

江西阳际峰自然保护区 土壤的微生物学性状

郑诗樟¹, 王景明¹, 肖青亮¹, 乐新贵², 张仪平²

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西省贵溪市林业局, 江西 贵溪 335400)

摘要: 研究阳际峰自然保护区不同海拔梯度土壤剖面状况及其微生物学性状, 探讨土壤微生物量 C 与 N、酶活性、微生物商与呼吸速率的变化及其相互关系。结果发现, 不同海拔梯度土壤在微生物学性状上均有较大差异。总的趋势是植被覆盖度高, 地形平缓, 土层厚, 微生物活性强, 且与海拔梯度呈显著正相关。在剖面分布上, 也有明显的层次差异, 即随土层的增加而减少。

关键词: 阳际峰自然保护区; 土壤微生物量 C、N; 土壤酶活性; 土壤呼吸

中图分类号: S154.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2012)01-0191-06

Soil Biological Properties of the Yangjifeng Mountain Nature Reserve in Jiangxi Province, China

ZHENG Shi-zhang¹, WANG Jing-ming¹, XIAO Qing-liang¹,
LE Xin-gui², ZHANG Yi-ping²

(1. College of Land Resources and Environment, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Forestry Bureau of Guixi County, Guixi 335400, China)

Abstract: The soil profile and soil vertical pattern of the Yngjifeng Mountain Nature Reserve were surveyed, the soil microbial biomass C, N (SMBC, SMBN), soil respiration ($C-CO_2$), microbial quotient (C_{mic}/TOC), metabolic quotient (q_{CO_2}) and enzyme activities were studied. There was obvious difference in microbial properties along the elevation gradient. The enzyme activities were strong in the plot with good vegetation coverage, flat terrain, and thick soil layer. There was significant difference ($p < 0.05$) between the altitude and the microbial biomass and enzyme activities in the surface layer (A). In profile, the biological activities decreased with the increase of the depth of the layers of soil.

Key words: Yangjifeng Mountain Nature Reserve; soil microbial biomass C, N; soil enzyme activity; soil respiration

阳际峰保护区位于贵溪市境内, 海拔 1 540.9 m, 属于中山地貌, 为武夷山系, 属亚热带气候带。成土母质为以花岗岩、花岗斑岩、片麻岩为主的酸性结晶岩类风化物。随着海拔梯度的不同, 土壤母质、温度和降水的分配也不同。山顶为残积物母质类型, 气温低、湿度高、风大、云雾多, 植被为矮林灌草丛; 山麓的母质为坡积物或洪积物类型, 光、热、水资源丰富。在中亚热带湿润季风气候区的温暖、湿润气候条

收稿日期: 2011-09-26 修回日期: 2011-10-28

基金项目: 国家自然科学基金(30560121)、江西省贵溪市林业局科考项目(2007—2009)和江西农业大学校基金资助(2006)

作者简介: 郑诗樟(1969—), 男, 副教授, 主要从事土壤学及水土保持教学与研究, E-mail: zhshzh123@126.com。

件下,植被类型繁多,资源丰富。从分布特征看,有地带性植被和非地带性植被,随着海拔梯度的不同,植被分布的垂直带谱明显。保护区的气候资源丰富多样,湿润指数高等优点,使土壤微生物在土壤中繁殖快,数量大,代谢能力强,不仅对土壤有机质的降解转化,无机物的转化,分子态氮的固定,对植物的营养和土壤肥力的保持有着重要的作用,而且对净化环境、保持生态平衡有着非常重要的意义。研究阳际峰的森林土壤微生物学性状,对于了解阳际峰土壤的物质转化和土壤发生分类有重要意义,也是建设自然保护区和开发利用山区资源不可缺少的依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集与处理

土壤样品采自江西省贵溪市武夷山系的阳际峰自然保护区,地理位置为 $27^{\circ}51'10'' \sim 28^{\circ}02'20''N$, $117^{\circ}11'30'' \sim 117^{\circ}28'40''E$ 。区内群山起伏,阳际峰海拔最高为1540.9 m。保护区气候温暖湿润,属亚热带湿润季风气候区。区内四季分明,夏季多暴雨,冬季多浓雾,山地型小气候明显。年平均气温 $14.4^{\circ}C$ 。年均降雨量2114 mm,降雨量随着海拔梯度的增加呈倒“V”型分布,年均湿度80%。成土母质为以花岗岩、花岗斑岩、片麻岩为主的酸性结晶岩类风化物。自然植被繁茂,但随着地形水文条件等的不同,土壤状况有着较大的分化。海拔高、坡度大的地方,土层相对薄。由于人为因素干扰少,土壤仍保持较高的肥力和较完整的土层。

选择有代表性的土壤,挖掘剖面至1 m以下,采样时按土壤的发生层次由下而上取。薄层时全层取样,厚层时则从发生层的中间部位取样,重约1 kg,样品用消过毒的布袋装好,带回实验室后放在 $4^{\circ}C$ 的冰箱中保存。进行分析时,一份土样进行风干,磨细,过筛(1 mm筛孔),装纸袋后备用。另一份仍保存在 $4^{\circ}C$ 冰箱中,供土壤微生物量等项目分析之用。

1.2 测定方法^[1]

1.2.1 土壤微生物量 采用氯仿熏蒸- $0.5 \text{ mol/L K}_2\text{SO}_4$ 直接提取法^[2-3]。其中,微生物量C用氧化滴定法,即提取液在酸性条件下,用重铬酸钾氧化,硫酸亚铁回滴,邻啡罗啉作为指示剂;微生物量N采用提取液全氮消化、开氏蒸馏法。

1.2.2 土壤基础呼吸作用 采用碱吸收滴定法^[4]。即利用一定浓度的NaOH溶液吸收20 g新鲜土壤呼吸(在 $28^{\circ}C$ 恒温培养24 h)所释放出的二氧化碳,以酚酞作指示剂,然后用标准盐酸滴定剩余的NaOH量,求出NaOH的消耗量。按每消耗 0.1 mol/L NaOH 1 mL相当于2.2 mg二氧化碳,计算出 CO_2 的释放量。

1.2.3 土壤酶活性^[5] 蔗糖酶活性的测定:采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定。用测定的还原糖生成量来表示酶的活性,单位为:mg(葡萄糖)/g(土), $37^{\circ}C$,22 h。

脲酶活性的测定:根据尿素水解时生成的氨与苯酚一次氯酸钠作用生成蓝色的靛酚这一原理进行比色测定,单位为:mg($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)/g(土), $37^{\circ}C$,12 h。

酸性磷酸酶活性的测定:采用Hoffman法测定^[6],单位为:mg(酚)/g(土), $37^{\circ}C$,20 h。

1.2.4 数据的统计分析 采用DPS7.05软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同海拔梯度土壤的微生物量

由表1可以看出,不同海拔梯度土壤的微生物量C、N的差异较大。土壤微生物量碳均呈现随海拔梯度的上升而增加的趋势,土壤A层的微生物量C量大小顺序依次为天华山1、阳际峰、阳际坑1、香台山1、香台山2、上山、二十八里、阳际坑2、天华山2、西坑。土壤微生物量C在不同海拔的含量差异较大,最大可达4.69倍。

土壤表层(A层)微生物量N也随着海拔梯度的上升而增加,其趋势依次为天华山1、阳际峰、阳际坑1、香台山2、香台山1、上山、二十八里、阳际坑2、天华山2、西坑,除香台山1与香台山2的顺序有点变化外,基本一致。土壤微生物量N在不同海拔的含量差异较大,最大可达3.97倍。在同一林分下,土壤微生物碳、氮含量均随着土层深度的增加而减小。这与周焱等^[7]对武夷山土壤的研究结果是一致的。

微生物量 C/N 的比值变化规律性差,与海拔梯度有一定的相关性,但不显著。

表 1 不同海拔梯度土壤微生物量 C、N 状况

Tab. 1 Soil microbial biomass C, N change along an elevation gradient

样地 Plot	海拔/m Altitudem	微生物量 C/(mg·kg ⁻¹) SMBC			微生物量 N/(mg·kg ⁻¹) SMBN			微生物 C/N SMBN/SMBN		
		A	B	BC	A	B	BC	A	B	BC
A	425	628.35	308.28		51.76	28.62		12.14	10.77	
B	980	1302.81	513.86		90.75	50.33		14.36	10.21	
C	1320	2046.97	534.48		186.53	54.76		10.97	9.76	
D	1541	2832.56			204.38			13.86		
E	1100	1223.73	365.54		86.46	38.85		14.15	9.41	
F	540	1246.72	446.83	276.26	87.36	47.67	18.48	14.27	9.37	14.95
G	1010	1934.92	1045.64	286.38	168.37	94.37	24.47	11.49	11.08	11.70
H	675	1388.97	508.86	328.37	186.43	70.35	46.37	7.45	7.23	7.08
I	1210	2945.85	1281.56	726.28	205.36	126.73	102.64	14.34	10.11	7.08
J	670	926.28	408.85	347.27	81.37	35.35	27.24	11.38	11.57	12.75

A: 西坑; B: 上山; C: 阳际坑 1; D: 阳际峰; E: 阳际坑 2; F: 二十八里; G: 香台山 1; H: 香台山 2; I: 天华山 1; J: 天华山 2。

A: Xikeng; B: Shangshan; C: Yangjikeng1; D: Yangjifeng; E: Yangjikeng 2; F: Ershibali; G: Xiangtaishan 1; H: Xiangtaishan 2; I: Tianhuashan 1; J: Tianhuashan 2.

土壤微生物量的变化与海拔梯度增加趋势不能完全吻合。因为微生物量本身受多种因素的影响,如植被的覆盖度、林分的组成、凋落物数量与质量、根系数量与分布、温度与湿度的变化、母质与质地的不同以及 C 与 N 的沉降等。王莹等^[8]研究森林植被转变对微生物量的影响认为杉木纯林和混交林土壤微生物生物量碳含量均显著低于常绿阔叶林。王春阳等^[9]通过室内培养试验方法研究不同植物凋落物及等比例混合后对土壤微生物量碳、氮及矿质态氮含量的影响发现,加入不同植物凋落物均显著提高了培养期间土壤微生物量碳、氮含量,添加 3 种等量混合后植物凋落物的土壤微生物量碳、氮含量高于两种凋落物等量混合处理,而 2 种凋落物混合高于单种凋落物处理。Singh, et al^[10]研究认为印度热带森林土壤生态系统的微生物量 C、N、P 与湿度呈负相关,而且天然林的相关性更显著。徐秋芳等^[11]认为毛竹竹根区土壤微生物数量和酶活性均较林间的高。何容等^[12]研究认为武夷山亚热带森林年平均土壤微生物量随海拔梯度升高而增加,土壤有机碳、全氮、全硫和土壤湿度可能是调控土壤微生物量沿海拔梯度变化的主要因子。

2.2 不同海拔梯度土壤的酶活性

土壤酶活性也被认为是极有潜力的土壤质量指示者,一般认为土壤中的酶大部分来自微生物,但土壤动物和植物对土壤酶活性也有非常大的贡献,这已为许多研究所证实。理论上讲,土壤酶几乎在所有的土壤反映中都有重要的作用,其专一性和相对稳定性的特点使其具有指示土壤质量的巨大潜力。土壤酶活性强弱对土壤物质转化也起了重要作用。

由表 2 可以看出,不同海拔梯度土壤酶活性的差异较大。土壤酶活性呈现随海拔梯度的上升而增加的趋势,土壤 A 层蔗糖酶活性依次为天华山 1、阳际坑 1、阳际峰、香台山 1、上山、二十八里、香台山 2、阳际坑 2、天华山 2、西坑。土壤蔗糖酶活性在不同海拔的含量差异较大,最大可达 29.8 倍。脲酶活性依次为天华山 1、阳际坑 1、阳际峰、二十八里、香台山 1、阳际坑 2、香台山 2、天华山 2、上山、西坑。土壤脲酶活性在不同海拔的含量差异较大,最大可达 2.8 倍。酸性磷酸酶活性依次为天华山 1、香台山 1、上山、阳际峰、西坑、阳际坑 1、二十八里、阳际坑 2、天华山 2、香台山 2。土壤酸性磷酸酶活性在不同海拔的含量差异较大,最大可达 4.69 倍。酸性磷酸酶活性随海拔增加而增加的规律性较蔗糖酶和脲酶活性差。在同一林分下,土壤酶活性均随着土层深度的增加而减小。土壤酶活性的变化较微生物量复杂,既受土壤植物、动物和微生物的影响,也受外界环境的影响。王莹等^[8]研究森林植被转变对酶活性的影响认为杉木人工林土壤比天然阔叶林土壤蔗糖酶、脲酶和磷酸酶活性显著降低。刘庆新等^[13]研究酶活性与土壤肥力的关系认为土壤有机质、全氮、碱解氮与速效钾等与蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶呈显著正相关。

表 2 不同海拔梯度土壤酶的活性

Tab.2 Soil enzyme activity change along an elevation gradient

样地 Plot	海拔/m Altitudem	蔗糖酶 Invertase(INV) mg(葡萄糖) · g ⁻¹ (土)			脲酶 Urease(URE) mg (NH ₄ ⁺ - N) · g ⁻¹ (土)			酸性磷酸酶 Acidity Phosphatase(APH) mg (酚) · g ⁻¹ (土)		
		A	B	BC	A	B	BC	A	B	BC
A	425	9.93	5.41		1.08	0.93		106.04	97.24	
B	980	90.01	44.69		1.31	1.14		158.43	116.48	
C	1 320	289.54	62.46		2.62	1.78		93.24	56.56	
D	1 541	202.25			2.35			117.83		
E	1 100	35.78	12.55		1.61	1.33		54.64	41.76	
F	540	52.48	37.15	16.37	2.27	1.80	1.39	65.46	63.53	79.26
G	1 010	109.96	6.37	2.45	1.85	1.09	0.88	187.56	165.47	107.74
H	675	51.61	18.78	16.20	1.52	1.24	0.94	32.75	36.23	33.68
I	1 210	295.91	151.08	133.90	3.05	2.38	1.80	194.68	109.46	102.56
J	670	21.38	15.11	9.74	1.39	1.18	0.92	33.47	27.89	29.32

A: 西坑; B: 上山; C: 阳际坑 1; D: 阳际峰; E: 阳际坑 2; F: 二十八里; G: 香台山 1; H: 香台山 2; I: 天华山 1; J: 天华山 2。

A: Xikeng; B: Shangshan; C: Yangjikeng1; D: Yangjifeng; E: Yangjikeng 2; F: Ershibali; G: Xiangtaishan 1; H: Xiangtaishan 2; I: Tianhuashan 1; J: Tianhuashan 2.

2.3 不同海拔梯度土壤的微生物商与呼吸速率

微生物商(C_{mic}/TOC) 是微生物生物量碳与土壤有机碳之比, 在不同土壤进行比较时, C_{mic}/TOC 参数可以避免由于土壤有机质含量的差异而难以说明的缺点^[14]。许多研究者认为它能够指示土壤过程和土壤健康, 比单独测定微生物量 C 和有机 C 更实用^[15]。在表 3 中, 表层微生物商最高的是天华山 1、2, 香台山 1、2, 西坑和上山等, 最低的是阳际坑 1 和阳际峰。由于生态系统微生物商的健康值难确定, 因此难以说明不同海拔梯度微生物商代表的确切含义。

表 3 不同海拔梯度土壤微生物商与呼吸速率

Tab.3 Soil microbial quotient(C_{mic}/TOC) metabolic quotient(q_{CO₂}) change along an elevation gradient

样地 Plot	海拔/m Altitudem	土壤呼吸 C - CO ₂ (μg · g ⁻¹) Soil respiration			微生物商/% C _{mic} /TOC* Microbial quotient			代谢商 q _{CO₂} (μgCO ₂ · mg ⁻¹ C _{mic} h ⁻¹) Metabolic quotient		
		A	B	BC	A	B	BC	A	B	BC
A	425	3.97	3.86		3.03	2.95		6.32	12.52	
B	980	4.15	4.00		3.05	2.97		3.19	7.78	
C	1 320	4.16	3.93		2.26	2.39		2.03	7.35	
D	1 541	4.19			2.64			1.48		
E	1 100	4.23	3.99	3.23	2.82		3.46	10.92		
F	540	4.13	3.99	3.92	3.11	2.01	3.96	3.31	8.93	14.19
G	1 010	4.12	3.94	3.83	2.95	4.89	2.88	2.13	3.77	13.37
H	675	4.28	4.05	3.97	3.09	4.57	2.95	3.08	7.96	12.09
I	1 210	4.22	3.94	3.89	3.11	2.50	1.75	1.43	3.07	5.36
J	670	4.14	3.93	3.85	3.28	1.95	2.93	4.47	9.61	11.09

A: 西坑; B: 上山; C: 阳际坑 1; D: 阳际峰; E: 阳际坑 2; F: 二十八里; G: 香台山 1; H: 香台山 2; I: 天华山 1; J: 天华山 2。

A: Xikeng; B: Shangshan; C: Yangjikeng1; D: Yangjifeng; E: Yangjikeng 2; F: Ershibali; G: Xiangtaishan 1; H: Xiangtaishan 2; I: Tianhuashan 1; J: Tianhuashan 2. * : 土壤总有机碳: total organic C(TOC) 。

土壤呼吸作用不仅包括微生物的呼吸作用, 而且还包括土壤动物和植物根系的呼吸作用。但必须指出的是土壤微生物活动是土壤呼吸作用的主要来源。因此影响土壤微生物活动的诸因子, 如土壤有机质、pH、温度、水分、有效养分含量、土地利用方式等都能影响土壤呼吸作用强度, 从土壤呼吸作用强度的变化反映出来。一般而言, 温度是影响土壤呼吸的最主要因素, 两者之间关系具有较明显的规律性^[16]。本研究中, 土壤呼吸作用最强的是香台山 2、天华山 1 和阳际坑 2, 最低的是在西坑, 有一定的规律性, 即随着海拔梯度的升高, 土壤呼吸强度有增加的趋势。

代谢商 q_{CO₂} 是单位微生物量在单位时间内释放的 CO₂ 量。在表 3 中, 代谢商最高的是西坑和天华山 2, 其次是上山和天台山 2, 最低是在天华山 1 和阳际峰。代谢商随着海拔梯度的增加有降低的趋势。而随着海拔梯度的增加, 微生物量 C、N 是增加的, 代谢商却降低了, 说明土壤呼吸强度降低了。这与外

界环境或植物根系有密切关系。许多实地测定和室内实验结果表明,土壤呼吸速度与土壤温度间有显著的指数函数相关关系,呼吸量随温度的上升呈指数函数上升^[17]。刘颖等^[18]研究温度和湿度对土壤呼吸速率的影响认为根系呼吸对土壤总呼吸的贡献为 26.5% ~ 52.6%,土壤总呼吸速率对土壤湿度的敏感程度大于根系呼吸,断根土壤呼吸速率对土壤湿度的敏感程度最差。施政等^[19]认为土壤温度是调控土壤呼吸在海拔梯度上变化的主导因子。周玉梅等^[20]研究认为根系统对高浓度 CO₂ 的响应会潜在地影响微生物的代谢底物,进而影响微生物呼吸强度。

2.4 土壤微生物学性状间的关系

从表 4 可以看出,微生物量 C 与微生物量 N 呈极显著正相关。但与两者比值的相关性不显著。表明微生物量 C 和 N 呈相似规律变化,但不是呈某种比例关系有规律的变化。土壤微生物量 C、N 与土壤微生物商相关性不明显,这与微生物商本身的规律不明显有关。微生物量 C、N 与蔗糖酶、脲酶和酸性磷酸酶的相关性达到显著或极显著。符合土壤中的酶大部分来自微生物的说法。但酸性磷酸酶的相关性稍低,也说明了微生物量 C、N 和蔗糖酶和脲酶与土壤的有机碳和全氮高度相关,而酸性磷酸酶虽与 C、N 无关,但也是酶,只要微生物活性增强,产生的酶也会增加。土壤微生物量 C、N 与土壤呼吸(C - CO₂)呈极显著相关。说明微生物量的呼吸作用是土壤总呼吸作用的主要贡献者。

蔗糖酶与脲酶活性呈极显著相关,与酸性磷酸酶活性呈显著相关。脲酶与酸性磷酸酶的相关性不显著。说明土壤中 C、N 量呈一定比例存在,有利于蔗糖酶和脲酶活性的共同提高。

表 4 不同海拔梯度土壤的微生物量 C、N 与酶活性的相关系数

Tab. 4 The correlation coefficient of microbial biomass C, N and enzyme activity along an elevation gradient

	SMBN	SMBC/SMBN	Cmic/TOC	q _{CO₂}	C - CO ₂	INV	URE	APH
SMBC	0.94**	0.37	-0.04	-0.83**	0.74**	0.85**	0.80**	0.57**
SMBN	1	0.08	-0.08	-0.85**	0.75**	0.82**	0.77**	0.46*
SMBC/N		1	0.15	-0.19	0.23	0.18	0.24	0.37
Cmic/TOC			1	0.02	0.1	-0.32	-0.29	0.13
q _{CO₂}				1	-0.75**	-0.65**	-0.69**	-0.45*
C - CO ₂					1	0.48*	0.55**	0.14
INV						1	0.88**	0.50*
URE							1	0.36
APH								1

* ,** : 表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上差异显著。* ,** : Stand for significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level. * : 土壤总有机碳: total organic C(TOC)。

2.5 海拔梯度与土壤微生物学性状的关系

从表 5 中可以看出,随着海拔梯度的增加,微生物量 C、N 相应增加,呈极显著和显著的正相关。蔗糖酶和脲酶相应增加,呈极显著和显著的正相关。与酸性磷酸酶活性的相关性不显著,表明随着海拔梯度的增加,土壤温度相应降低,有机物质分解减缓,有机质增加,微生物量和酶活性相应增强,这是主要原因,其次是外界环境因素的影响。

3 结论与讨论

在不同海拔梯度上,微生物量 C、N 最高的是在天华山 1 和阳际峰,最低的是在西坑;蔗糖酶活性和脲酶活性增强的趋势相似,均是在天华山 1、香台山 1 和阳际峰处最高,在西坑处最低,与土壤微生物量的增加趋势相近。微生物量与酶活性的相关性达到极显著水平;与海拔梯度呈显著或极显著相关。酸性磷酸酶活性最强的是在天华山 1、香台山 1、上山、阳际峰,最低是在天华山 2 和香台山 2,与蔗糖酶和脲酶活性的增加趋势差异较大,但与微生物量 C、N 的相关性达到显著或极显著水平;与蔗糖酶活性的相关性达显著水平;与脲酶的相关性不显著。土壤基础呼吸作用最强的是香台山 2、天华山 1 和阳际坑 2,最低的是在西坑。与土壤微生物量也有相近的规律性。与微生物量均呈极显著相关;与蔗糖酶活性呈极显著和显著相关,与酸性磷酸酶活性的相关性不显著;与海拔梯度的相关性达 0.46,但未达到显著水平。微生物学性状是随着土层深度的增加而降低的,符合一般规律。在剖面上微生物量、土壤酶活性和基础呼吸急剧下降,说明养分在表层积累较多,而且对微生物学性状的贡献最大。

表5 不同海拔梯度与土壤的微生物量 C、N 酶活性的相关系数(A 层)

Tab.5 The correlation coefficient of between altitude and microbial biomass C, N, enzyme activity along an elevation gradient(A layer)

	SMBC	SMBN	SMBC/SMBN	Cmic/TOC	INV	URE	APH	C - CO ₂	q _{CO₂}
Altitude	0.83**	0.69*	0.29	-0.59	0.78**	0.62*	0.41	0.46	-0.81**

* ,** :表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上差异显著。* ,** : Stand for significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ level. * : 土壤总有机碳: Total organic C(TOC)。

土壤微生物学指标之所以出现了较大的差异,与不同植被、不同理化性状和不同气候条件等因素有关。阳际峰不同海拔的山地土壤,其植被有明显的地带性,一般针落混交林 > 阔叶林 > 针叶林。王阳春等^[9]研究认为凋落物的种类越多,越容易提高微生物量。从土壤剖面上看,随着土层深度的增加,土壤微生物学性状急剧下降,主要有土壤肥力因素和理化性状的因素影响。对于山地土壤,不同的温湿度影响是重要因素,随着海拔梯度的增加,温度是降低的,而山地还有山地型小气候的影响,阳际峰的降雨量分布是呈倒“V”型的。所以适宜温湿度有个交叉点,对微生物来说最适宜的温湿度带不是在山顶,也不是在山脚。本文的结果也能说明这一点,微生物量和酶活性最好的都在天华山1,其海拔为1 210 m,是天目紫荆、银木荷、白玉兰、猴头杜鹃等生长的地方,其枯枝落叶和温湿度较适宜于微生物的生长。

参考文献:

[1]郑诗樟,吴蔚东,何园球,等.红壤丘陵区不同生态重建中红壤的微生物学性状[J].江西农业大学学报,2004,26(5):792-797.

[2]Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biol Biochem, 1987, 19: 703 - 707.

[3]Brookes P C, Landman A, Pruden G et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biol. Biochem, 1985, 17: 873-842.

[4]中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.

[5]许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M].北京:农业出版社,1986.

[6]赵兰坡,姜岩.土壤磷酸酶活性测定方法的探讨[J].土壤通报,1986,17(3):138-141.

[7]周焱,徐宪根,王丰.武夷山不同海拔梯度土壤微生物生物量、微生物呼吸及其商值(q_{MB} , q_{CO_2}) [J].生态学杂志,2009,28(2):265-269.

[8]王莹,王彦梅,陈龙池.湖南会同地区森林植被转变对土壤微生物生物量碳和酶活性的影响[J].生态学杂志,2010,29(5):905-909.

[9]王春阳,周建斌,夏志敏,等.黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响[J].生态学报,2011,31(8):2139-2147.

[10]Singh D P, Kashyap A K. Microbial biomass C, N and P in disturbed dry tropical forest soils[J]. India: Pedosphere, 2010(6):780-788.

[11]徐秋芳,姜培坤.毛竹竹根区土壤微生物数量与酶活性研究[J].林业科学研究,2001,14(6):648-652.

[12]何容,汪家社,施政.武夷山植被带土壤微生物量沿海拔梯度的变化[J].生态学报,2009,29(9):5138-5144.

[13]刘庆新,吴法启,刘海斌,等.纸坊沟流域土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1100-1106.

[14]任天志,Stefano G. 持续农业中的土壤生物指标[J].中国农业科学,2000,33(1):68-75.

[15]Pankhurst C. Biological indicators of soil health[M]. Wallingford, UK; New York: CAB International, 1997: 97-120.

[16]Raich J W. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. Tellus, 1992, 44B: 81-99.

[17]Bridge B J. The formation of degraded areas in the dry savanna woodlands of northern Australia[J]. Aust J Soil Res, 1983, 21: 91-104.

[18]刘颖,韩士杰,胡艳玲,等.土壤温度和湿度对长白松林土壤呼吸速率的影响[J].应用生态学报,2005,16(9):1581-1585.

[19]施政,汪家社,何容.武夷山不同海拔土壤呼吸及其主要调控因子[J].生态学杂志,2008,27(4):563-568.

[20]周玉梅,韩士杰,郑俊强,等.CO₂浓度升高对森林土壤微生物呼吸与根(际)呼吸的影响[J].植物生态学报,2007,31(3):386-393.