、物种构成、土壤细菌生理群本身的特性及土壤物理化学性质密切相关。

研究表明, 林线交错带及邻近植被 0 ~ 15 cm 土

层是微生物活动最为活跃的土层,总体上林线交错带及邻近植被表层土壤 8 种细菌生理类群数量 4 月中旬最低,而后逐渐升高,上缘流石滩草甸表层土壤各菌群数量 6 月下旬均达最大值,林线交错带表层土壤反硝化细菌、无机磷分解菌和厌氧纤维素分解菌数量和下缘冷杉林反硝化细菌和厌氧纤维素分解菌数量 6 月下旬亦达最大值,其他细菌生理类群数量 8 月下旬达最大值,而后至 10 月底 3 类植被各菌群数量逐渐降低。因此,林线交错带及邻近植被表层土壤细菌生理类群数量时间动态规律受植被类型、细菌生理类群特性及区域水热动态所调控。4 月中旬表层土壤刚进入初解冻期,温度低,因此各植被各菌群数量均最低。而后随时间变化,温度逐渐升高,冰冻融解作用使土壤水分含量显著提高,冰冻过程中死亡的大量微生物体养分释放,再加上解冻后的微生物细胞增殖能力非常高(Hattori, 1985; Jones *et al.*, 2003; Sharma *et al.*, 2006),因此 3 类植被各菌群数量也逐渐升高,上缘流石滩草甸 6 月更是达最大值。对于林线交错带和下缘冷杉林,4 月中旬后,冰冻融解作用的饱水排氧有利于厌氧生物的生长(Spormann *et al.*, 2000),因此二者土壤反硝化细菌和厌氧纤维素分解菌数量 6 月达最大值。进入温度较高的 7—8 月,流石滩草甸由于植被覆盖度低,土层浅薄,保水性低,地表水分蒸腾较高,土壤干旱,因此各菌群数量降低。8 月水热条件较好,因此林线交错带与下缘冷杉林大部分细菌生理类群数量均达最大值。10 月下旬温度降低,虽临近结冰期,土壤并未结冰,各菌群数量降低,但高于 4 月中旬初融期。由此可见,林线交错带及邻近植被土壤的水热变化可能是细菌生理类群数量时间变化最主要的驱动因素。

参 考 文 献

鲁如坤. 2000. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科学出版社, 231-260.

沈泽昊,方精云,刘增力,等. 2001. 贡嘎山海螺沟林线附近峨眉冷

- 杉种群的结构与动态. 植物学报, 43: 1288-1293.
- 石培礼,李文华. 2000. 长白山林线交错带形状与木本植物向苔原侵展和林线动态的关系. 生态学报, 20: 573-580.
- 王开运. 2004. 川西亚高山森林群落生态系统过程. 成都:四川科学技术出版社, 272-280.
- 张崇邦,金则新,施时迪. 2002. 浙江天台山几种林型下土壤细菌生理群生态分布的特性. 植物生态学报, 26: 269-274.
- 张奇春,王光火,方 斌. 2005. 不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响. 土壤学报, 42: 116-121.
- Fierer N, Schimel J P, Holden P A, *et al.* 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profile. *Soil Biology & Biochemistry*, 35: 167-176.
- Groffman P M, Eagan P, Sullivan W M, *et al.* 1996. Grass species and soil type effects on microbial biomass and activity. *Plant and Soil*, 183: 61-67.
- Hattori T. 1985. Kinetics of colony formation of bacteria: an approach to the basis of the plate count method. *The Reports of the Institute for Agricultural Research Tohoku University*, 34: 1-36.
- Jones H G, Pomeroy J W, Walker D A, *et al.* 2003. Snow ecology: an interdisciplinary examination of snow-covered ecosystem. Beijing: Ocean Press, 48-206.
- Kowalchuk G A, Buma D S, Boer W D, *et al.* 2002. Effects of above-ground plant species composition and diversity on the diversity of soil-borne microorganisms. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81: 509-520.
- Li M H, Hoch G, Körner C H. 2002. Source/sink removal affects mobile carbohydrates in *Pinus cembra* at the Swiss treeline. *Trees*, 16: 331-337.
- Sharma S, Szele Z, Schilling R, *et al.* 2006. Influence of freeze-thaw stress on the structure and function of microbial communities and denitrifying populations in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 72: 2148-2154.
- Scuderi L A. 1987. Late-Holocene timberline variation in the southern Sierra Nevada. *Nature*, 325: 242-243.
- Spormann A M, Widdel F. 2000. Metabolism of alkylbenzenes, alkanes, and other hydrocarbons in anaerobic bacteria. *Biodegradation*, 11: 85-105.
- Teepe R, Brumme R, Beese F. 2001. Nitrous oxide emissions from soil during freezing and thawing periods. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 1269-1275.

(责任编辑 于静娴)