

三峡库区不同植被土壤微生物量碳氮磷 生态化学计量特征

贾国梅^{1,2}, 何立¹, 程虎¹, 王世彤¹, 向翰宇¹, 张雪飞¹, 席颖¹

(1. 三峡大学 生物与制药学院, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡地区生态保护与治理国际联合研究中心 三峡大学, 湖北 宜昌 443002)

摘要:土壤微生物通过矿化和固持营养而显著影响土壤肥力。以湖北宜昌点军区三种植被类型(柏树、橘树、菜地)的土壤作为研究对象,对土壤微生物量碳氮磷及其生态化学计量进行了研究,探讨了不同植被覆盖土壤微生物量碳氮磷特征及它们之间的联系。结果表明:不同植被覆盖显著改变土壤微生物量碳氮磷含量,土壤微生物量碳(MBC)、氮(MBN)都是柏树地显著大于柑橘地和菜地,而菜地和柑橘地之间无显著性差异。土壤微生物量磷(MBP)的大小顺序为菜地>柏树地>橘树地。相关性分析的结果表明土壤有机碳、全氮和微生物量碳氮互相之间具有显著的正相关性($p<0.01$),土壤全磷与土壤微生物量磷之间也具有显著的正相关性($p<0.01$),这意味着土壤微生物量可以作为土壤肥力变化的指标。三种植被类型的土壤 MBC/MBN 之间都无显著性差异,而土壤 MBC/MBP 和 MBN/MBP 的变化顺序是橘树地>柏树地>菜地。MBC/MBP 和 MBN/MBP 与 MBP 之间具有显著的负相关性($p<0.01$),而微生物碳氮与 MBC/MBN, MBN/MBP 和 MBC/MBP 之间都无显著的相关性。这意味着土壤 MBC/MBP 和 MBN/MBP 的变化主要与微生物量磷具有显著的关系。

关键词:生态化学计量; 植被覆盖; 微生物量碳; 微生物量氮; 微生物量磷

中图分类号: S154.36

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)04-0023-05

Ecological Stoichiometry Characteristics of Soil Microbial Biomass Carbon, Nitrogen and Phosphorus Under Different Vegetation Covers in Three Gorges Reservoir Area

JIA Guomei^{1,2}, HE Li¹, CHENG Hu¹, WANG Shitong¹, XIANG Hanyu¹, ZHANG Xuefei¹, XI Ying¹

(1. College of Biological and Pharmaceutical Sciences, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 2. International Center for Ecological Protection and Management in the Three Gorges Area, Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: Microbial mineralization and immobilization of nutrients strongly influence soil fertility. Three vegetation types (cypress site, citrus tree site and vegetable site) were chosen to determine characteristics of Soil Microbial Biomass Carbon (MBC), Nitrogen (MBN) and Phosphorus (MBP) and their relationship in Dianjun, Yichang, Hubei. The results showed that the contents of soil microbial biomass C (MBC) and N (MBN) of cypress site were significantly higher than those of vegetable site and citrus tree site which were not significant different, microbial biomass P (MBP) followed the order: vegetable site > cypress site > citrus tree site. Soil organic carbon and total nitrogen showed a significant positive relationship with MBC, N ($p < 0.01$). Soil total P had a significant positive relationship with MBP ($p < 0.01$). This indicated that soil microbial biomass was a sensitive indicator of soil fertility. Although soil MBC/MBN had no significant difference among three vegetation covers, MBC/MBP and MBN/MBP followed as the order: citrus tree site > cypress site > vegetable site. MBP showed a significant positive relationship with soil MBC/MBP and MBN/MBP whereas MBC, N had no significant relationship with MBC/MBN, MBN/MBP and MBC/MBP, indicating that the changes in MBC/MBP and MBN/MBP were mainly affected by soil MBP.

Keywords: stoichiometry; vegetation cover; MBC; MBN; MBP

生态化学计量学是研究生态系统能量平衡和多重化学元素平衡的科学,其主要强调碳氮磷三种重要组成元素的关系。碳氮磷的生态化学计量影响生态系统结构和生物地球化学循环^[1]。土壤微生物量是活的土壤有机质部分,是土壤养分特别是氮和磷等的“源”和“库”。土壤微生物量通过固持和矿化而控制土壤生态系统碳氮磷的流量^[2]。因而研究土壤微生物量碳氮磷的生态化学计量特征对于理解土壤生态系统的限制性营养具有重要意义。

生态化学计量的问题之一是生物体是否是内稳态还是非内稳态。如果生物体的 C : N : P 不受食物源化学组成的影响,那么这个生物体是内稳态的;如果生物体的 C : N : P 随着食物源的化学组成的变化而变化,那么它就是非内稳态的^[3]。然而,目前对土壤微生物量碳氮磷生态化学计量特征的研究结果并不一致^[4]。Cleveland and Liptzin^[5]报道全球平均土壤微生物量 C : N : P 的比值为 60 : 7 : 1,认为全球土壤微生物 C : N : P 是内稳态的。但是 Tischer 等^[6]报道土壤微生物量 C : N : P 在 11 : 1 : 1.93 : 10 : 1,是非内稳态的。

三峡库区由于复杂的地形条件和自然地质条件,加之人类不合理的土地利用,水土侵蚀严重,导致土壤退化。而植被的存在能够截获和储藏水分^[7],通过凋落物归还土壤营养物质,所以,植被覆盖是决定水土流失和改善土壤质量的最为重要的因素。然而不同的植被覆盖对土壤质量影响不同。这是由于不同植被的凋落物的质和量、根分泌物以及营养吸收不同,影响土壤微生物群落的活性,进而影响土壤微生物量碳氮磷的循环^[8]。本研究选择三峡库区的三种植被类型(柏树地、橘树地和菜地)作为研究对象,研究其土壤微生物量碳氮磷及其生态化学计量特征,可为三峡库区的植被恢复提供一定的理论依据。

1 研究地区和研究方法

1.1 研究区的概况

研究地点位于三峡库区首市宜昌市点军区退耕还林区内。采集点为同一座山,山顶为次生柏树林,山麓为橘树林,山下平地为菜地。该区东经 110°15′—112°04′、北纬 29°56′—31°34′,年平均水量为 992.1~1 404.1 mm。雨水丰沛,多在夏季,比较长的降水过

程都发生在 6—7 月份,雨热同季,全年积温较高,无霜期较长,年平均气温为 13.1~18℃。土壤类型都为黄棕壤。

1.2 研究方法

选择柏树、柑橘树和菜地的土壤作为调查研究的对象。分别在每个样地选取三个样方,柏树地和橘树地的样方为 10 m×10 m,菜地的样方为 1 m×1 m。再在每个样方内用土钻随机取 0—10 cm 土层的土样按“S”形布设取样点数 5 个,混合为一个样,迅速捡去枯枝落叶后分为两部分,一部分自然风干用于土壤有机碳、全氮和全磷的分析。另一部分过 2 mm 的筛子后,放入 4℃ 的冰箱冷藏,用于土壤微生物碳氮磷的测定。

土壤有机碳采用重铬酸钾氧化—稀释热法分析,土壤全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定,土壤全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 法测定,土壤微生物量碳氮磷采用熏蒸浸提法测定。

试验数据的处理比较用 Turkey's-b 单因素方差分析,相关性分析用 Pearson's test 分析,在 SPSS 11.5 软件上分析。

2 结果与分析

2.1 不同植被土壤有机碳、全氮和全磷含量及其生态化学计量比

不同植被土壤有机碳(OC)、全氮(TN)和全磷(TP)含量的变化范围分别在 8.2~12.5 g/kg^[9], 1.14~1.82 g/kg 和 0.38~0.66 g/kg。土壤全氮和有机碳的变化相似,都是柏树地的显著高于菜地和橘树地的,而橘树地和菜地的土壤有机碳无显著性的差异。而全磷含量是菜地的最高,其次为橘树地的,柏树地的最低,这可能是由于菜地和橘树地为农田,农民长期施用磷肥,而柏树地从未施用过磷肥的缘故。本研究中,土壤碳氮比的变化范围在 6.45~7.18,土壤碳磷比在 13.49~33.19 变化,土壤氮磷比在 2.09~4.82 变化。方差分析的结果表明,三种植被的土壤 C/N 无显著性的差异,C/P 和 N/P 都是柏树地的显著的大于橘树地和菜地的,橘树地的 C/P 显著大于菜地的,而 N/P 在橘树地和菜地无显著性的差异,这说明土壤 C/N 具有内稳态,而土壤 C/P 和 N/P 随着植被的变化具有一定的变化(表 1)。

表 1 不同植被土壤碳氮磷含量和其生态化学计量比

样地	有机碳/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	C/N	C/P	N/P
菜地	8.9±0.15b	1.38±0.02b	0.66±0.01a	6.45±0.09a	13.49±0.17c	2.09±0.05b
橘树地	8.2±0.42b	1.14±0.03b	0.46±0.01b	7.18±0.21a	17.81±0.47b	2.48±0.03b
柏树地	12.5±0.1a	1.82±0.11a	0.38±0.003c	6.93±0.43a	33.19±0.49a	4.82±0.26a

2.2 土壤微生物量碳氮磷特征

土壤微生物量虽然只占土壤营养的一小部分,但是是土壤中最活跃的土壤营养库^[10]。土壤微生物量反映微生物固持碳、氮和磷的量。微生物量的降低导致营养的矿化,微生物量的提高引起营养的固持^[11]。本研究中,土壤微生物量碳(MBC)^[9]和微生物量氮(MBN)的变化规律相似,都是柏树地的显著大于菜地和橘树地的,而菜地和橘树地无显著性的差异。但是土壤微生物量磷(MBP)的变化规律与微生物量碳氮不同,其变化顺序是菜地>柏树地>橘树地,单因素方差的分析的结果也表明,三者之间具有显著性的差异。

这些结果意味柏树地土壤微生物固持碳氮的能力显著大于菜地和橘树地。这与赵彤等^[12]以及蒋跃利等^[13]的研究结果相似。他们的研究结果都是林地的土壤微生物量量碳氮大于农田的。柏树林地由于受人类干扰相对比较少,土壤蓄水,透气性良好,土壤有机碳和全氮含量最高,土壤微生物固持的碳氮也最高;橘树地和菜地由于长期受人为干扰,有机物质矿化剧烈,加之植物残体等每年都被移出农田,土壤有机碳和全氮含量较低,进而导致菜地和橘树地土壤中微生物固持的碳氮含量较低。土壤微生物固持磷的能力却是菜地>柏树地>橘树地。这与蒋跃利等^[13]的研究结果相似。

他们的研究结果也表明,农田土壤微生物量磷含量较高。菜地最高的土壤微生物量磷可能与土壤全磷含量最高有关。而橘树地虽然土壤全磷含量高于柏树地,但是微生物磷含量却显著小于柏树地,这可能是由于柏树地虽然全磷含量最低,但是由于土壤有机质最丰富,土壤微生物活性强,使得土壤微生物固持磷的能力提高(图1)。

2.3 土壤微生物碳氮磷生态化学计量特征

土壤微生物碳氮比的变化范围为6.67~8。我们的研究结果略低于其他研究结果的微生物碳氮比值(8~12)^[14-15]。本研究中,三个样地的MBC/MBN之间并无显著性的差异,这与Tischer et al^[6]的研究结果相似,但是与Xu等^[16]的研究结果不同。Xu等报道,土壤微生物碳氮比从局地到生物圈具有可变性^[16]。

柏树地处于山顶,橘树地处于山麓,而菜地处于坡地,这说明土壤MBC/MBN既不受植被变化的影响,也不受海拔梯度变化的影响,这进一步意味着土

壤MBC/MBN可能具有相对一致的稳定性。土壤微生物碳磷比(11.44)和氮磷比(1.79)都是橘树地的最大,其次是柏树地的[MBC/MBP(5.41),MBN/MBP(0.69)],菜地的最低[MBC/MBP(0.81),MBN/MBP(0.11)]。这意味着MBC/MBP和MBN/MBP受植被和海拔的影响较大。橘树地的MBN/MBP和MBC/MBP都最大,这意味着橘树的生长发育受到磷素营养的限制。研究表明,土壤微生物氮磷比可作为生态系统限制性营养的指标^[5]。与MBC/MBN相比,MBN/MBP和MBC/MBP对于理解陆地生态系统限制性营养具有更加重要的意义^[5]。植被类型的变化显著的影响土壤MBN/MBP和MBC/MBP^[5]。土壤MBN/MBP和MBC/MBP随植被类型变化的机制可能与不同植被的凋落物数量和质量有关,其机制仍需进一步研究^[5]。本研究中,土壤微生物C:N:P的变化范围在0.8:0.11:1,10.93:1.69:1,大小顺序为橘树地>柏树地>菜地。我们的研究结果说明三峡库区土壤微生物C:N:P可能是非内稳态的,且我们的研究结果低于Cleveland and Liptzin^[5]和Tischer et al^[6]的研究结果(图2)。

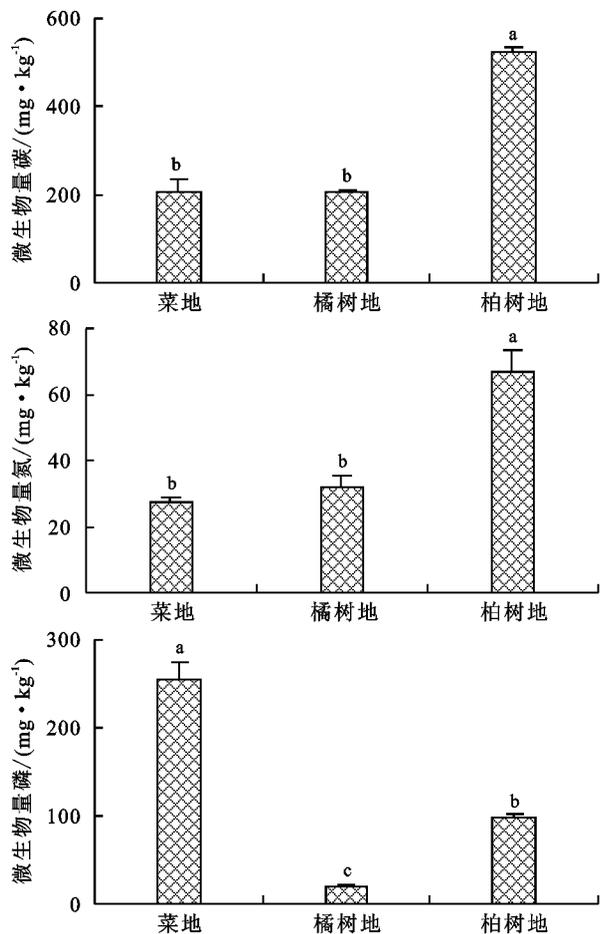


图1 不同植被覆盖的土壤微生物量碳氮磷

2.4 土壤微生物量碳氮磷比与土壤碳氮磷比的相关性分析

土壤微生物量碳氮和土壤有机碳及其全氮都具有显著的正相关性($p < 0.01$),与全磷具有显著的负相关性($p < 0.01$),但是微生物量磷仅仅与土壤全磷具有显著的正相关性,这说明土壤微生物量碳氮大小更多的与土壤碳氮磷含量紧密相关,而土壤微生物量磷的变化更多的受土壤磷的影响。

研究报道,土壤微生物量碳氮与土壤有机碳及其全氮具有紧密的相关性^[17-18],这意味着土壤有机质是土壤微生物量碳氮积累的重要因素。因而,土壤肥力和土壤微生物量具有紧密的关系^[19]。这说明土壤微生物量碳、氮、磷可以作为土壤肥力变化的指标。然而土壤微生物量碳和微生物量氮与 MBP, MBC/MBN, MBN/MBP 和 MBC/MBP 都无显著的相关性。这与前人的研究结果并不相同,已有研究表明土壤微生物量碳磷比与土壤有机质质量相关,土壤中有有效氮、有效磷越丰富则土壤微生物量碳氮比、碳磷比值越低^[5]。土壤 MBP 与 MBC/MBP 和 MBN/MBP 具有显著的负相关性($p < 0.01$),但是与 MBC/MBN 无显著的相关性。这意味着土壤微生物量碳磷比和微生物量氮磷比的变化主要与微生物量磷具有显著的关系。土壤和微生物量的碳氮比、碳磷比和氮磷比互相并无显著的相关性(表 2)。

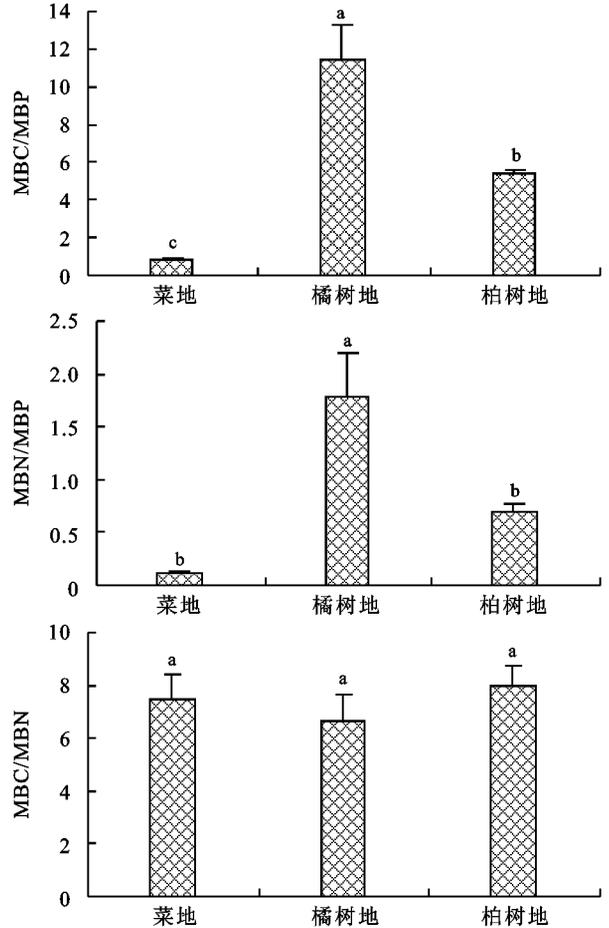


图 2 不同植被覆盖的土壤微生物量碳氮磷的生态化学计量比

表 2 土壤微生物量碳氮磷与土壤碳氮磷的相关性

参数	OC	TN	TP	C/N	C/P	N/P	MBC	MBN	MBP
TN	0.92**								
TP	-0.58	-0.41							
MBC	0.96**	0.88**	-0.70*	0.12	0.96**	0.96**			
MBN	0.91**	0.90**	-0.73*	0.00	0.93**	0.97**	0.93**		
MBP	-0.05	0.14	0.80**	-0.58	-0.39	-0.32	-0.19	-0.29	
MBC/MBN	0.32	0.22	-0.07	0.58	0.05	-0.02	0.41	0.06	0.21
MBC/MBP	-0.17	-0.35	-0.58	0.61	0.14	0.06	-0.07	0.04	-0.91**
MBN/MBP	-0.21	-0.38	-0.46	0.10	0.26	0.21	-0.16	0.02	-0.84**

注:**表示在 0.01 水平上显著,*表示在 0.05 水平上显著。

3 讨论和结论

与全球不同生态系统土壤微生物量碳氮比的平均范围 8~12 相比^[14-15],本研究中三种植被的土壤微生物量碳氮比均较低,但是在 Tischer 等^[6]报道的平均范围内(4.6~10.3),且三种植被的土壤微生物量碳氮比相对稳定性验证了不同生态系统土壤微生物量碳氮比相对稳定的结果^[5]。不同植被土壤微生物量碳氮比相对稳定也符合 Sterner 和 Elser^[3]的假设和 Cleveland 和 Liptzin^[5]的研究结果,即资源的化学计量的变化对生物体的化学计量没有影响。有研究报道,土壤微生物量碳磷比与土壤有机质的质量密

切相关,土壤微生物量碳磷比值越小,土壤有机质中的有效磷越丰富^[20-22]。橘树地的土壤微生物量碳磷比和氮磷比都显著高于柏树地和菜地,这可能是由于橘树地土壤磷的有效性较低显著限制了微生物活性和其他的生态系统功能^[23-24],菜地的土壤磷的生物有效性反而较高。本研究中,土壤碳氮磷比和微生物量氮磷比无显著的相关性,这与 Cleveland 和 Liptzin^[5]和 Li 等^[25]研究结果相似,但是土壤碳氮磷比和微生物量的碳氮比及其碳磷比并无显著的正相关性,这却与 Li 等^[25]的研究结果相反。Li 等^[25]的研究结果表明,土壤碳氮磷比和微生物量的碳磷比及其碳氮比具有显著的正相关性。这可能意味着本研究中三种植

被土壤微生物量元素比并不随着土壤元素比的变化而变化。

柏树由于人为扰动少,凋落物归还量大于橘树地和菜地,结果其土壤微生物量碳氮含量大于橘树地和菜地。橘树地和菜地的土壤微生物量碳氮之间都无显著性差异,但是菜地土壤微生物量磷显著大于橘树地的。三种植被的土壤微生物量碳氮比并无显著性的差异,这可能意味着土壤微生物量碳氮比不受植被变化的影响,具有内稳态特征;土壤微生物量碳磷比和微生物量氮磷比的大小顺序是橘树地>柏树地>菜地。这意味着微生物量碳磷比和微生物量氮磷比受植被的影响较大。与微生物量碳氮比相比,微生物量的氮磷比和微生物量氮磷比对于理解陆地生态系统限制性营养具有更加重要的意义。

参考文献:

- [1] Sistla S A, Schimel J P. Stoichiometric flexibility as a regulator of carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems under change[J]. *New Phytologist*, 2012,196(1):68-78.
- [2] Mazzarino M J, Szott L, Jimenez M. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agroecosystems [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993,25(2):205-214.
- [3] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere [M]. Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2002.
- [4] Heuck C, Weig A, Spohn M. Soil microbial biomass C : N : P stoichiometry and microbial use of organic phosphorus [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015,85:119-129.
- [5] Cleveland C C, Liptzin D. C : N : P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass [J]. *Biogeochemistry*, 2007,85(3):235-252.
- [6] Tischer A, Potthast K, Hamer U. Land-use and soil depth affect resource and microbial stoichiometry in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador [J]. *Oecologia*, 2014,175(1):375-393.
- [7] Aston A R. Rainfall interception by eight small trees [J]. *Journal of Hydrology*, 1979,42(3):383-396.
- [8] Priha O, Grayston S J, Hiukka R, et al. Microbial community structure and characteristics of the organic matter in soils under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2001,33(1):17-24.
- [9] 贾国梅,张宝林,刘成,等. 三峡库区不同植被覆盖对土壤碳的影响[J]. *生态环境*, 2008,17(5):2037-2040.
- [10] Anderson T H, Domsch K H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1989,21(4):471-479.
- [11] McGill W B, Cannon K R, Robertson J A, et al. Dynamics of soil microbial biomass and water-soluble organic C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1986,66(1):1-19.
- [12] 赵彤,闫浩,蒋跃利,等. 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *生态学报*, 2013,33(18):5615-5622.
- [13] 蒋跃利,赵彤,闫浩,等. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *水土保持通报*, 2013,33(6):62-68.
- [14] Paul E A, Clark F E. *Soil microbiology and biochemistry* [M]. San Diego: Academic Press, 1989.
- [15] Wright C J, Coleman D C. Cross-site comparison of soil microbial biomass, soil nutrient status, and nematode trophic groups[J]. *Pedobiologia*, 2000,44(1):2-23.
- [16] Xu X, Thornton P E, Post W M. A global analysis of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in terrestrial ecosystems[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2013,22(6):737-749.
- [17] Arunachalam A, Pandey H. Ecosystem restoration of Jhum fallows in Northeast India: microbial C and N along altitudinal and successional gradients[J]. *Restoration Ecology*, 2003,11(2):168-173.
- [18] Jia G, Cao J, Wang C, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziulin, northwest China[J]. *Forest Ecology and Management*, 2005,217(1):117-125.
- [19] Brookes P C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1995,19(4):269-279.
- [20] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [21] Breuer L, Huisman J A, Keller T, et al. Impact of a conversion from cropland to grassland on C and N storage and related soil properties: Analysis of a 60-year chronosequence[J]. *Geoderma*, 2006,133(1):6-18.
- [22] 蒲洁,齐雁冰,王茵茵,等. 农牧交错带不同植被群落对土壤微生物量碳氮磷的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2015,33(4):279-285.
- [23] Cleveland C C, Townsend A R. Nutrient additions to a tropical rain forest drive substantial soil carbon dioxide losses to the atmosphere[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006,103(27):10316-10321.
- [24] Cleveland C C, Townsend A R, Schmidt S K. Phosphorus limitation of microbial processes in moist tropical forests: Evidence from short-term laboratory incubations and field studies[J]. *Ecosystems*, 2002,5(7):680-691.
- [25] Li Y, Wu J, Liu S, et al. Is the C : N : P stoichiometry in soil and soil microbial biomass related to the landscape and land use in southern subtropical China [J] *Global Biogeochemical Cycles*, 2012,26(4):1-14.