

土壤微生物生物量的研究进展

张成霞^{1,2}, 南志标²

(1. 西南林业大学园林学院, 云南 昆明 650224; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:综述了近年来国内外土壤微生物生物量包括微生物生物量碳、微生物生物量氮和微生物生物量磷及其与碳、氮、磷循环方面的研究进展,着重论述了土壤微生物生物量碳、氮、磷在土壤养分转化循环中的重要性,并就种植、轮作、放牧、施肥等措施对土壤微生物生物量的影响进行了探讨。同时,就今后土壤微生物生物量的研究侧重点进行了展望。

关键词:土壤微生物生物量;碳;氮;磷

中图分类号:Q936.96

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2010)06-0050-08

*¹ 土壤微生物是土壤物质循环的调节者,同时也是有机质库和速效养分的一部分,其生物质量称为微生物量。土壤微生物量是指土壤中体积小于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的生物总量,它是活的土壤有机质部分,但大型动物和活的植物体如根系等不包括在内。土壤微生物是生态系统的重要组成部分,土壤微生物量的多少及其变化是土壤肥力高低及其变化的重要依据之一^[1]。在土壤生态系统中,土壤微生物量是土壤有机质和土壤养分(C, N, P, S 等)转化和循环的动力,并参与有机质的分解、腐殖质的形成,调控土壤中能量和养分循环等各个生化过程^[2-3],是重要的植物养分储备库,对植物养分转化、有机质代谢和污染物的降解具有十分重要的作用^[4-5]。微生物量周转时间很快,少于1年^[6]或1~3年^[7]。另一方面,土壤微生物量对环境变化敏感^[8],在短时间内发生大幅度变化,是公认的土壤生态系统变化的预警及敏感指标^[9-10],亦能较早指示生态系统功能的变化^[11]。Carter^[12]将土壤微生物量作为由于耕作措施引起的土壤生物特性变化的指标。微生物生物量已被许多学者用作因人为管理导致土壤变化的灵敏指标之一,故现已成为近年来国内外土壤学研究的热点之一^[13-17]。

1 土壤微生物生物量碳

土壤微生物生物量碳是土壤有机质中活性较高的部分,它是土壤养分重要的源。土壤微生物

生物量碳作为生物指标已被国内外学者进行了广泛的研究^[18-22]。土壤微生物生物量碳具有极高的灵敏性,可以在土壤全碳变化之前反映出土壤微小的变化,如 Holt^[23] 研究报道了澳大利亚东北部两类半干旱草原群落,重度放牧6~8年后土壤有机碳含量没有显著变化,但土壤微生物生物量碳分别下降了51%和24%。

土壤微生物生物量碳在土壤中的绝对数量不大,一般为土壤有机碳的1%~5%^[24-26],但微生物量与生态系统的类型有关。在典型的传统种植禾谷类作物的土壤中,碳含量一般在100~600 mg/kg,而在草地上则高达1500 mg/kg^[27]。土壤微生物碳含量变幅较大,每公顷表土为110~2240 kg,且与土壤有机质呈正相关^[25],我国土壤微生物生物量碳变幅为42~2046 kg/hm²,占土壤有机碳的2%~4%^[26],与国外报道结果十分接近。微生物生物量碳在区别长期与短期土壤处理方面也非常敏感,同时还不受无机氮的直接影响,这是微生物生物量碳用作土壤生物指标的一大优势,尤其对农业生态系统^[27]。

在不同生态环境下的土壤中,微生物生物量碳变化为草地最高,其次是林地,耕地最小,与土

收稿日期:2009-07-21

基金项目:973项目课题(2007CB108902)

作者简介:张成霞(1974-),女,青海乐都人,讲师,博士。

主要从事园林草坪植物研究。

E-mail:chengxia0211@163.com

通信作者:南志标 E-mail:zhibiao@lzu.edu.cn

壤有机质的变化趋势基本一致^[26]。植被类型对土壤微生物生物量碳有很大影响。不同的植被类型因其地上部分生物量的差异使输入到土壤中的有机碳含量明显不同,植被的种类不同其枯落物的质量也不同,以上两个方面均会影响土壤微生物生物量碳的活动。从不同植被对土壤微生物生物量碳影响结果来看,呈现出的一般规律为:从沙漠草原到高草大草原,微生物生物量碳含量从 20 kg/hm² 增加到 1 340 kg/hm²,而森林生态系统处于中间值^[28]。祁连山的不同生态系统土壤微生物生物量碳则表现为山地森林最高(1 005 mg/kg),其次为干草原(568 mg/kg),高寒草甸最低(362 mg/kg)^[22],这是因为植被类型和土壤性质的差异导致土壤微生物生物量碳的差异。内蒙古 4 种不同草原类型土壤微生物生物量碳含量变化为:大针茅(*Stipa grandis*)草原大于羊草(*Leymus chinensis*)草原大于退化冷蒿(*Artemisia frigida*)草原大于沙地稀树草原,说明不同土壤类型及不同植被类型的草原其微生物的活性亦不同,它与土壤有机质含量有一定关系,因为羊草草原和大针茅草原的有机质含量高,故它们土壤微生物生物量碳也高,除沙地稀树草原 10~20 cm 大于表层 0~10 cm 外,其他草原类型土壤微生物生物量碳均随土层的加深而减少^[29]。在退化的喀斯特植被不同恢复演替过程中,土壤微生物生物量碳表现为乔木群落阶段>灌木群落阶段>草本群落阶段>裸地阶段,且与土壤有机碳呈显著正相关^[30],土壤微生物生物量碳的高低也反映了土壤有机碳库的大小,说明土壤肥力在植被恢复过程中也在逐渐提高。子午岭不同植被类型的土壤微生物生物量碳表现为农田>草本>乔木>弃耕地>灌木^[31],农田的微生物生物量碳最大,主要是因为农田中肥料的使用不仅为作物生长提供了营养,也为土壤微生物提供了大量的营养,从而促进了土壤微生物的生长发育。但是广西典型的喀斯特岩溶峰丛洼地景观的土壤微生物生物量碳变化表现为次生林>成熟林>灌木丛>草丛^[32],说明次生林阶段不同树种根系的相互作

用使根系在土壤中镶嵌分布广,根系密度增加,改善了土壤水分、养分的供应状况,从而促进土壤微生物的大量活动,加快了土壤碳元素的循环过程和土壤的矿化过程。土壤微生物生物量碳到成熟林降低可能是土壤可供林木生长的有效营养成分减少,或林木生长需求能力大于土壤微生物的转化能力的结果。

不同利用和耕作方式下土壤微生物生物量碳的含量也不同。一般情况下,良好的土壤结构能显著提高土壤微生物活性,相反,土壤翻耕等剧烈变化改变了土壤进化状况(如土壤团聚体结构)的农作措施,常常导致土壤微生物区系改变和微生物生物量下降^[33-34]。亚热带红壤丘陵景观单元内,4 种典型的土地利用方式下土壤微生物生物量碳表现为水田最高(830 mg/kg),其次是旱地(361 mg/kg)和林地(200 mg/kg),果园最低(186 mg/kg)^[35]。洞庭湖区土壤微生物生物量碳亦表现为水田高于旱地^[36]。与常规耕作相比,免耕、沟播显著提高土壤微生物生物量碳^[14,37-38],是因为翻耕土壤令土壤微生物暴露于空气中,使土壤微生物数量受到空气氧化以及阳光照射而下降。

施肥对微生物生物量碳的影响与施肥量、肥料类型和配比有关。一些研究认为施肥可提高土壤微生物生物量碳^[14,16,39-40],但其作用效果因肥料种类而异。徐阳春等^[14]、陈留美等^[41]研究认为施肥(单施化肥及化肥与有机肥配合施用)都可提高土壤微生物生物量碳,是因为施肥后植物生长加快,根系生物量及根系分泌物增加,可能促进土壤微生物生长,从而普遍提高土壤微生物生物量。而曹志平等^[15]对小麦套种夏玉米模式的秸秆全还配施和麦秆还田配施研究表明,化肥都降低了土壤的微生物生物量碳,抑制了微生物的生长,在长期施用化肥的高肥力农田生态系统中,化肥抑制了土壤微生物的活性,主要是因为施用化肥对微生物有直接的毒害作用,同时长期施用化肥使土壤板结,pH 值下降,通气性差,微生物活性减弱。而随着有机物的投入,微生物生物量增加,且表现出有机物质投入越多,微生物生物量增加越

多。路磊等^[42]也研究得到单施化肥显著降低土壤微生物生物量碳的结果,而秸秆施用可显著提高土壤微生物生物量碳,特别是高量施用秸秆效果更明显。但在低肥力农田中,单施化肥可增加土壤微生物生物量碳,有机物配合施用化肥作用更加明显^[43],是因为在低肥力的农业生态系统中施用化肥可以促进植物和其他生物的生长,增加了作物的根系和根系分泌物,因而促进了土壤微生物的繁殖,提高了微生物生物量。对不同农田生态系统,长期单施氮磷肥对土壤微生物生物量碳的影响不明显,而施有机肥后可提高微生物生物量碳^[44]。同时,长期秸秆还田秋施肥和长期秸秆还田春施肥也可提高微生物碳^[17]。另外,土壤被污染后土壤微生物生物量碳随污灌有机物污染程度的增加而增加^[45],但含有较高浓度重金属的污泥施入土壤或者土壤中长期使用污泥等污染物,土壤微生物生物量则会明显下降^[46]。

土壤微生物生物量碳可以作为林地土壤肥力指标^[47]。子午岭林区林地的开垦和采伐,形成了不同的植被状况,土壤环境发生了变化,所以土壤微生物生物量碳表现为在采伐迹地上,各剖面,特别是剖面上部两层的微生物生物量碳明显高于林地和裸露休闲地,形成这种结果的原因在于林地虽然被采伐,但是未开垦,土壤表层的枯枝落叶和有机质层仍然保存,对土壤肥力影响不大,另外采伐迹地上由于新的幼小乔灌木没有老林地的郁闭度大,使得土壤温度日间上升快,比林地土壤温度高,以上这些都是有利于土壤微生物活动的因素,故可能是微生物生物量碳高的主要原因^[48]。

放牧管理措施也影响土壤微生物生物量碳。澳大利亚热带草原放牧后土壤微生物生物量碳的变化是:与对照和轻度放牧区相比,正在退化和已经退化草地的微生物生物量碳分别下降 15%~27%和 40%~53%^[49]。英格兰山地草原放牧绵羊后,由于大量的植物被践踏进入土壤,从而显著增加了微生物生物量^[50]。内蒙古羊草小禾草原经过 8 年不同强度的放牧,重牧区的土壤微生物生物量碳 (122 mg/kg) 显著低于对照 (189

mg/kg)、轻牧区 (171 mg/kg) 和中牧区 (213 mg/kg)^[51]。有研究表明,围栏和适度放牧均有助于土壤微生物生物量碳的增加,因为适度放牧增加了根系的渗出物,从而增加了土壤微生物的活性^[52-53],但过牧使其降低^[23,29,54-57]。旅游践踏也显著降低了土壤微生物生物量碳,人类严重践踏的活动区比未践踏的背景区土壤微生物生物量碳降低了 52%^[58]。

2 土壤微生物生物量氮

土壤微生物生物量氮是土壤氮素的一个重要储备库,也是土壤有机氮中最为活跃的组分,在土壤氮循环与转化过程中起着重要的调节作用。土壤微生物生物量氮占土壤全氮的 2%~6%。与微生物生物量碳相似,不同土壤类型及生态环境下微生物生物量氮的变异很大,草地为 40~496 kg/hm² (平均 225 kg/hm²),耕地 40~385 kg/hm² (平均 195 kg/hm²),林地 130~216 kg/hm² (平均 170 kg/hm²),总的趋势是草地大于耕地大于林地^[26]。

土壤微生物生物量氮在土壤中的绝对数量不大,但生物通过微生物转化的氮素远大于施入土壤中的氮素,也大于植物带走的氮素,表明土壤微生物生物量是土壤养分的源与库^[59]。微生物量氮比植物残体氮周转速率快 10 倍。在草原土壤中,微生物量库的氮素年通过量比其他库的通过量大得多^[60]。Joergensen 等^[61]认为,当微生物生物量氮周转率低于 1 年时,矿化的无机氮量即可满足植物生长的需要。土壤微生物生物量氮的矿化率较高,在土壤中很快发生矿化作用而释放出有效态氮。土壤易矿化氮主要来自土壤微生物对氮的释放。土壤微生物生物量氮含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的反映。因此,凡是影响土壤氮素矿化与固持过程的因素都会影响土壤微生物生物量氮的含量。土壤微生物生物量氮含量多少决定于土壤中微生物的数量,同时与土壤全氮、土壤碱解氮含量成极显著的正相关关系^[14,62]。

在森林、干草原、高寒草甸 3 种不同生态系统

土壤微生物生物量氮表现为山地森林最高(68 mg/kg),其次为干草原(46 mg/kg),高寒草甸最低(38 mg/kg)^[22]。子午岭不同植被类型的土壤微生物生物量氮表现为乔木大于草本大于灌木大于弃耕地大于农田^[31]。彭佩钦等^[36]发现洞庭湖区不同利用方式下土壤微生物生物量氮表现为水田高于旱地。东祁连山高寒草地返青期不同草地类型土壤微生物生物量氮变化不一致,是因为该时期土壤微生物体内氮素的总和是由微生物种类和数量决定。不同草地类型由于植物群落、土壤理化性质及气候条件等的差异决定了土壤微生物数量和种类的差异。因此,草地类型决定了土壤微生物量氮的数量和生态分布^[62]。

土壤微生物生物量氮对环境条件亦非常敏感,施肥、耕作、栽培等技术措施都会影响土壤微生物生物量氮的数量^[64-65]。土壤氮素主要集中在耕层,其中93%~97%以有机氮的形式存在。在作物生长季节,约1%~3%的土壤有机氮被矿化,释放出无机氮,供作物利用。在陇中黄土高原半干旱丘陵沟壑区,干旱条件下免耕配合秸秆覆盖比传统耕作表层土壤微生物生物量氮增加了89.6%^[37]。与传统耕作相比,免耕、沟播显著提高了土壤微生物生物量氮^[14,38]。另外,长期单施化肥、化肥与秸秆、绿肥、猪粪配合施用^[14]及长期单施高量有机肥、有机无机肥合理配施^[16]、长期秸秆还田加施肥^[17]均能提高土壤微生物生物量氮。在施肥处理中,土壤微生物量则明显增加,其中单施化肥和蚕粪处理中,土壤微生物量增加幅度远没有配施化肥加蚕粪处理的多^[66]。但路磊等^[42]研究表明,单施化肥显著降低了土壤微生物生物量氮,而秸秆施用可显著提高土壤微生物生物量氮,特别是高量施用秸秆效果更明显。

放牧也影响土壤微生物生物量氮的含量。内蒙古羊草小禾草草原经过8年不同强度的放牧,重牧区(60.9 mg/kg)和中牧区(48.5 mg/kg)土壤微生物量氮显著高于对照(36.1 mg/kg)和轻牧区(34.0 mg/kg)^[51]。而宋俊峰等^[57]对内蒙古草甸草原放牧后发现,土壤微生物生物量氮在对

照区最高(43 mg/kg),其次是轻牧区(27 mg/kg)和中牧区(24 mg/kg),重牧区最低(17 mg/kg)。栽培草地放牧后,土壤微生物生物量氮含量在中牧区最高,且以0~10 cm最高,随着土层加深,呈下降趋势,这说明土壤表层微生物活动强烈^[56]。旅游践踏也显著降低了土壤微生物生物量氮,活动区比背景区微生物生物量氮下降了79%^[58]。

3 土壤微生物生物量磷

土壤微生物对土壤中的磷利用和转化较多的是占土壤绝大部分的土壤矿物以外的无机磷和土壤有机磷,土壤微生物在利用和转化土壤中磷的同时,通过自身的新陈代谢将固定的磷归还给土壤,且微生物生物量磷在土壤中非常重要,因此通过微生物的转化可使不能被植物直接吸收和利用的磷,尤其是有机磷转化为植物可直接吸收的无机磷,同时通过微生物对土壤中部分无机磷的生物固定,从而有效地减少土壤中无机磷的淋失和土壤对磷的固定,增强土壤磷的有效性。土壤无机磷中一小部分存在于土壤矿物中,土壤有机磷主要以磷脂、核酸等的形式存在,土壤微生物生物量磷是土壤有机磷的一部分,与土壤有机磷化合物相比,微生物生物量磷更容易矿化为植物可利用的有效磷。微生物生物量磷是有机磷中活性较高的部分,它不仅是土壤有效磷的重要供给源,而且与土壤有效磷直接相平衡。

土壤微生物生物量磷的含量变异很大,一般变化范围为10~100 kg/hm²,极端情况下可超过100 kg/hm²。土壤微生物生物量磷通常占全磷量的2.4%~23.3%,占有机磷的5%~47%,高于土壤可提取的有效磷(Bray-P或Olsen-P),土壤磷素中有机结合态占40%~60%^[26]。Brookes和Mcgrath^[67]的研究结果表明,在森林土壤和耕地土壤中,微生物体内的磷也是土壤有机磷中最为活跃的部分,而其他部分有机磷则较为稳定,并发现在耕地土壤中,土壤微生物生物量磷占有机磷的3%,草地土壤中则更高,可达19%,但草地改为耕地后,土壤微生物生物量磷占有机磷的比例迅速下降,有机磷的下降一半是由于微生物生

物量磷的下降所致。在 8 种草地土壤中,磷的年流通量为 23 kg/hm^2 ,这相当于耕地的 3 倍(7 kg/hm^2)^[67]。作物秸秆腐解过程中土壤微生物生物量磷的年流通量在数量上相当于植物吸收的 3~5 倍^[68]。而作物每年从土壤中带走的磷一般为 $5 \sim 20 \text{ kg/hm}^2$,只有土壤微生物生物量磷的 10%~50%^[25-26]。因此,微生物生物量磷在调控土壤磷对植物的有效性和磷的生态循环方面有重要意义。

一般情况下,施肥可显著地增加土壤微生物生物量磷,但肥料不同土壤微生物生物量磷的增加也不同,这可能与不同肥料磷含量的差异和在微生物的作用下有机肥的矿化和分解速度不同有关系,肥料的加入尤其是有机肥为微生物的活动提供了养料,促进微生物大量繁殖将部分有机磷和矿化了的无机磷又同化为微生物生物量磷,从而增加了土壤微生物生物量磷。长期施用磷肥能促进土壤微生物量的增长,而长期施用硫酸铵则降低土壤微生物量。土壤微生物生物量磷在免耕和常规翻耕之间无显著变化,但施肥(化肥及有机肥配合使用)可显著提高土壤微生物生物量磷^[14,68-69]。在陇中黄土高原半干旱丘陵沟壑区,干旱条件下免耕配合秸秆覆盖比传统耕作表层土壤微生物生物量磷增加了 29.6%^[37]。

不同植被类型的土壤微生物生物量磷表现为乔木大于草本大于农田大于灌木大于弃耕地^[31]。洞庭湖区不同利用方式条件下土壤微生物生物量磷表现为水田稍高于旱地^[36]。草地经过 8 年不同强度的放牧后,土壤微生物生物量磷在对照区、轻牧和中牧区变化不大,但显著高于重牧区^[51]。旅游践踏也显著降低了土壤微生物生物量磷,活动区的微生物生物量磷比背景区降低了 62%^[58]。

4 研究展望

土壤微生物学研究过去长期停留在对土壤微生物区系的组成和作用过程的定性探讨,而且主要集中对农业土壤微生物生物量的研究,对草地、森林土壤微生物生物量的研究相对较少。然而近几十年来,随着微生物生物量的测定方法不断改

进,尤其是氯仿熏蒸培养法和 PLFA 法,使得土壤微生物生物量测定更加接近实际值,同时对不同生态系统、不同利用方式条件下土壤微生物生物量变化的研究也逐渐增多。鉴于土壤微生物在土壤养分转化与循环、维护生态平衡和保护环境等方面具有非常重要的作用,未来需迫切开展以下研究:

1)进一步对不同气候带、不同植株生长发育阶段、不同土壤类型、不同土壤深度及不同营林措施下土壤微生物生物量动态及调控机理研究。

2)对影响土壤微生物生物量高低不确定性的因子进行深入研究,如施肥、温度、耕作方式等,同时,加强其他因子如污染物影响、二氧化碳浓度等对土壤微生物生物量的研究。

3)加强不同尺度下土壤微生物生物量的影响因子及调控机理研究。

致谢:本研究得到云南省园林植物与观赏园艺重点学科建设支持,特此感谢!

参考文献

- [1] Jenkinson D S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil[A]. Wilson J R. Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems[C]. Wallingford, England: CAB International, 1988, 368-386.
- [2] 俞慎,李振高. 熏蒸提取法测定土壤微生物量研究进展[J]. 土壤学进展, 1994, 22(6): 42-50.
- [3] 曹慧,杨浩,孙波,等. 不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征[J]. 土壤, 2002(4): 197-200.
- [4] Henrot K, Robertson G P. Vegetation removal in two soils of the humid tropics: effect on microbial biomass [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1994, 26: 111-116.
- [5] Khan K S. Effects of cadmium, lead and zinc pollution on microbial biomass in red soil [D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural University, 1998.
- [6] Paul E A. Dynamic of organic matter in soils [J]. Plant and Soil, 1984, 76: 275-285.
- [7] Paul E A, Voroney R P. Nutrient and energy flow through soil microbial biomass [A]. Ellwood D C,

- Hedger J N, Lutham M J, *et al.* Contemporary Microbial Ecology [M]. London: Academic Press, 1980:215-237.
- [8] Nielsen N M, Winding A. Microorganisms as indicators of soil health[R]. National Environment Research Institute, Denmark. Technical Report No. 388, 2002:11-37.
- [9] Kennedy A C, Smith K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils[J]. Plant and Soil, 1995, 170:75-86.
- [10] Somova L A, Pechurkin N S. Functional, regulatory and indicator features of microorganisms in man-made ecosystems[J]. Advanced in Space Research, 2001, 27(9):1563-1570.
- [11] Anderson T H, Domsch K H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) 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 & Biochemistry, 1993, 25:393-395.
- [12] Carter M R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties [J]. Soil & Tillage Research, 1986(7):29-40.
- [13] Pankhurst C E. Biological indicators of soil health and sustainable productivity[A]. Greenland D J, Szabolcs I. Soil Resilience and Sustainable Land Use [M]. Wallingford, UK: CAB International, 1994:331-351.
- [14] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1):89-96.
- [15] 曹志平, 胡诚, 叶钟年, 等. 不同土壤培肥措施对华北高产农田土壤微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(5):1486-1493.
- [16] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4):700-705.
- [17] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期秸秆还田秋施肥对褐土微生物量碳、氮和酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(2):138-142.
- [18] Sparling G P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health[A]. Pankhurst C, Doube B M, Gupta V V S R. Biological Indicators of Soil Health [M]. Wallingford, UK; New York: CAB International, 1997.
- [19] 殷勤燕, 陈宗泽. 大豆土壤微生物生物量碳的测定方法[J]. 微生物学杂志, 1997, 17(2):61-62.
- [20] 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物生物量作为红壤质量生物指标的探讨[J]. 土壤学报, 1999, 36(3):413-422.
- [21] 刘满强, 胡锋, 何园球, 等. 退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J]. 土壤学报, 2003, 40(6):937-944.
- [22] 吴建国, 艾丽, 祁连山 3 种典型生态系统土壤微生物活性和生物量碳氮含量[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2):465-476.
- [23] Holt J A. Grazing pressure and soil carbon, microbial biomass and enzyme activities in semi-arid northeastern Australia[J]. Applied Soil Ecology, 1997(5):143-149.
- [24] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic matter carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter [J]. Australian Journal of Soil Research, 1992, 30:195-207.
- [25] Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations[A]. Bollag J M, Stotzky G. Soil Biochemistry[M]. V. 6. New York: Marcel Dekker, INC, 1991:359-396.
- [26] 何振立. 土壤微生物生物量及其在养分循环和环境质量评估中的意义[J]. 土壤, 1997, 29(2):61-69.
- [27] 王岩, 沈其荣, 史瑞和, 等. 土壤微生物量及其生态效应[J]. 南京农业大学学报, 1996, 19(4):45-51.
- [28] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality[A]. Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, *et al.* Defining Soil Quality for a Sustainable Environment[M]. Madison, WI: Soil Science Society of American, American Society of Agronomy, 1994:3-21.
- [29] Rice C W, Moorman T B, Beare M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality [A]. Doran J W, Jones A J. Methods for Assessing Soil Quality[M]. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1996:203-215.
- [30] 孙维, 赵吉. 不同草原生境下的土壤微生物生物量

- 研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2002, 23(1): 29-31.
- [31] 魏媛, 张金池, 喻理飞. 退化喀斯特植被恢复过程中土壤微生物生物量碳的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2008, 32(5): 71-75.
- [32] 陈小燕, 吕家珑, 张红, 等. 子午岭不同植被类型土壤微生物量与有机酸含量[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 167-170.
- [33] 杨刚, 何寻阳, 王克林, 等. 不同植被类型对土壤微生物量碳氮及土壤呼吸的影响[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 189-191.
- [34] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 等. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 143-147.
- [35] 马效国, 樊丽琴, 陆妮, 等. 不同土地利用方式对苜蓿茬地土壤微生物生物量碳、氮的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(10): 13-17.
- [36] 唐国勇, 黄道友, 童成立, 等. 红壤丘陵景观单元土壤有机质和微生物生物量碳含量特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 429-433.
- [37] 彭佩钦, 吴金水, 黄道友, 等. 洞庭湖区不同利用方式对土壤微生物生物量碳氮磷的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2261-2267.
- [38] 张丽华, 黄高宝, 张仁陟. 旱作条件下免耕对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. 甘肃农业科技, 2006, 12: 3-6.
- [39] 王晓凌, 陈明灿, 张雷. 不同耕作方式对土壤微生物量和土壤酶活性的影响[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(12): 28-30.
- [40] 胡诚, 曹志平, 罗艳蕊. 长期施用生物有机肥对土壤肥力及微生物生物量碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 48-51.
- [41] 乔洁, 毕利东, 张卫建, 等. 长期施用化肥对红壤性水稻土中微生物生物量、活性及群落结构的影响[J]. 土壤, 2007, 39(5): 772-776.
- [42] 陈留美, 吕家珑, 桂林国, 等. 新垦淡灰钙土微生物生物量碳、氮、磷及玉米产量的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(20): 48-51.
- [43] 路磊, 李忠佩, 车玉萍. 不同施肥处理对黄泥土微生物生物量碳氮和酶活性的影响[J]. 土壤, 2006, 38(3): 309-314.
- [44] 胡诚, 曹志平, 叶钟年, 等. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 808-814.
- [45] 张春霞, 郝明德, 魏孝荣, 等. 不同农田生态系统土壤微生物生物量碳的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 81-83.
- [46] 张晶, 张惠文, 张勤, 等. 长期石油污水灌溉对东北旱田土壤微生物生物量及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 67-70.
- [47] Dar G H. Effects of heavy cadmium and sewage-sludge on soil microbial biomass and enzyme activities[J]. Bioresource Technology, 1996, 56: 141-145.
- [48] 姜培坤, 徐秋芳, 俞益武. 土壤微生物量碳作为林地土壤肥力指标[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19(1): 17-19.
- [49] 张成娥, 陈小莉, 郑粉莉. 子午岭林区不同环境土壤微生物生物量与肥力关系研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 218-222.
- [50] Northup B K, Brown J R, Holt J A. Grazing impacts on the spatial distribution of soil microbial biomass around tussock grasses in a tropical grassland[J]. Applied Soil Ecology, 1999, 13: 259-270.
- [51] Bardgett R D, Leemans D K, Cook R, *et al.* Seasonality in the soil biota of grazed and ungrazed hill grasslands[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 29: 1285-1294.
- [52] 李香真, 陈佐忠. 不同放牧率对草原植物与土壤 C、N、P 含量的影响[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 90-98.
- [53] Holland J N, Cheng W X, Crossley Jr D A. Herbivore-induced changes in plant carbon allocation; assessment of below-ground C fluxes using carbon-14[J]. Oecologia, 1996, 107: 87-94.
- [54] Mawdsley J L, Bardgett R D. Continuous defoliation of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) and white clover (*Trifolium repens*) and associated changes in the microbial population of an upland grassland soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 1997, 24: 52-58.
- [55] 柳丽萍, 廖仰南. 羊草草原和大针茅草原不同牧压下的土壤微生物特性及其多样性[J]. 草原生态系统研究[M]. (第 5 集). 北京: 科学出版社, 1995: 70-78.
- [56] 赵吉. 不同放牧率对冷蒿小禾草草原土壤微生物

- 数量和生物量的影响[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 223-227.
- [57] 张蕴薇, 韩建国, 韩永伟, 等. 不同放牧强度下人工草地土壤微生物量碳、氮的含量[J]. 草地学报, 2003, 11(4): 343-345.
- [58] 宋俊峰, 韩国栋, 张功, 等. 放牧强度对草甸草原土壤微生物数量和微生物生物量的影响[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2008, 37(2): 237-240.
- [59] 谭周进, 戴素明, 谢桂先, 等. 旅游踩踏对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 环境科学学报, 2006, 26(11): 1921-1926.
- [60] 洪坚平, 谢英荷, Kleber M, 等. 德国西南部惠格兰牧草区土壤微生物生物量的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 493-496.
- [61] Brookes P C, Landman A, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1985, 17: 837-842.
- [62] Joergenson R G, Anderson T H, Wolters V. Carbon and nitrogen relationships in the microbial biomass of soils in beech (*Fagus sylvatica* L.) forests[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19: 141-147.
- [63] 李香真, 曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 97-104.
- [64] 杨成德, 陈秀蓉, 龙瑞军, 等. 东祁连山高寒草地返青期不同草地型土壤氮的他布特征[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 67-74.
- [65] 李世清, 凌莉, 李生秀. 影响土壤中微生物体氮的因子[J]. 土壤与环境, 2000, 9(2): 158-162.
- [66] 庞欣, 张福锁, 王敬国. 不同供氮水平对根际微生物量氮及微生物活度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 476-480.
- [67] 沈其荣, 余铃, 刘兆普, 等. 有机无机肥料配合施用对滨海盐土土壤生物量态氮及土壤供氮特征的影响[J]. 土壤学报, 1994, 31(3): 287-294.
- [68] Brookes P C, Mcgrath S P. Effects of metal toxicity on the size of the soil microbial biomass[J]. *Journal of Soil Science*, 1984, 35: 341-346.
- [69] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 96-99.
- [70] 刘守龙, 肖和艾, 童成立, 等. 亚热带稻田土壤微生物生物量碳、氮、磷及其对施肥的反应特点[J]. 农业现代化研究, 2003, 24(4): 278-283.

Research progress of soil microbial biomass in China

ZHANG Cheng-xia^{1,2}, NAN Zhi-biao²

(1. Faculty of Landscape Architecture, Southwest Forestry University,

Yunnan Kunming 650224, China;

2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology,

Lanzhou University, Gansu Lanzhou 730020, China)

Abstract: Research progresses of soil microbial biomass during recent years were reviewed in this paper, including microbial biomass C, microbial N, microbial P. The necessity of soil microbial biomass C, microbial N and microbial P in the nutrient cycling was emphasized and the effects of planting, rotation, grazing, and fertilizer application on soil microbial biomass were discussed. Finally, this study proposed the key points of soil microbial biomass research in the future.

Key words: soil microbial biomass; carbon; nitrogen; phosphorus