

西双版纳次生林土壤微生物生态 分布及其生化特性的研究*

张 萍

(中国科学院昆明生态研究所, 650223)

Ecological Distribution and Biochemical Properties of Soil Microorganisms in Secondary Forests in Xishuangbanna. Zhang Ping (Kunming Institute of Ecology, Academia Sinica, 650223). *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(1): 21-26.

The study shows: 1. Soil microorganisms are mainly concentrated in upper layer. Their amount decreases with increasing soil depth. 2. The amount of bacteria is very rich in rainy season and counts for more than 95% of the total. With the coming of dry season, the amount of bacteria decreases, and that of actinomycete and fungi increases. 3. The amount of microorganisms, the intensity of cellulose-decomposition, the activity of soil enzymes and the intensity of soil respiration are decreased in order of: 20-years-old secondary forest > 12-years-old secondary forest > 7-years-old secondary forest.

Key words: secondary forest, soil microorganisms, biological activity, Xishuangbanna.

土壤微生物不仅是生态系统的重要组成部分之一,而且在森林生态系统物质循环和能量转化中,占有特别的地位。在森林生态系统中,微生物在土壤中的分布与活动,既反映了土壤各因素对微生物的生态分布、生化特性以及对其功能的影响和作用,也反映了微生物对植物的生长发育、土壤肥力和物质循环与能量转化的影响和作用,揭示土壤发育的现状和趋向。

西双版纳地处热带北缘,气候高温多雨,植物生长旺盛,森林茂密,树种繁多,生物种源极为丰富。然而,当地盛行刀耕火种的耕作方式,致使森林被毁,形成大片次生林。为了掌握和了解次生演替的动态和规律,探讨森林生态系统的恢复和发展,我们于1990—1992年对几种演替年限的次生林进行了植被、气象、土壤化学、土壤动物、昆虫、土壤微生物等方面的研究。本文是土

壤微生物研究结果的总结。

1 材料和方法

1.1 土样的采取

采用混合采样法,即在同一块样地内,挖10穴采土混匀为一土样。在统一的综合研究标准地内,采取不同演替年限、不同深度、不同季节的土样,立即带回室内进行各项测定。供试土壤的基本情况列于表1。

1.2 分析方法

测定项目和分析方法如下:

1.2.1 微生物学分析 细菌数:肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂抹法。芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)数:肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂抹

* 中国科学院科学基金资助项目。

作者简介:张萍,女,30岁,助研。1987年毕业于云南大学生物系微生物专业,硕士。从事微生物生态学方面的研究,发表论文4篇。

表 1 不同年限次生林下土壤的性质
Tab. 1 Soil properties under secondary forests of different age

演替年限 (年)	地点	植 被	土 壤	采样深度 (cm)	pH	平均含水量(%)		有机质 (%)	有效氮 [(mg·(100g 土) ⁻¹]
						干季	雨季		
7	9ha 旁 次生林	白背桐、鹅掌柴、 木姜子、飞机草	粘土	0—10	4.18	24.34	49.27	3.74	15.09
12	加工厂旁 半人工林	白背桐、川楝、 印度栲、马唐	壤粘土	0—10	5.01	15.27	26.97	3.52	16.02
20	加工厂旁 次生沟谷林	厚果鸡血藤、 蒲桃、薯芋	壤粘土	0—10	4.30	19.06	30.93	4.57	20.17

法。真菌数:马丁(Martin)培养基平板表面
涂法。放线菌数:高泽一号合成培养基平
板表面涂法。纤维素分解菌数:赫奇逊氏
(Hutchinson)培养基平板表面加滤纸注入
土壤悬液法。

1.2.2 酶活性分析 转化酶活性:以蔗糖
为基质,用滴定法测定酶解释放出的葡萄
糖量。接触酶活性:以过氧化氢为基质,用
滴定法求出相当于被分解的过氧化氢的
0.1mol·L⁻¹KMnO₄ 量。

1.2.3 土壤呼吸强度的测定 分别测定不
添加基质的情况下(内源呼吸),及添加0.1
mol·L⁻¹葡萄糖的情况下,土壤释放 CO₂

量。
1.2.4 纤维素分解强度的测定 埋布片
法,以布条的减重表示纤维素分解强度。
上述方法详见《土壤微生物研究
法》^[1]。

2 结果与讨论

2.1 次生林土壤微生物的数量分布
2.1.1 垂直分布 分别采取演替 7 年、20
年的次生林及原始雨林不同深度(0—
10cm、30—40cm、70—80cm)的土壤,测定
细菌、放线菌、真菌、纤维素分解菌的数量,
结果见表 2。

表 2 次生林土壤微生物数量的垂直分布*[单位:×10⁴ 个·(g 干土)⁻¹]
Tab. 2 Vertical distribution of microbes in secondary forests soils

演替年限 (年)	土壤深度 (cm)	细菌		真菌		放射菌		微生物		纤维素分解菌	
		数量	占三层总数 (%)	数量	占三层总数 (%)	数量	占三层总数 (%)	数量	占三层总数 (%)	数量	占三层总数 (%)
7	0—10	2280.0	86.5	9.9	94.3	93.9	94.9	2383.8	86.8	14.1	94.6
	30—40	252.2	9.5	0.3	2.8	2.7	2.7	255.2	9.3	0.6	4.0
	70—80	105.2	3.9	0.3	2.8	2.3	2.3	107.8	3.9	0.2	1.3
	总数	2637.4		10.5		98.9		2746.8		14.9	
20	0—10	5203.6	86.9	15.7	84.9	91.8	95.3	5311.1	86.9	36.4	93.1
	30—40	644.5	10.8	1.9	10.3	3.1	3.2	649.5	10.6	2.6	6.6
	70—80	143.4	2.4	0.9	4.8	1.4	1.5	145.7	2.4	0.1	0.3
	总数	5991.5		18.5		96.3		6106.3		39.1	
原始林	0—10	5469.4	85.3	21.4	89.5	93.1	90.5	5583.9	85.4	20.6	89.6
	30—40	764.8	11.9	1.2	5.0	7.8	7.6	773.8	11.8	2.1	9.1
	70—80	175.1	2.7	1.3	5.4	1.9	1.9	178.4	2.7	0.3	1.3
	总数	6409.3		23.9		102.9		6536.1		23.0	

* 采样时间:1990 年 7 月

由表 2 看出,上述 3 种森林土壤中,各
类微生物主要集中在土壤表层(0—
10cm),表层微生物的数量占三层总数的
85%以上,随着土壤深度的增加,微生物数

量迅速减少。演替 20 年次生林土壤微生物
总数自表层向下的数量分别为 5311.1×
10⁴ 个·(g 干土)⁻¹,649.5×10⁴ 个·(g 干
土)⁻¹,145.7×10⁴ 个·(g 干土)⁻¹,占三层

总数的比例分别为 86.9%、10.6%、2.4%。这与表层土壤的物理化学特性(温度、湿度、透气性、有机质含量等)较适合微生物生长有关。同时,枯落物经表层微生物的旺盛分解,随着降水向下层土壤渗透,形成了土壤肥力自上而下降低的状况。

2.1.2 次生林土壤微生物数量的季节变化
分别于 4 月、7 月、11 月采取不同演替年限(7 年、20 年、原始林)表层(0—10cm)的土壤,测定细菌、真菌、放线菌、纤维素分解菌的数量,结果见表 3。

由表 3 得出,细菌数量以 7 月最高,11

表 3 次生林土壤微生物数量的季节变化[单位:×10⁴ 个·(g 干土)⁻¹]
Tab. 3 Seasonal variation of microbes in secondary forest soils

演替年限 (年)	采样时间 (月)	细菌			真菌			放线菌			微生物 总数	纤维素 分解菌	土壤含 水量 (%)
		数量	占微生物总数 (%)	总数	数量	占微生物总数 (%)	总数	数量	占微生物总数 (%)	总数			
7	4	493.9	77.1	38.1	5.9	109.0	17.0	641.0	5.8	24.34			
	7	2280.0	95.6	9.9	0.4	93.9	3.9	2383.8	14.1	49.27			
	11	1222.8	93.9	38.0	2.9	40.8	3.1	1301.6	0.9	29.40			
20	4	587.4	78.9	51.6	6.9	104.6	14.1	743.6	6.7	19.06			
	7	5203.6	97.9	15.7	0.3	91.8	1.7	5311.1	36.4	30.93			
	11	1610.9	95.6	33.8	2.0	40.9	2.4	1685.6	2.6	22.31			
原始林	4	631.7	78.0	53.8	6.6	124.3	15.3	809.8	15.2				
	7	5469.4	97.9	21.4	0.4	93.1	1.7	5583.9	20.6				
	11	2815.0	95.4	41.9	1.4	93.8	3.2	2950.7	12.8				

月次之,4 月最低。在 7 月,细菌占微生物总数的 95%以上,细菌几乎进行着全部的生物学和化学的变化。从 7 月→11 月→4 月,随着土壤含水量的降低,细菌数量减少,细菌占微生物总数的比例也随之降低。西双版纳干、湿季明显,雨季降雨充沛,土壤含水量高。4 月为干季,气候干热,土壤含水量较低。细菌数量与季节的变化及气候因素有关。对细菌数量与土壤含水量之间进行相关分析,结果表明:演替 7 年和 20 年次生林土壤中细菌数量与土壤含水量之间均存在极显著的正相关,相关系数分别为 0.97 和 0.99。据报道,最高的细菌密度出现在含水量相当高的地区,对于好气细菌生命活动的最适水平通常为土壤持水量的 50—75%^[2]。表现出细菌喜欢湿润,能耐受低氧水平的特性。

真菌数量的变化与细菌相反,即 7 月较少,随着土壤含水量的降低(从 7 月—11 月—4 月),真菌数量及占微生物总数的比例也随之升高,这在一定程度上反映出真

菌耐干和对土壤中氧气含量较敏感的特性。雨季土壤含水量高,氧气的扩散作用降低,真菌是首先的受害者。

放线菌数量以 4 月较高,这与西双版纳干季气候干热,放线菌喜热耐旱的特性有关。纤维素分解菌以雨季较丰富。

一般认为,在凋落物的分解过程中,细菌比较快的生长速度和生物化学的多样性使它们成为开始期的破坏动力,分解较简单易分解的成分。而放线菌生长慢,只有当更多容易可利用的化合物已被代谢转化以及竞争的压力减少时才出现,参与难分解物质的分解。真菌具有复杂的酶系统,能分解纤维素、半纤维素及其它类似化合物,分解一些植物保存性物质(如木素)的能力也特别强,因此,真菌在森林土壤物质转化中,占有重要地位^[3]。西双版纳气候高温多雨,植物及微生物生长旺盛,使土壤中一些营养元素的淋溶迅速并造成土壤中养分含量较低。另一方面,在森林生态系统的巨大生物量内则贮存着大量的营养元素,并且

通过每年的凋落过程归还土壤,经微生物分解释放后又被植物所吸收利用。由于旱季水分胁迫,造成西双版纳雨林和常绿阔叶林凋落高峰发生在 1—5 月¹⁾。随着雨季的到来,大量细菌繁殖,分解凋落物中较简单易分解的成分,7 月雨林的细菌数量达 5.469×10^7 个 $\cdot$ (g 干土)⁻¹ (占微生物总数的 97.9%)。另一方面,雨季过后,氧气的扩散作用增强,真菌数量增加,分解纤维素、半纤维素及其它类似化合物,也分解一些植物保存性物质。随着干季的到来,喜热耐旱的放线菌数量增加,降解凋落物中较难分解的成分。可见,各类微生物的生物学特性不同,其生长繁殖与气候变化及植物

凋落有机地统一起来,使凋落物迅速被分解利用。

2.1.3 次生林不同演替年限土壤微生物数量的变化 为了探讨演替不同年限微生物数量的变化情况,选择演替 0 年、7 年、12 年、20 年及原始林等 5 块样地,分别于 1991 年 4 月和 11 月两次采取 0—10cm 土壤分析,表 4 是两次分析结果的平均值。

由表 4 看出,随着演替年限的增加,植被由旷地发展到原始雨林,土壤微生物数量呈增加的趋势,表明演替使土壤更加适合微生物的生长繁殖。

2.2 不同林型下土壤生物化学过程强度的变化

表 4 不同演替年限次生林微生物数量的变化[单位: $\times 10^4$ 个 $\cdot$ (g 干土)⁻¹]

Tab. 4 Quantitative variation of microbes in secondary forest soils at different successional year

植 被 (演替年限)	细 菌		真 菌		放射菌		微生物总数	纤维素 分解菌
	数量	占微生物总数 (%)	数量	占微生物总数 (%)	数量	占微生物总数 (%)		
旷地(0 年)	587.7	86.8	23.8	3.5	65.9	9.7	677.4	2.5
8.67ha(7 年)	858.4	88.4	38.1	3.9	74.9	7.7	971.4	3.3
半人工林(12 年)	873.5	88.3	31.3	3.2	84.7	8.6	989.5	2.2
次生沟谷林(20 年)	1099.2	90.5	42.7	3.5	72.7	5.9	1214.6	4.7
原始林	1723.4	91.6	47.9	2.5	109.1	5.8	1880.4	13.9

表 5 不同林型下土壤生物化学过程强度的变化

Tab. 5 Variation of soil biochemical intensity under different forest types

样地类型 (演替年限)	内源呼吸 [CO ₂ μl· (g 干土) ⁻¹ · h ⁻¹]	土壤代谢 葡萄糖能力 [CO ₂ μl· (g 干土) ⁻¹ · h ⁻¹]	接触酶活性 0.1mol·L ⁻¹ KMnO ₄ 消耗量 [ml·(g 干土) ⁻¹]	转化酶活性 葡萄糖量 [mg·(g 干土) ⁻¹ · 24h ⁻¹]	纤维素分 解强度 布条减重 (mg·g ⁻¹)	芽孢杆 菌数量 [$\times 10^4$ 个· (g 干土) ⁻¹]
旷地(0 年)	50.9	253.5	14.8	27.7	126.6	64.4
9ha(7 年)	62.8	379.3	16.1	20.9	148.0	66.6
半人工林(12 年)	58.9*	322.5*	16.1	21.8	204.5	70.1
次生沟谷林(20 年)	65.5	428.7	16.6	23.8	244.8	80.6
原始林	75.8	707.9	19.4	49.5	282.9	176.3

* 半人工林呼吸值偏低,可能与采样地人为活动较多有关,此数据仅供参考。

2.2.1 不同林型下土壤呼吸作用强度的变化 土壤呼吸主要是由土壤微生物的生命活动所引起的(当然还有土壤动物和植物根系的活动,但不是主要的)。因此,一般认为可以把呼吸作用强度作为土壤生物活性的总指标。当添加有效含碳有机物质作为

能量及营养源时,它能激发土壤呼吸作用。它可以反映土壤的潜在生物活性。在有机残体分解过程中,可以根据 CO₂ 释放量来判断有机残体的分解速度和强度。所以,利

1)郑征等.西双版纳三类林分凋落物和叶虫食量初探.云南生态学研究,1991,(2):1—9.

用土壤呼吸强度的变化,可以阐明土壤氧化代谢的能力和方向。

我们进行了内源呼吸、葡萄糖氧化两个方面的试验(表 5)。从表 5 可以看出,次生林土壤内源呼吸强度高于旷地,但低于原始林。演替 20 年的次生沟谷林,其内源呼吸强度高于演替 7 年的次生林,这表明前者土壤总的生物活性高于后者。

添加葡萄糖后呼吸作用强度的变化与内源呼吸相一致,也是次生林土壤中高于旷地而低于原始林,演替 20 年的次生林其土壤氧化葡萄糖的能力高于演替 7 年的次生林。

上述结果表明,从旷地到原始林,随着演替年限的增加,无论是内源呼吸,或者是添加葡萄糖时的呼吸作用强度都呈增强趋势。演替 7 年的次生林土壤,两种呼吸强度明显高于旷地,演替 20 年的次生林土壤两种呼吸强度高于演替 7 年的次生林,但与原始林还有较大差距。这说明,无论是总的生物活性强度,还是潜在的生物活性强度,都是次生林土壤高于旷地土壤但低于原始林土壤,而演替 20 年的次生林土壤又高于演替 7 年的次生林土壤。

我们把西双版纳勐仑几种次生林及原始林的呼吸强度与长白山北坡自然保护区森林土壤的呼吸强度相比较,可以看出,无论是内源呼吸,还是土壤代谢葡萄糖的能力,西双版纳森林土壤都比长白山北坡森林土壤的高,其中,内源呼吸西双版纳森林土壤是长白山森林土壤的 3—4 倍,而土壤代谢葡萄糖的能力则是长白山森林土壤的 10 倍左右。这说明,西双版纳森林土壤不仅总的生物活性强,潜在的生物活性更强,这反映出西双版纳森林土壤降解有机残体的能力很强,加之气候高温多雨,植物生长旺盛,所以西双版纳森林的物质循环速度较快。

2.2.2 不同林型下土壤酶活性的变化 从表 5 可以看出,西双版纳次生林不同演替年限土壤中酶活性的变化,在一定程度上反映出土壤和植被演替的规律。随着演替年限的延长,土壤酶活性逐渐加强,以原始林酶活性最高。三种次生林中,酶活性以演替 7 年的次生林土壤中最低,演替 20 年较高,随着演替时间的延长呈上升趋势。

不同土壤酶活性的差异,表明了不同土壤有机残体的转化状况。可以利用水解酶类(转化酶)活性强度来解释土壤有机残体的分解强度;利用氧化还原酶类(接触酶)活性强度来解释土壤中腐殖质再合成的强度。

随着演替时间的延长,土壤转化酶活性增强,而接触酶活性增强较少(表 5),表明随着演替时间的延长,土壤有机残体的分解强度增加,腐殖质再合成的强度增加不大。三种次生林中,土壤有机残体的分解强度以演替 20 年的次生林最高,演替 12 年的次生林次之,演替 7 年的次生林最低。

我们的结果与长白山北坡森林土壤的酶活性比较得出:西双版纳森林土壤的转化酶活性是长白山森林土壤的 2 倍左右,而接触酶活性则是长白山森林土壤的 $1/2 - 1/3$,即西双版纳森林土壤有机残体的分解强度比长白山森林土壤的强,而腐殖质再合成强度又比长白山森林土壤的弱。这与当地的气候条件有关,西双版纳高温多雨,微生物数量丰富,故有机残体分解迅速,同时高温多雨也使土壤中营养元素淋溶迅速,植物生长旺盛,造成土壤中养分含量较低,所以腐殖质再合成强度较低。同样看出,西双版纳几种次生林随着演替年限的延长,土壤有机残体分解强度增强,而腐殖质再合成强度变化不大。

2.2.3 不同林型下土壤纤维素分解强度和芽孢杆菌数量的变化 自然界中存在大量

纤维素,它是组成植物组织的主要成分。纤维素分解菌对纤维素的分解作用是自然界碳素循环的基础。产芽孢细菌(主要指芽孢杆菌属的细菌)是一类具有较强氮化作用能力的菌群,它们的数量变化在一定程度上反映了土壤中有有机氮化物分解过程的强度。

从表5看出,次生林土壤纤维素分解强度和芽孢杆菌数量的变化与呼吸作用强度及酶活性的变化相一致,也是随着演替年限的延长,纤维素分解强度和芽孢杆菌数量也随之增加,即纤维素分解强度和芽孢杆菌数量以演替20年次生林土壤最高,演替12年半人工林次之,演替7年次生林最低。这表明在三种次生林中,演替20年的次生林土壤对纤维素和有机氮化合物的降解能力最强,演替12年的次生林次之,演替7年的次生林最低。

3 总 结

3.1 次生林随着演替年限的延长,土壤微生物数量也随之增加,演替使土壤更加适合微生物的生长繁殖。在一个土壤剖面上,各类微生物主要集中于表层,随着土壤深度的增加,微生物数量迅速减少,这表明表层土壤的物理化学特性较适合微生物的生长。

3.2 西双版纳次生林土壤中,雨季细菌数量非常丰富,占微生物总数的95%以上。雨季过后,随着干季的到来,细菌数量减少,而真菌和放线菌数量相对增加。土壤中各类微生物数量随着季节的变化,与西双版纳不同季节的气候特点和各类微生物的生物学特性及它们之间的竞争机制有关,

这些因素协调统一,使凋落物迅速被分解利用。

3.3 西双版纳不同演替年限的次生林土壤中,微生物的数量、纤维素分解强度、土壤酶的活性、土壤呼吸作用强度等的测定结果,表现了相似的规律。它们都是以演替20年的次生沟谷林土壤中为最高,其次是演替12年的半人工林土壤,而以演替7年的次生林土壤中为最低。即土壤代谢葡萄糖、纤维素、有机含氮化合物等物质的能力随着演替时间的延长而加强,表明土壤总的生物活性强度、潜在的生物活性强度及分解有机残体的强度随着演替年限的延长而增加。演替改善了土壤的物理、化学和生物学状况,提高了土壤的活力。

3.4 西双版纳森林土壤的内源呼吸强度、代谢葡萄糖的能力和转化酶活性分别是长白山森林土壤的4倍、10倍和2倍,而接触酶活性则是长白山森林土壤的1/2—1/3。表明西双版纳森林土壤的生物活性和降解有机残体的能力比长白山森林土壤的强,而腐殖质再合成强度又比长白山森林土壤的弱。这与西双版纳气候高温多雨、微生物数量丰富、植物生长旺盛有关。所以西双版纳森林的物质循环速度较快,而土壤腐殖质再合成强度较低。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著. 土壤微生物研究法. 科学出版社, 1985.
- [2] M. 亚历山大. 土壤微生物学导论. 科学出版社, 1983.
- [3] 许光辉等. 长白山北坡自然保护区森林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究. 生态学报, 1984, 4(3): 207—222.

(收稿:1994年1月21日,改回:4月20日)