贾国梅,岳云飞,王世彤,等. 茶树根际土壤微生物碳氮磷及其生态化学计量[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):125 – 128.
doi:10.15889/j.issn.1002 – 1302.2018.20.032

茶树根际土壤微生物碳氮磷及其生态化学计量

贾国梅[1,2], 岳云飞[1], 王世彤[1], LIU Xiao[3], 向瀚宇[1], 瞿红云[1]
(1. 三峡大学生物与制药学院,湖北宜昌 443002; 2. 湖北三峡地区生态保护与治理国际联合研究中心,湖北宜昌 443002;
3. Pall Corporation,NY,USA 11050)

摘要:土壤微生物生物量碳氮磷(分别简称 MBC、MBN、MBP)生态化学计量特征是评价陆地生态系统营养限制的一个有用的工具。以湖北省宜昌市五峰县海拔 800 m 处不同年龄(3 年、8 年、40 年)茶树的根际土壤作为研究对象,分析茶树根际土壤微生物量碳氮磷含量及它们的生态化学计量特征的变化。结果表明,根际土壤碳氮磷含量随着茶树林龄的延长而提高,但是在 8 年后逐渐趋于稳定。根际土壤微生物生物量碳氮磷含量都随着年限的延长升高,8 年达到最大值,随后趋于稳定。随着茶龄的延长,根际土壤碳氮磷计量比、MBC/MBN 和 MBC/MBP 都无显著性的变化,而 MBN/MBP 是 40 年的显著大于其他 2 个样地,这说明茶树根际土壤碳氮磷生态化学计量特征、MBC/MBN 和 MBC/MBP 都具有内稳态特征,但是 MBN/MBP 比值却是茶树生长后期(40 年)显著大于前期(8 年及以前)。这意味着根际土壤 MBN/MBP 可作为茶树根际微生态系统限制性营养的指标,茶树根际土壤有效磷在茶树生长后期(40 年)可能成为限制性元素。

关键词:土壤碳氮磷;微生物碳氮磷;生态化学计量;茶树根际
中图分类号: S154.1;S571.106　　**文献标志码**: A　　**文章编号**:1002 – 1302(2018)20 – 0125 – 04

生态化学计量学是研究生态系统功能和动态的一门学科,主要强调碳(C)、氮(N)、磷(P)循环及其组成关系[1],对 C、N、P 化学计量比的研究,可以使营养物质的复杂性变得简单化[2]。土壤微生物是陆地生态系统的重要组成部分,对土壤养分的固持、矿化,以及土壤养分循环具有重要的驱动和调节作用,在土壤肥力和有机质转化过程中扮演重要的角色[3]。土壤微生物的数量、组成、生理活动的改变会影响它们的功能,进而影响生态系统生物地球化学循环的过程[4]。土壤微生物可通过调整自身的生态化学计量比以及对资源的利用效率来适应周围环境的改变[5]。微生物对土壤养分的固持和矿化可以通过土壤微生物量生态化学计量特征来反映[6],因此土壤微生物生物量碳氮磷生态化学计量特征是评价陆地生态系统营养限制的一个有用的工具[7]。

茶树是湖北宜昌重要的经济作物,五峰采花毛尖、邓村绿茶和宜红茶品质闻名全国,然而目前关于茶园土壤的报道主要集中在闽、浙、皖等地区,且主要研究茶树土壤养分特性、微生物活性以及微生物群落结构特征[8],对于茶树土壤碳氮磷生态化学计量特征的研究相对较少,对茶树根际土壤微生物生物量碳氮磷及其生态化学计量特征的研究报道则更为少见。因此,本研究以五峰茶园为研究对象,分析同一海拔不同茶龄茶树根际土壤微生物生物量碳氮磷含量及其生态化学计量特征,揭示茶树根际土壤微生物生物量碳氮磷生态化学计量比,探明影响茶树可持续生长的限制性营养元素,以期为茶园的管理、增产和生态可持续发展提供一定的理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究区域与样地概况

研究地点位于湖北省宜昌市五峰县采花乡采花台茶场(110°24′E,30°8′N,海拔 800 m),属亚热带温湿季风气候。年平均气温为 13 ℃,气候较为温和,年均降水量 1 400 mm 以

收稿日期:2017 – 05 – 19
基金项目:国家自然科学基金(编号:51541903);三峡大学茶叶研究中心开放基金(编号:2015CY3)。
通信作者:贾国梅(1965—),女,甘肃永登人,博士,教授,研究方向为土壤微生物生态学。E – mail:jjjgm@126.com。

[10]伍　丽,余有本,周天山,等. 茶树根际土壤因子对根际微生物数量的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(4):159 – 163.
[11]郑旭霞,敖　存,黄海涛,等. 不同肥料对茶苗移栽成活率及生长势影响[J]. 浙江农业科学,2013(8):946 – 948.
[12]李江涛,钟晓兰,刘　勤,等. 长期施用畜禽粪便对土壤生物化学质量指标的影响[J]. 土壤,2010,42(4):526 – 535.
[13]王海斌,张清旭,陈晓婷,等. 动物源有机肥对茶树根际土壤酸度及微生物的影响[J]. 中国农业科技导报,2017,19(5):115 – 122.
[14]施　娴,刘艳红,张德刚,等. 猪粪与化肥配施对植烟土壤酶活性和微生物生物量动态变化的影响[J]. 土壤,2015,47(5):899 – 903.
[15]贾小红. 有机肥料加工与施用[M]. 北京:化学工业出版社,2010.
[16]关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
[17]宁健美,李贵松,吴林土. 松阳县茶园土壤酸化的现状及改良措施[J]. 茶叶,2009,35(3):169 – 171.
[18]张喜林,周宝库,孙　磊,等. 长期施用化肥和有机肥料对黑土酸度的影响[J]. 土壤通报,2008,39(5):1221 – 1223.
[19]陈伯华,王会金. 羊粪的开发利用[J]. 山西农业(致富科技),2001(7):21 – 22.
[20]陈　梅,陈亚华,沈振国,等. 猪粪对红壤铝毒的缓解效应[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(2):173 – 176.

上,年 10 ℃以上有效积温为 2 442 ~ 3 510 ℃。

1.2　样品采集与处理

2016 年 4 月份取样,此时正是采摘春茶的最佳时间,取样更有代表性。分别选取海拔 800 m 处 3、8、40 年茶龄的根际土壤为研究对象,3 个年龄的茶树样地之间的距离不到 1 m,土壤都为黄棕壤。根际土壤采用掘根抖落法:分别在每个林龄的茶树区域随机选择 6 株茶树,相邻 2 株茶树为 1 个样地重复,即每个林龄的茶树根际有 3 个样地的重复。然后用取土器在茶树根际周围取出长约 50 cm(直径 8 cm)的土柱,小心地取出 0 ~ 20 cm 土柱内的细根,轻轻抖落附在根上的 3 mm 以内的土壤即为根际土壤,采集每 2 株平均木根际土壤混合为 1 个样品,分别充分混匀。迅速捡去枯枝落叶后分为 2 部分,一部分自然风干用于土壤理化特性的测定,另一部分于 0 ~ 4 ℃ 冰箱保存用于土壤微生物碳氮磷的分析。

1.3　测定方法

土壤含水量采用烘干法测定;土壤 pH 值采用 1∶1 水土浸提后,用酸度计测定;土壤有机碳(OC)含量采用重铬酸钾外加热法测定[9];全氮(TN)含量采用半微量凯氏法测定[9];全磷(TP)含量采用硫酸高氯酸 - 钼锑抗比色法分析[10];微生物量碳氮磷采用三氯甲烷熏蒸浸提法测定[11]。

1.4　统计方法

不同年限的茶树根际土壤指标采用 Turkey's - b 单因素方差分析,指标之间的关系采用 Pearson's test 和线性回归方程分析,在 SPSS 11.5 软件上进行。

2　结果与分析

2.1　茶树根际土壤生境因子

随着茶龄的延长,根际土壤含水量呈现出显著的先升高,8 年达到最大值,随后又显著降低的趋势(表 1)。根际土壤 pH 值变化范围在 3.83 ~ 4.81 之间,且随着茶龄的延长呈现显著降低趋势,这意味着茶树的长期生长,导致土壤酸化。

表 1　茶树根际土壤生境因子

林龄(年)	含水量(%)	pH 值
3	33.58 ± 0.43b	4.81 ± 0.104a
8	35.45 ± 0.09a	4.30 ± 0.015b
40	33.74 ± 0.13b	3.83 ± 0.082c

注:同列不同小写字母表示不同林龄间差异显著($P < 0.05$)。表 2、表 3 同。

2.2　根际土壤碳氮磷和微生物生物量碳氮磷

根际土壤有机碳、全氮、全磷含量变化范围分别为 22.00 ~ 37.46、2.53 ~ 3.53、0.70 ~ 1.04 g/kg(表 2)。根际土壤有机碳和全氮含量的排序为 40 年 > 8 年 > 3 年,全磷含量的排序是 8 年 > 40 年 > 3 年,但是单因素方差分析的结果表明,根际土壤有机碳、全氮和全磷含量都是 3 年的显著小于 40 年和 8 年的样地,而 8 年和 40 年样地之间并无显著性差异。这说明根际土壤有机碳、全氮和全磷含量在 8 年的样地达到最大值,其后逐渐趋于稳定。这可能是由于茶树地长期施肥不但提高了茶树的生产力,还提高了土壤碳氮磷含量,另外茶树的凋落物归还土壤,也提高了土壤有机质含量,然而茶树生长前期(8 年及以前)有机质含量提高显著,而后期并无显著性的提高。

根际土壤微生物生物量碳氮磷含量的变化范围分别是 208.56 ~ 474.09、94.16 ~ 222.57、4.48 ~ 13.66 mg/kg(表 3)。根际土壤微生物生物量碳氮磷含量随着茶树林龄的延长而提高,8 年达到最大值,其后又呈现显著的降低趋势。这说明茶树根际土壤微生物生物量比土壤有机质对土壤肥力变化的响应更为敏感。线性回归分析的结果表明,土壤碳氮磷含量互相之间具有显著的正相关性,土壤微生物量碳氮磷含量互相之间也具有显著的正相关性(图 1)。相关性分析的结果表明,土壤含水量与微生物生物量碳氮磷含量之间都具有显著或极显著的正相关性。土壤 pH 值与土壤有机碳和全氮含量之间具有极显著的负相关性($P < 0.01$)(表 4)。

表 2　不同林龄茶树根际土壤碳氮磷含量及其生态化学计量比

林龄(年)	OC 含量(g/kg)	TN 含量(g/kg)	TP 含量(g/kg)	C/N	C/P	N/P	C∶N∶P
3	22.00 ± 1.88b	2.53 ± 0.04b	0.70 ± 0.04b	8.70 ± 0.74a	31.81 ± 2.99a	3.66 ± 0.17a	81.19∶8∶1
8	36.19 ± 0.79a	3.48 ± 0.12a	1.04 ± 0.059a	10.43 ± 0.37a	34.94 ± 1.98a	3.35 ± 0.08a	89.90∶7.41∶1
40	37.46 ± 0.48a	3.53 ± 0.057a	0.95 ± 0.025a	9.79 ± 0.83a	39.49 ± 1.24a	3.72 ± 0.12a	101.86∶8.23∶1

表 3　不同林龄茶树根际土壤微生物碳氮磷含量及其生态化学计量比

林龄(年)	MBC 含量(mg/kg)	MBN 含量(mg/kg)	MBP 含量(mg/kg)	MBC/MBN	MBC/MBP	MBN/MBP	MBC∶MBN∶MBP
3	285.68 ± 15.28b	94.16 ± 9.37c	5.86 ± 0.25b	3.07 ± 0.23a	48.67 ± 0.62a	16.05 ± 1.14b	126∶36∶1
8	474.09 ± 55.40a	222.57 ± 0.40a	13.66 ± 1.00a	3.10 ± 0.05a	34.94 ± 4.22a	16.46 ± 1.18b	90∶36∶1
40	208.56 ± 2.02b	132.40 ± 9.931b	4.48 ± 0.44b	3.63 ± 0.08a	47.57 ± 4.94a	30.36 ± 4.25a	120∶65∶1

注:MBC 为微生物生物量碳,MBN 为微生物生物量氮,MBP 为微生物生物量磷。下同。

2.3　根际土壤碳氮磷和微生物生物量碳氮磷浓度

本研究中,3 种茶龄土壤 C/N 的变化范围是 8.70 ~ 10.43,C/P 的变化范围是 31.81 ~ 39.49,N/P 的变化范围是 3.35 ~ 3.72(表 2)。方差分析表明,3 种茶龄土壤的 C/N、C/P、N/P 均无显著差异,这意味着土壤碳氮磷生态化学计量比具有内稳态的特征。本研究中,土壤微生物碳氮比(MBC/MBN)的变化范围为 3.07 ~ 3.63,微生物碳磷比(MBC/MBP)的变化范围为 34.94 ~ 48.67,微生物氮磷比(MBN/MBP)的变化范围为 16.05 ~ 30.36(表 3)。单因素方差分析的结果表明,3 种茶龄土壤 MBC/MBN 和 MBC/MBP 之间都无显著性差异,而 MBN/MBP 却是 40 年显著大于 3 年和 8 年,3 年和 8 年之间无显著性的差异,这说明茶树生长到一定林龄后,根际土壤有效磷成为茶树的限制性元素。线性回归分析表明,土壤C/P与MBC/MBP、N/P与MBN/MBP之间、C/N与MBC/

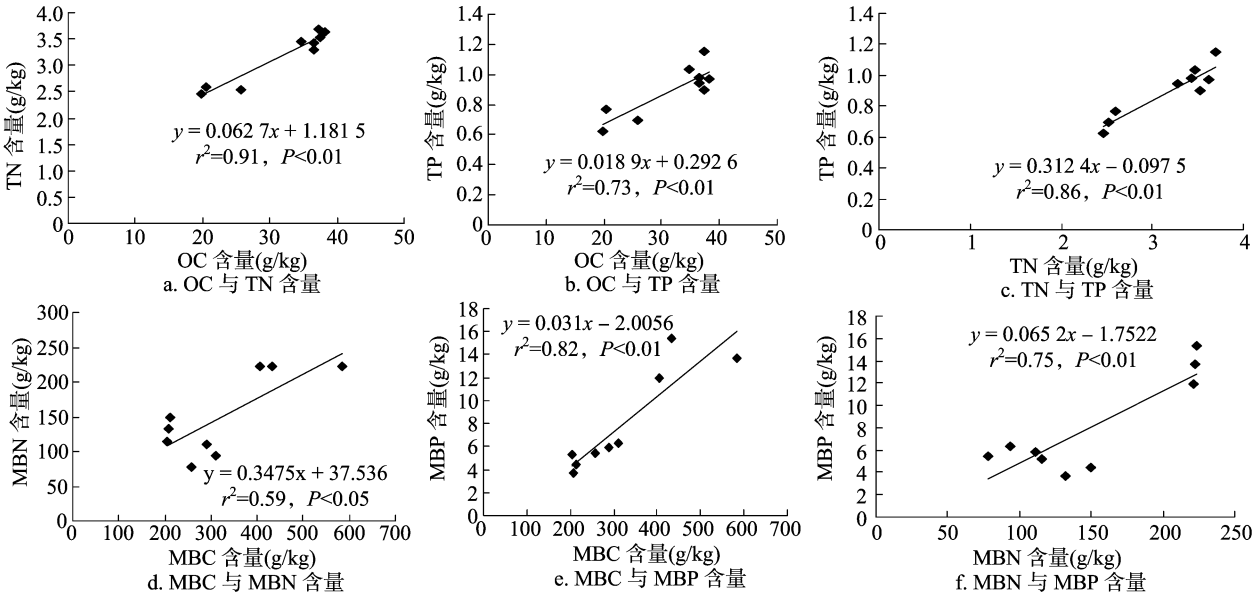


图1　土壤碳氮磷含量之间的回归分析和微生物生物量碳氮磷含量之间的回归分析

表 4　土壤生境因子与土壤碳氮磷含量及其微生物生物量碳氮磷含量之间的相关性

指标	OC 含量	TN 含量	TP 含量	MBC 含量	MBN 含量	MBP 含量
含水量	0.19	0.18	0.48	0.82**	0.70*	0.90**
pH 值	−0.84**	−0.84**	−0.67	0.22	−0.26	0.11

注：“*”“**”分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

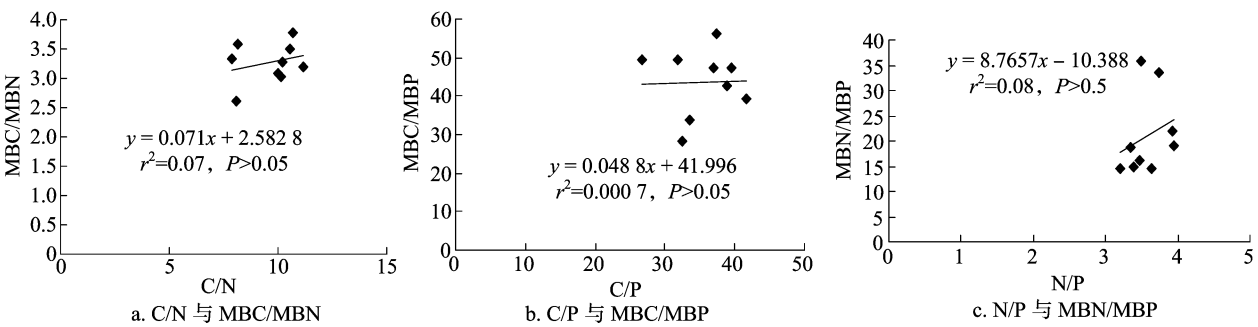


图2　土壤碳氮磷比和微生物生物量碳氮磷比之间的回归分析

MBN 之间都无显著的相关性(图 2)。

3　讨论

3.1　土壤生境因子对根际土壤微生物生物量的影响

土壤微生物是土壤养分的源和汇,它们可以分解土壤有机物,提供陆地植物生长所需的 N 和 P,因此与植物营养密切相关[12]。土壤微生物生理、组成和活性的改变可能影响它们的功能,进一步影响生态系统地球化学循环的过程[13]。

本研究中,茶树根际土壤微生物量碳氮磷含量都表现出先增加后降低的趋势。这可能是由于根际土壤碳源的逐年增加为微生物生长提供了足够的养分,土壤微生物大量繁殖,微生物生物量增大,8 年后又下降可能是因为土壤酸化严重,抑制了微生物的生长[14],结果导致根际土壤微生物生物量下降。但是本研究中,土壤 pH 值与土壤有机碳和全氮含量之间具有显著的负相关性,而与土壤微生物碳氮磷含量之间并无显著的相关性,这说明茶树根际土壤 pH 值可能是通过影响微生物群落的资源进而对微生物固持营养物质产生影响。本研究的结果与其他研究是相似的[7,15]。干旱胁迫也影响微生物的生理机能,低的含水量使微生物脱水,可能最终导致其死亡。由于干旱胁迫,30% 的碳源可以被限制在细胞质中,这会降低微生物的活动和数量的增长[16]。Nielsen 等观察到,高的水分含量增加了养分的可利用性以及微生物的增长量,进而增加了微生物对 N 和 P 的固持[17]。本研究中,8 年的茶树根际土壤含水量显著高于其他样地,其微生物生物量碳氮磷含量也显著高于其他样地,这进一步说明适宜的含水量对土壤微生物固持营养物质具有明显的促进作用。

3.2　根际茶树土壤生态系统限制性营养

与全球土壤 C∶N∶P 计量比 186∶13∶1[7]、287∶17∶1[15] 和中国表层土壤碳氮磷计量比(134∶9∶1)[18] 相比,本研究茶树根际土壤 C∶N∶P 计量比较低(81∶8∶1～102∶8∶1),但是与中国南亚热带地区土壤碳氮磷比(80∶7.9∶1)近似[19]。与全球土壤微生物量 C∶N∶P 计量比(60∶7∶1)[7] 和 42∶6∶1[15] 以及与中国南亚热带地区微生物量 C∶N∶P 计量比(70.2∶6∶1)相比,本研究茶树根际土壤微生物量 C∶N∶P 计量比(90∶36∶1～126.36∶1)较高,但是略高于 Tischer 等的微生物量碳氮磷计量比(11∶1∶1～93∶10∶1)[20]。这可能是由于不同的土地

利用类型,其生态过程和土地管理措施都不同,结果产生了不同的土壤微生物生物量和群落结构[7,21],进而影响了土壤微生物量碳氮磷计量比。

本研究中,虽然茶树根际土壤碳氮磷含量、微生物量碳氮磷含量随着茶树年限的延长发生相应的变化,但是茶树根际土壤碳氮磷比、微生物量碳氮比和碳磷比随着茶龄的延长并无显著性的变化,验证了土壤碳氮磷比、微生物量碳氮比和碳磷比相对稳定的结果[7]。另外,土壤碳氮比与微生物量碳氮比之间也无显著性的相关性,且土壤碳磷比和微生物量碳磷比之间、土壤氮磷比和微生物量氮磷比之间都无显著的相关性,这说明茶树根际资源和分解者的碳氮磷计量比之间具有内稳态的特性[1]。这与 Li 等的研究结果[19]不同,他们的研究结果表明,虽然土壤资源氮磷比与微生物量氮磷比之间无显著的相关性,但是资源碳磷比与微生物量碳磷之间具有显著的正相关性,因而其研究结果表明,土壤微生物量不是内稳态的系统[19]。Cleveland 等认为土壤 MBN/MBP 可作为生态系统限制性指标[7],但是 Xu 等认为 MBN/MBP 可能不适合成为生态系统营养限制的指标。他们认为土壤微生物的生长通常受碳的限制,而不是受氮或者磷的限制[15]。本研究中,根际土壤 MBN/MBP 是 40 年的茶树根际显著大于其他样地,这与 Cleveland 等的研究结果[7]相似,所以根际土壤微生物氮磷比适合作为茶园根际微生态系统限制性营养的指标。

4　结论

随着茶龄的延长,茶树根际土壤有机碳全氮含量逐渐增大,全磷含量先增大后略减小,而根际土壤微生物生物量碳氮磷含量在一定范围内逐渐提高,8 年达到最大值,随后又呈现降低的趋势。这说明土壤微生物量比土壤有机质更能敏感指示土壤质量的变化。土壤碳氮磷含量和土壤 MBC/MBN,MBC/MBP 随着林龄的延长都无显著性的变化,这说明同一海拔不同林龄茶树根际土壤生态化学计量具有内稳态的调控特征,而土壤微生物量氮磷比可作为茶树根际土壤限制性元素的指示指标。

参考文献:

[1] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere[M]. New Jersey, USA: Princeton University Press, 2002.

[2] Fanin N, Fromin N, Buatois B, et al. An experimental test of the hypothesis of non – homeostatic consumer stoichiometry in a plant litter – microbe system[J]. Ecology Letters, 2013, 16(6): 764 – 772.

[3] Anderson T H, Domsch K H. The metabolic quotient for CO_2 (q CO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1993, 25: 393 – 395.

[4] Balser T C, Firestone M K. Linking microbial community composition and soil processes in a California annual grassland and mixed – conifer forest[J]. Biogeochemistry, 2005, 73(2): 395 – 415.

[5] Manzoni S, Trofymow J A, Jackson R B, et al. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter[J]. Ecological Monographs, 2010, 80(1): 89 – 106.

[6] Oberson A, Joner E J, Turner B L, et al. Microbial turnover of phosphorus in soil[M]//Turner B L, Frossard E, Baldwin D S. Organic phosphorus in the environment. Wallingford: CABI, 2005: 133 – 164.

[7] 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.

[8] 林　生,庄家强,陈　婷,等. 福建安溪不同年限茶树土壤养分与微生物 Biologe 功能多样性的差异分析[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1471 – 1477.

[9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 1999: 296 – 338.

[10] 袁可能. 土壤有机矿质复合体研究. Ⅰ. 土壤有机矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究[J]. 土壤学报, 1963, 1(3): 286 – 293.

[11] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17: 837 – 842.

[12] Singh J S, Raghubanshi A S, Singh R S, et al. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna[J]. Nature, 1989, 338: 499 – 500.

[13] Crenshaw C L, Lauber C, Sinsabaugh R L, et al. Fungal control of nitrous oxide production in semiarid grassland[J]. Biogeochemistry, 2008, 87(1): 17 – 27.

[14] 沈　宏,曹志宏,徐志红. 施肥对土壤不同碳形态及碳库管理指数的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 166 – 173.

[15] 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 Biogeography, 2013, 22: 737 – 749.

[16] Schimel J P, Scott W J, Killham K. Changes in cytoplasmic carbon and nitrogen pools in a soil bacterium and a fungus in response to salt stress[J]. Appl Environment Microbiol 1989, 55: 1635 – 1637.

[17] Nielsen P L, Andresen L C, Michelsen A, et al. Seasonal variations and effects of nutrient applications on N and P and microbial biomass under two temperate heathland plants[J]. Appl Soil Ecology, 2009, 42(3): 279 – 287.

[18] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, et al. Pattern and variation of C∶N∶P ratios in China's soils: a synthesis of observation data[J]. Biogeochemistry, 2010, 98: 139 – 151.

[19] 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: 1 – 14.

[20] 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: 375 – 393.

[21] Paul E A, Clark F E. Soil microbiology and biochemistry[M]. San Diego, Calif: Academic, 1996.