

人造林窗对粗枝云杉人工林土壤微生物量的影响

高天雷,尹学明

(四川省林业调查规划院,四川成都 610081)

摘要:通过对川西亚高山云杉低效林不同大小林窗(面积 50 m²、100 m²、150 m²)改造,以未处理作为对照,采用氯仿熏蒸浸提法研究了林窗改造对土壤微生物量碳、氮含量及其垂直分布特征的影响。结果表明:通过林窗改造,林下土壤微生物量碳、氮具有显著提升,其中,林窗面积越大,提升效果越显著。各土层土壤微生物量碳、氮含量均表现为:150 m²(L₃) > 100 m²(L₂) > 50 m²(L₁) > 对照(CK);3种大小面积林窗和对照土壤微生物量碳、氮含量随着土层深度的增加而降低,均表现为上层(0~5 cm) > 中层(5 cm~10 cm) > 下层(10 cm~15 cm);且林窗改造降低了土壤微生物量碳、氮的表层富集特性,林窗面积越大,上层土壤微生物量碳、氮所占比例越低。

关键词:土壤微生物量碳;土壤微生物量氮;云杉人工林;人造林窗;影响

中图分类号:S714 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2014)03-0027-05

Effects of Man-made Forest Gaps on Soil Microbial Biomass in *Picea asperata* Plantation

GAO Tian-lei YIN Xue-ming

(Sichuan Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, China)

Abstract: In this paper, three kinds of forest gaps with different area (L₁:50 m², L₂:100 m², L₃:150 m²) were set in a 50-years old *Picea asperata* plantation, and at the same time, the forest without cutting was set as control (CK). The soil was sampled in different soil layers (0~5 cm, 5 cm~10 cm, 10 cm~15 cm) and then was determined by adopting chloroform fumigation, aiming to study the effect of forest gap improvement on carbon and nitrogen content and vertical distribution of soil microbial biomass. The results showed that the forest gaps had significantly increased the contents of soil microbial biomass carbon (SMBC) and soil microbial biomass nitrogen (SMBN), and the bigger the gap's area was, the more the increase effect was. The contents of SMBC and SMBN in each soil layer was L₃ > L₂ > L₁ > CK. In the three kind of gaps and CK, the contents of SMBC and SMBN decrease with the increase of soil depth, but in the 0~5 cm layer, the bigger the gap's area was, the proportion of the content SMBC and SMBN would become less.

Key words: Soil microbial biomass carbon, Soil microbial biomass nitrogen, *Picea asperata* plantation, Forest gap, Effect

土壤微生物是土壤的重要组成部分,是生态系统的调节者,参与森林生态系统中物质循环和能量流动,如参与土壤碳、氮等元素的循环过程和土壤矿物质的矿化过程,对有机物质的分解转化、养分的转化和供应以及维持生态系统的结构与功能方面起着

十分重要的作用^[1~7]。土壤微生物量碳对环境因子的变化十分敏感,温度、湿度、pH值、植被类型以及其他的干扰方式都会对其产生巨大的影响^[8~12]。目前国内有关农田土壤微生物生物量的研究较多^[13~15],而针对川西亚高山林区,不同的人工经营

收稿日期:2014-01-13

作者简介:高天雷(1966-),男,高级工程师,从事林业调查规划设计工作。

管理水平对土壤微生物量的影响鲜见报道。

林窗作为一种干扰形式,是森林在自然演替过程中重要驱动因子,它不仅是森林群落演替的驱动要素,也在森林结构、物种组成、动态和演替中起着重要作用。林窗改造是人工抚育间伐的一种方式,是主动干预林分生长的主要营林措施。通过林窗改造,可以提高林内养分循环和能量流动效率,进而提升森林碳储存能力和生态效益。米亚罗云杉人工林生长不良,卫生状况极差,林下仅有少量草本植物生长,无灌木,其生态功能处于退化状态,生产功能处于极低效状态。因此,本文采用不同人造林窗(面积相异)下不同土壤层次(0~5 cm、5 cm~10 cm、10 cm~15 cm)中的微生物量进行对比,验证林分环境变化对土壤微生物的影响,探究土壤微生物的分布规律,并用以服务于云杉人工林的可持续经营,以期为其提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于四川省理县的米亚罗林区(31°24′~31°55′N,102°35′~103°40′E),属青藏高原向四川盆地过渡的高山峡谷区^[16]。研究地属青藏高原气候区范围,受西风急流南支和东南季风控制。以海拔2 700 m的米亚罗镇的气象资料为例,全年降水量1 165.7 mm,年蒸发量987.8 mm,年均气温6.5℃,≥0℃的年积温为1 710℃~2 000℃^[17]。试验地拟选在川西亚高山米亚罗林区距川西林业局283 km处(102°57′E,31°36′N)4林班,13小班,小班面积17.9 hm²。据川西森林局森工志记载,该小班曾在20世纪50年代期间尝试造林,但因树种选择和其他造林技术、管护等问题未能成功,后于1962年秋再次造林,当时的初植密度为4 500株·hm⁻²,其后还进行了补植。因林分密度过大,川西林业局于2002年对该小班实施抚育,主要清除了枯立木以及枯枝落叶等。到目前为止,林分密度大约为2 700株·hm⁻²~2 850株·hm⁻²,郁闭度为0.9,平均直径20 cm,平均树高14 m。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

2007年10月,在实验地选择较平缓,海拔、坡向和土壤类型均基本相同的粗枝云杉林内,共设立4个小区,每个小区面积为600 m²,设对照小区1个不进行林窗采伐(CK),设3个小区实施团块状采伐,采伐面积严格控制为50 m²(L₁)、100 m²(L₂)、

150 m²(L₃)形成人造林窗,其中3个林窗下以人工补植更新方式形成混交林(补植新疆杨和桦木)。实验研究不同林窗下的土壤微生物量的特征。

1.2.2 样品采集

2008年10月在不同的小区内,按“S”型布5点选取林内样点,先除去土壤表层的枯枝落叶和灌木草本植被,并铲除表面1 cm左右的表土,以避免地面微生物与土壤混杂。取样时用土钻分3层钻取0~5 cm、5 cm~10 cm和10 cm~15 cm的土壤,相同土层的土壤组成一个混合土样,去掉土壤中可见植物根系和残体,用四分法采集样品装入无菌袋中带回实验室(同层混合土样取两个重复,每袋40 g左右以备含水量及微生物量的测定),新鲜土样过2 mm钢筛后放置于4℃冰箱内保存供测定土壤微生物量。

1.2.3 样品测定方法

1.2.3.1 土壤含水量

土壤含水量测定中,称取待测土样10 g~15 g(记下准确质量),经105℃烘干24 h,置于干燥器中,后待冷却后称其质量至不再减少为止。根据下式计算土壤含水量:

$$\text{土壤含水量} = [(\text{湿土质量} - \text{干土质量}) / \text{干土质量}] \times 100\%$$

1.2.3.2 土壤微生物量 C、N

土壤微生物量 C(MBC)和 N(MBN)的测定采用氯仿熏蒸浸提法(FE)^[18,19]。土壤经氯仿(CHCl₃)熏蒸后,其中的绝大部分微生物细胞被熏杀分解,其细胞溶解将释放出可溶性有机碳(DOC),而后,利用自动分析仪测定土壤中碳、氮的含量,通过对比氯仿熏蒸与未经氯仿熏蒸土样的有机 C、N 的含量差,换算出微生物 C、N 的含量。

1.2.4 数据处理与统计分析

(1) 土壤微生物量碳含量(C)的计算:

$$C = E_c / K_{EC}$$

式中, E_c 为熏蒸土壤被 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 所提取的有机碳与未熏蒸土壤(对照样品)被 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 所提取的有机碳的差值, K_{EC} 为 E_c 转化为微生物量碳的转换系数,自动分析仪测定中一般取值为 0.45。

(2) 土壤微生物量氮(N)的计算:

$$N = F_N / K_{FN}$$

式中, F_N 为熏蒸土壤被 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 所提取的有机氮与未熏蒸土壤(对照样品)被 0.5 mol·L⁻¹ K₂SO₄ 所提取的有机氮的差值, K_{FN} 为 F_N 转化为微生物量氮的转换系数,自动分析仪测定中按照

C、N 及转换系数的比值求得,一般取值 0.68。

采用统计软件 SPSS11.0 对 4 种林分模式下不同土壤层次土壤微生物量碳、氮进行 S-N-K 多重比较,显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 不同大小林窗下土壤微生物量碳、氮含量

土壤微生物生物量的多少反映了土壤同化和矿化能力的大小,是土壤活性大小的标志。森林生态系统中土壤微生物生物量碳、氮的变化主要受环境条件、树种组成、植物生长、施肥方式等因素的综合影响。抚育方式不同,植物残体、根系残留物和根系

分泌物在土壤中积累亦不同,则致土壤微生物碳、氮源数量不同,从而使土壤微生物生物量碳、氮在不同人造林窗处理下表现出较大差异。

由表 1 可以看出,CK 与 L_1 的微生物量碳含量最小, L_3 处理的土壤微生物量碳最大为 $1950.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, L_2 处理的土壤微生物生物量碳次之为 $1918.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。 $L_3 > L_2 > L_1$ 即 $150 \text{ m}^2 > 100 \text{ m}^2 > 50 \text{ m}^2$ 。与 CK 处理相比, L_1 处理的微生物量碳有所下降但其量甚微,可能因为林窗面积过小,透光等不明显而没有引起显著变化。其他抚育处理的土壤微生物量碳均有显著的提高,且随着林窗面积的增大土壤微生物量碳有所增长,这可能是由以下几个因素共同作用所致。

表 1 不同人造林窗下土壤微生物生物量特征

Table 1 Character of soil microbial biomass under different adjusted models

抚育方式	土层 (cm)	SMBC ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土)	SMBN ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土)	SMBC 平均值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土)	SMBN 平均值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土)
L1	5	2108.63 + 106.41d	112.03 + 8.25c	1622.10	83.15
	10	1536.84 + 160.50e	74.96 + 2.11de		
	15	1152.60 + 0.85f	58.82 + 0.71f		
L2	5	2530.75 + 45.65c	112.58 + 7.70b	1918.50	86.41
	10	1768.64 + 196.68d	71.20 + 3.92d		
	15	1556.12 + 162.36ef	65.46 + 0.32e		
L3	5	2216.57 + 259.15c	108.60 + 8.71bc	1950.42	87.57
	10	2073.94 + 2.29cd	88.73 + 0.50cd		
	15	1748.52 + 0.17e	89.47 + 28.35cd		
CK	5	2179.82 + 295.56cd	75.94 + 3.87d	1640.57	54.46
	10	1482.88 + 101.51e	50.94 + 0.21e		
	15	1260.48 + 84.59f	36.49 + 3.49f		

注:同一列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

(1) 林窗处理使得原来郁闭度很高的林下透光度增加从而促进了林下植物根系的生长,大量留在土壤的根茬提高了微生物的活性,加速了土壤原有的和新鲜的有机物质的分解、矿化。

(2) 随着林窗面积的增大,林内透光度的增加,也更好的为光能有机或无机营养型微生物提供光源,助其获取能量,以致影响其分布,所以会产生 $L_3 > L_2 > L_1$ 的结果。

(3) 不同抚育措施下枯落物数量、分解过程及人为干扰强度不同从而导致形成的活性有机 C 差异有关。土壤活性有机 C 是微生物生长的速效基质,其含量高低直接影响了土壤微生物活性^[20],进而影响土壤微生物的分布。

(4) 土壤微生物的生命活动不仅需要能源,也需要生命元素,土壤养分限制因子及其水平都会影响到微生物的生命活动^[22]。在林窗条件下,由于林下植物的生长,林下植物所归还土壤的养分较为充足,林窗处理土壤微生物量均有明显的增加。

(5) $L_3 > L_2 > L_1$ 可能是因为随着林窗面积的增大,林内透光度增加,林下植物能更好的进行光合作用,植物光合产物能更多的归还于土壤,使得微生物的养分更充足,土壤微生物量增大。但是 L_3 比 L_2 增加的幅度小于 L_2 比 L_1 增加的幅度,而且 L_3 和 L_2 的值比较接近。

土壤微生物量氮呈明显的 $L_3 > L_2 > L_1 > \text{CK}$ 变化,表现出与土壤微生物量碳相似的规律。

2.2 土壤微生物生物量碳、氮垂直分布特征

2.2.1 土壤微生物生物量碳变化特征

土壤微生物量碳的消长反映微生物利用土壤碳源进行自身细胞建成并大量繁殖和微生物细胞解体使有机碳矿化的过程^[23],研究证明,土壤微生物量碳和潜在的土壤可利用态氮之间存在显著正相关,它和土壤肥力和土壤健康有十分紧密的关系,是以土壤微生物量碳作为反映土壤肥力的一个重要指标。

从图 1 可以看出,土壤微生物量碳总体趋势随

着土层深度的增加而降低,产生该实验结果的原因可能是因为随着土层深度的增加透气性减弱, O_2 和 CO_2 的供应量也下降,因此导致微生物数量有所减少,其中0~5 cm与5 cm~10 cm土层之间降幅最大,平均达到36.86%。相比之下10 cm~15 cm相对于5 cm~10 cm土层的降幅较小,平均为17.39%。从图中可以看出,150 m²的林窗表层土壤微生物生物量碳的含量低于100 m²的林窗,但是其第2层与第3层的土壤微生物生物量碳的含量明显高于100 m²的林窗,可能是由于林窗面积大,表层土壤受阳光直射强烈,而使得土壤微生物向下富集,因而使得第2层与第3层的土壤微生物生物量碳的含量升高。

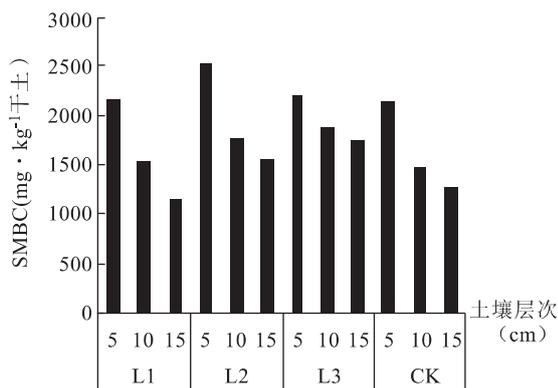


图1 土壤微生物量碳层次特征

Fig.1 Vertical distribution characteristics of soil microbial biomass carbon

2.2.2 土壤微生物生物量氮变化特征

土壤微生物量氮含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映^[24],它表征了N素通过同化作用转入微生物体内暂时固定与通过 NH_3 挥发、 NO_3^- 淋失和反硝化脱氮等途径造成的N素损失的差值。

土壤微生物生物量氮变化特征与碳变化特征相似(图2)。不过其平均降幅都较土壤微生物量碳大,其中0~5 cm与5 cm~10 cm土层之间平均降幅达50.42%,10 cm~15 cm与5 cm~10 cm土层的平均降幅为25.61%,可能由于硝化作用等固氮反应随着土层深度的增加而愈加困难,特别是实验地土壤呈微酸性,不利于硝化反应的进行,是以随透气性的减弱土壤微生物固氮能力急剧下降。

对比两组图中的CK与L₁、L₂、L₃,CK的碳、氮含量低于L₁,总体呈现L₁<L₂<L₃的趋势。

2.3 相关性分析

2.3.1 土壤微生物量碳、氮与林窗面积的相关性

由表1可知,土壤微生物量碳、氮与林地人造林窗面积存在正相关关系。相同层次土壤微生物量在

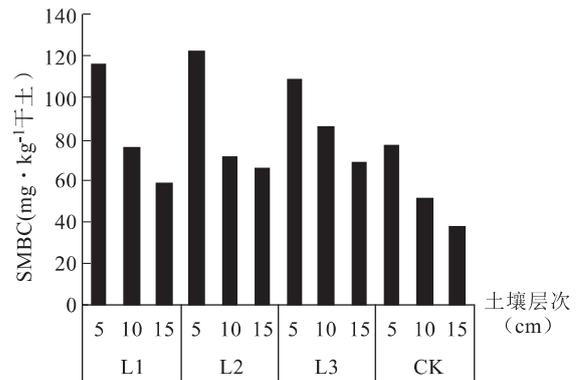


图2 土壤微生物量氮层次特征

Fig.2 Vertical distribution characteristics of soil microbial biomass nitrogen

不同处理下差异显著(0.05)。其中各组对比,L₃(150 m²林窗)处理与其他各处理及对照组差异不显著,其可能存在的原因前已说明。

2.3.2 土壤微生物量碳、氮与土层深度的相关性

由表1同样可知,土壤微生物量碳、氮与土层深度存在负相关关系。相同处理的不同土壤层次土壤微生物量碳、氮差异显著(显著水平为0.05),L₃处理不同土层间微生物量未达显著水平。

3 结论与讨论

3.1 不同大小林窗对土壤微生物量(C、N)的影响

林窗干扰是人为干扰的一种重要途径,通过对林分进行开窗处理,有利于提高林内空气流通、光照强度和水分循环,这些都是影响土壤微生态环境的重要因子。林分形成林窗后,土壤微生态环境得到改善,有利于土壤微生物活动的加强,微生物的形成代谢,使得有机质矿化加剧,形成的土壤微生物量碳、氮增加。本研究表明,150 m²的面积较大的林窗,由于改造后林窗内枯枝落叶增加,这为土壤微生物的分解提供了较为充足的“原料”,同时,面积较大的林窗通气度较小林窗更好,光照更为充足,水分循环更为迅速,所以其林下土壤微生物新陈代谢的功能较面积较小的林窗和未开窗的林分都要强烈,因此,其林下土壤微生物量碳、氮含量自然也相应的提高。

同时,林木生长需要较多的生态系统内部养分循环和流量流动,林分经林窗改造后,其地上部分没有植被或者植被较少,因此,其消耗的土壤微生物量也较少,养分的循环和能量的流动自然小于未开窗处理的林分,这也说明了对川西米亚罗林区云杉低效林改造,有利于林地养分的积累,也有利于进一步提高林地生产力。然而,如何提高该地区林地生产

力,以及林分的生态服务功能,还需要进一步的研究和探讨。

3.2 不同大小林窗对土壤微生物量(C、N)垂直分布特征的影响

不同土层深度土壤微生物量表现出较大差异,实验表明土壤微生物量与土壤层次具有相关性。表层土壤因为根茬、枯枝落叶等的积累,生物量的富集,有机质的含量较高,随着土层深度的增加,通气状况、温度和湿度发生变化,作为能源物质的有机质含量下降,土壤微生物量呈明显的下降趋势。土壤微生物量碳在 0~5 cm 层与 5 cm~10 cm 土层的降幅最大(CK 与 L₁、L₂3 组值相近,平均值为 43.24%,L₃ 处理降幅为 17.71%);土壤微生物量氮也呈类似规律,不过土壤微生物量氮在不同土层深度间的降幅更大。从不同土层深度微生物量碳、氮的变化特征中可以发现 L₃ 处理相对变化较小,土壤微生物量碳、氮的垂直变化未表现显著性差异。

林窗改造可以显著改变土壤微生物量碳、氮的垂直分布特征。本研究中,林窗改造后,林地土壤微生物量碳、氮表面富集比例减少,林窗面积越大,下降的比例越高。其中,L₃ 表层土壤微生物量碳、氮分别占 0~15 cm 土层的 36.70% 和 37.87%,L₂ 表层土壤微生物量碳、氮分别占 0~15 cm 土层的 43.22% 和 45.16%,L₁ 表层土壤微生物量碳、氮分别占 0~15 cm 土层的 43.95% 和 45.58%,分别低于 CK 的 44.28% 和 46.48%。表明,经林窗改造后,土壤微生物量碳、氮的“表聚性”,有所降低,说明林窗改造后林窗内土壤有机质分解趋于下层。可能的原因主要有,第一,改造后的林窗内自然演替产生了大量的地表植物,这些植物根系较浅,容易吸收土壤养分,增强了能量的流动,导致土壤微生物量碳、氮含量的减少,且林窗面积越大,林窗的植被恢复越迅速;第二,改造后的林窗光照强度增加,地表局部的温度升高,尤其是在光照强烈的夏季,这种温度的升高,抑制了土壤微生物的新陈代谢,也导致了土壤微生物量碳、氮比例降低。但对于具体的影响机制,仍需要进一步探究。

参考文献:

- [1] 张其水,俞新妥. 杉木连栽林地营造混交林后土壤微生物的季节性动态研究[J]. 生态学报,1990,10(2):121~126.
- [2] 李志辉,李跃林,杨民胜,等. 桉树人工林地土壤微生物类群的生态分布规律[J]. 中南林学院学报,2000,20(3):24~28.
- [3] 胡日利,吴晓英. 土壤微生物生物量作为土壤质量生物指标的研究[J]. 中南林学院学报,2002,22(3):51~53.
- [4] 周德明,陈晓萍,张建湘,等. 马尾松飞播林地土壤微生物的研究[J]. 中南林学院学报,2002,22(3):59~63.
- [5] 梁理勇. 雷州林业局桉树人工林地土壤微生物的分布规律[J]. 中南林学院学报,2004,24(4):59~62.
- [6] 周国英,陈小艳,李倩茹,等. 油茶林土壤微生物生态分布及土壤酶活性的研究[J]. 经济林研究,2001,19(1):9~12.
- [7] 张于光,张小全,肖焯,米亚罗林区土地利用变化对土壤有机碳和微生物量碳的影响[J]. 应用生态学报,2006,17(11):2029~2033.
- [8] 李延茂,胡江春,汪思龙,等. 森林生态系统中土壤微生物的作用与应用[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1943~1946.
- [9] 章家恩,刘文高,朱丽霞. 广东省不同地区土壤微生物数量状况初步研究[J]. 生态科学,2002,21(3):223~225.
- [10] 周丽霞,丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指标作用[J]. 生物多样性,2007,15(2):162~171.
- [11] Wick B, Kuhne R F, Vlek PL G. Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow managements systems in southwestern Nigeria. *Plant and Soil*,1998,202:97~107.
- [12] 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.
- [13] 邵玉琴,赵吉,岳冰. 皇甫川流域人工油松林地土壤微生物的垂直分布[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版),2002,33(5):541~545.
- [14] 姜培坤,周国模,徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学,2002,38(6):6~11.
- [15] 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.
- [16] 吴彦,刘庆,乔永康,等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(6):648~655.
- [17] 张万儒,黄雨霖,刘醒华. 米亚罗地区冷杉林下的森林土壤[J]. 森林和土壤,1981,15:178~193.
- [18] 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. *Soil Biology and Biochemistry*,1985,17:837~842.
- [19] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*,1987,19:703~707.
- [20] 李灵,张玉,王利宝,等. 不同林地土壤微生物生物量垂直分布及相关性分析[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(2):52~60.
- [21] Abbott L K, Murphy D V. Soil biological fertility: A key to sustainable land use in agriculture. The Netherlands. Kluwer Academic Publishers,2003:187~201.
- [22] 李秀英,赵秉强,李絮花,等. 不同施肥制度对土壤微生物的影响及其与土壤肥力的关系[J]. 中国农业科学,2005,38(8):1591~1599.
- [23] 王继红,等. 氮磷肥对黑土玉米农田生态系统土壤微生物量碳氮的影响[J]. 水土保持学报,2004,18(1):35~38.
- [24] 赵俊晔,于振文,李延奇,等. 施氮量对土壤无机氮分布和微生物量氮含量及小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):466~472.