

# 西南山地林下经济模式对土壤养分和土壤微生物数量的影响

秦华军<sup>1</sup>, 何丙辉<sup>1</sup>, 赵旋池<sup>2</sup>, 杨明山<sup>1</sup>, 张野<sup>1</sup>, 邓雪梅<sup>1</sup>

(1. 西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 贵州省毕节市金沙县城关镇农业服务中心, 贵州 毕节 551800)

**摘要:** 为进一步加强农林牧业资源共享, 推动生态农业的发展, 在重庆市荣昌县 6 种不同的林下经济模式下, 分别对土壤养分和微生物数量的变化及其相互关系进行了研究。结果表明, 不同的林下经济模式对土壤养分的影响各有差异, 有机质和全钾在麻竹林下养禽模式中增加最多, 全磷在桉树林下养禽模式中增加最多, 全氮、碱解氮、速效钾含量则在马尾松林下养畜模式中增加最多。从微生物总量来看, 土壤中表现为桉树林下禽模式最多, 其次为桉树林下种菌模式, 最少的是麻竹林下种菌模式; 腐殖层中最多的是麻竹林下养禽模式, 最少的是桉树林下种菌模式。微生物数量与有机质、有效磷和碱解氮呈正相关关系。由于土壤养分和微生物数量的变化趋势不一致, 因此在研究林下经济过程中应将二者结合起来。

**关键词:** 林下经济; 土壤养分; 土壤微生物数量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0113-05

中图分类号: S154.3

## Influences of Under-forest Economy Mode on Soil Nutrients and Microbe Quantity

QIN Hua-jun<sup>1</sup>, HE Bing-hui<sup>1</sup>, ZHAO Xuan-chi<sup>2</sup>, YANG Ming-shan<sup>1</sup>, ZHANG Ye<sup>1</sup>, DENG Xue-mei<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University; Key Laboratory of

Three Gorges Region Eco-environments, Ministry of Education, Chongqing 400715, China;

2. Chengguan Agricultural Service Center of Jinsha County, Guizhou Province, Jinsha 551800, China)

**Abstract:** In order to enhance the resources sharing among agriculture, forestry and animal husbandry and promote the development of ecological agriculture, researches on the change and interrelation of soil nutrients and the amount of microbes were separately conducted under six forest economy modes in Rongchang County, Chongqing City. Results show that soil nutrients were differently influenced by the under-forest economy modes. Organic matter and total potassium increased the largest in the raising poultry mode under *Dendrocalamas*, while total phosphorus increased the largest in the raising poultry mode under eucalyptus. Total nitrogen, available nitrogen and available potassium increased the largest in the raising poultry mode of Masson pine. In view of total microorganism biomass in soils, the poultry mode showed highest ratio in *Eucalyptus*, followed by the bacteria mode in *Eucalyptus*, and then the least one is bacteria mode in *Dendrocalamas*. The raising poultry mode under *Dendrocalamas* behaved the most, and the bacteria mode in *Eucalyptus* behaved the least in humus layers. The amount of microbes is directly correlated with the amounts of organic matter, available nitrogen and available phosphorus in soils. As the variation tendencies of soil nutrients and microbe quantity are different, the two should be combined in the study of under-forest economy processes.

**Keywords:** under-forest economy; soil nutrient; quantity of soil microorganism

林下经济就是利用现有的林地资源和林荫优势, 进行林下养殖和种植等立体生产经营, 使农林牧业实现资源共享的生态农业模式。土壤是微生物和养分

活动的主要场所, 微生物作为土壤的重要组成成分, 它对土壤肥力的形成和植物营养的转化起着重要的作用, 直接影响着土壤的养分状况, 揭示了土壤发育

收稿日期: 2013-05-05

修回日期: 2013-05-12

资助项目: 国家林业局公益性行业科研专项“西南山地林下经济体系构建关键技术研究”(201104043)

作者简介: 秦华军(1986—), 男(汉族), 贵州省遵义市人, 硕士研究生, 研究方向为森林生态与林下经济。E-mail: gzqinbj@126.com。

通信作者: 何丙辉(1966—), 男(汉族), 湖南省汨罗县人, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持和林业研究。E-mail: hebinghui@yahoo.com。

现状及趋势<sup>[1-2]</sup>。土壤微生物除了受到土壤本身性质影响外,还受到许多外在因素的影响,其中土地利用方式的影响尤为突出。章家恩等<sup>[3]</sup>的研究认为,不同土地利用方式能够增加土壤微生物多样性,提高土壤质量。张丹桔<sup>[4]</sup>研究了不同植物的腐殖质对土壤微生物多样性的影响,结果发现,不同植物腐殖质下土壤微生物的数量和活性均大于对照,而所有种类腐殖质的混合对土壤生物多样性最有利。严君等<sup>[5]</sup>认为,植物的品种是影响土壤微生物群落的最重要因素。Minoshima 等<sup>[6]</sup>比较传统耕作模式和农林混合模式对土壤微生物群落的影响发现,农林混合模式后因为地上植被的生物多样性下降,使土壤微生物群落的大小及组成削弱。土壤微生物极易受土壤环境因子的影响,如土地利用方式、施肥制度、植物多样性、土壤 pH 值、土壤类型、有机无机肥料施用以及环境污染因子等因子均会对土壤微生物产生较大的影响。土壤微生物作用于土壤物质转化和能量流动,并参予许多重要的生物化学反应过程,在一定程度上反映作物对氮素的吸收利用与生长发育状况等,是土壤肥力的一个重要指标<sup>[7]</sup>。

土壤微生物 3 大类群的数量与其发挥的生态功能密切相关,3 大类微生物区系比例是土壤肥力的一个衡量指标,土壤中细菌和放线菌密度高表明土壤肥力水平较高<sup>[8]</sup>。土壤微生物是土壤有机质和养分转化、循环的动力,在土壤肥力形成和发展的许多方面起着极重要的作用<sup>[9]</sup>。同时,土壤微生物能够迅速对周围环境的变化做出反应<sup>[10]</sup>,因此,研究分析林下经济模式对土壤养分和土壤微生物的影响已成为当前土壤科学的研究热点<sup>[11]</sup>。本文对重庆市荣昌县林下经济模式土壤养分和土壤微生物数量及其相互关系进行了研究,为农林牧业实现资源共享的生态农业提供科学依据。

## 1 研究区概况

荣昌县位于四川盆地川中丘陵的川东平行岭谷区交接处,重庆市西部。全境地貌以浅丘为主,土地

肥沃,地势起伏平缓,平均海拔 380 m。属亚热带季风性湿润气候,年平均降水量 1 099 mm,年平均气温 17.8 ℃,年总积温 6 482 ℃,平均气温稳定通过温度的总积温 5 633 ℃,无霜期 327 d,月极端最高温度 39.9 ℃(1972 年),月极端最低温度 -3.4 ℃(1975 年),历年日平均气温稳定通过 12 ℃,为 265 d。该区域林下经济模式主要有:桉树林下禽,主要植被有桉树(*Eucalyptus rdousta*)、飞蓬(*Erigeron acer*)、燕麦草(*Arrhenatherum elatius*)、艾蒿(*Artemisia argyi*);桉树林下菌,主要植被有桉树、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*);麻竹林下禽,主要植被有麻竹(*Dendrocalamus*)、桑树(*Moraceae*);麻竹林下菌,主要植被有麻竹;马尾松林下畜,主要植被有马尾松(*Pinus massoniana*)、飞蓬(*Erigeron acer*)和竹叶草(*Oplismenus compositus*);黄葛树林下草,主要植被有黄葛树(*Ficus virens*)、牛鞭草(*Hemarthria altissima*)、艾蒿、苦苣(*Physalis angulata*)、三叶草(*Trifolium repens*)、飞蓬、龙葵(*Solanum nigrum*)、雾水葛(*Pouzolzia zeylanica*)、野菊(*Chrysanthemum indicum*)、泽漆(*Euphorbia helioscopia*)、蒲儿根(*Sinosencio oldhamianus*)。

## 2 材料与方法

### 2.1 土壤样品的采集

2012 年 7 月上旬,在重庆市荣昌县境内,采用相邻样地比较法,选择土壤类型相同、地形相似、利用类型不同的样地进行调查研究。按照不同土地利用类型,结合该区地形地貌、土壤类型和耕作制度,在对当地居民的详细调查下,选出有代表性的并能充分反映土壤利用特性的地点进行采样。在样地中以“S”型曲线进行多个点采样,采集土壤表层腐殖质混合样品和 0—20 cm 表层土壤混合样品用聚乙烯无菌塑料袋密封保存,将土壤样品带回实验室内。将每种样品充分混匀后分为两份,一份放入冰箱冷藏用于测定土壤微生物数量,另一份风干后用来测定土壤理化性质。采集样地基本情况如表 1 所示。

表 1 四川盆地川中丘陵各林地概况

编号	T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> -CK	T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> -CK	T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> -CK	T <sub>4</sub>	T <sub>4</sub> -CK	T <sub>5</sub>	T <sub>5</sub> -CK	T <sub>6</sub>	T <sub>6</sub> -CK
土壤质地	沙壤土	沙壤土	中壤土	中壤土	沙壤土	沙壤土	轻壤土	轻壤土	中壤土	中壤土	中壤土	中壤土
坡向	N	N	NW	NW	N	N	NW	NW	NW	NW	N	N
坡位	坡上	坡上	坡中	坡中	坡中	坡中	坡下	坡下	坡上	坡上	坡下	坡下
坡度	6°	6°	0°	0°	8°	8°	13°	13°	16°	16°	0°	0°

注: T<sub>1</sub> 为桉树林下禽; T<sub>1</sub>-CK 为桉树林; T<sub>2</sub> 为桉树林下菌; T<sub>2</sub>-CK 为桉树林; T<sub>3</sub> 为麻竹林下禽; T<sub>3</sub>-CK 为麻竹林; T<sub>4</sub> 为麻竹林下菌; T<sub>4</sub>-CK 为麻竹林; T<sub>5</sub> 为马尾松林下畜; T<sub>5</sub>-CK 为马尾松林; T<sub>6</sub> 为黄葛树林下草; T<sub>6</sub>-CK 为黄葛树林。下同。

## 2.2 土壤理化性质分析

土壤养分各项指标测定均采用常规方法:重铬酸钾容量法测定有机质(OM);浓硫酸消化—扩散法测定全氮(TN);NaOH 熔融—钼锑抗比色法测定全磷(TP);NaOH 熔融—火焰光度法测定全钾(TK);碱解扩散法测定碱解氮(AN);NaHCO<sub>3</sub>—钼锑抗比色法测定有效磷(AP);NH<sub>4</sub>Ac—火焰光度法测定速效钾(AK)。

## 2.3 土壤微生物的分离

无菌环境中称取 10 g 土样装于 90 ml 无菌水的三角瓶中,三角瓶内放置少量无菌玻璃珠,震荡 15 min 使土水混合均匀。用稀释平板法,每个样品做 3 个重复。在预备性实验的基础上,选择合适稀释度,分离培养微生物。细菌分析用牛肉膏蛋白胨培养基;真菌用马丁氏—孟加拉红培养基;放线菌用改良高氏一号培养基<sup>[12]</sup>。

本研究用 Excel 进行数据分析和制图处理,用 SPSS 软件进行相关性分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 林下经济模式对土壤养分的影响

林下经济模式下土壤养分含量均高于对照下的土壤养分含量,pH 值在 3.7~7.8,除黄葛树林下草模式外其余样地均小于 7.0,呈中性偏碱性,每个模式与相应对照下的 pH 间差异显著( $p < 0.05$ ,下同);有机质在 T<sub>1</sub>—T<sub>5</sub> 模式下均显著高于对照,在 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 中含量显著高于其他模式;全磷在 T<sub>2</sub> 下含量显著高于其余模式;全氮则在 T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 中显著高于其余模式;全钾在 T<sub>3</sub> 和 T<sub>5</sub> 中含量显著高于其余模式;有效磷在 T<sub>3</sub> 中含量显著高于其余模式,达到 59.26 mg/kg;碱解氮、速效钾含量均在 T<sub>5</sub> 中含量最高,分别为 59.3,66.11 mg/kg。

所有土壤养分含量均比对照处理下土壤养分含量高,与在饲养禽、畜,栽种菌和草等过程中人为加入了饲料和肥料等有关。不同林下经济模式对土壤养分的影响见表 2。

表 2 不同林下经济模式对土壤养分的影响

编号	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH 值
T <sub>1</sub>	22.70±1.81b*	0.63±0.04ab	1.16±0.10ab*	18.58±1.24b*	38.55±5.01b*	36.15±2.74ab*	52.11±4.12b*	4.8±0.1b
T <sub>1</sub> -CK	17.48±1.22	0.59±0.05	0.96±0.10	13.98±1.41	16.83±2.89	26.18±3.56	46.18±6.67	5.6±0.1*
T <sub>2</sub>	34.27±2.50d*	0.98±0.07d*	1.26±0.13ab	12.23±0.85a	53.24±6.78cd*	53.14±6.15d*	40.52±3.44a	5.1±0.1c
T <sub>2</sub> -CK	14.29±1.13	0.65±0.05	1.17±0.08	10.41±0.84	39.11±5.67	38.26±3.45	38.16±4.59	6.9±0.1*
T <sub>3</sub>	34.52±2.32d*	0.72±0.06b	1.25±0.11ab*	25.10±3.56c*	59.26±6.79d*	43.96±2.05bc	41.37±3.55a*	4.3±0.2a
T <sub>3</sub> -CK	14.21±1.55	0.68±0.04	1.03±0.09	15.25±2.35	48.23±6.58	42.63±5.01	35.12±1.58	4.1±0.2
T <sub>4</sub>	20.19±1.73ab*	0.85±0.07c*	1.10±0.09a	14.67±1.56a*	28.56±2.45a	29.25±3.67a	67.65±7.15c*	6.8±0.1d*
T <sub>4</sub> -CK	13.54±1.16	0.69±0.07	1.02±0.10	9.59±1.11	26.66±2.36	27.96±3.48	58.33±7.85	4.1±0.1
T <sub>5</sub>	16.77±1.54a*	0.91±0.09cd*	1.34±0.10b*	22.48±2.03c*	37.14±2.58ab	59.30±7.04d*	66.11±5.46c*	4.6±0.2ab*
T <sub>5</sub> -CK	12.96±1.38	0.88±0.07	0.87±0.06	19.84±2.01	36.59±4.55	38.15±3.59	50.02±6.54	3.7±0.1
T <sub>6</sub>	26.86±2.54c	0.58±0.06a*	1.33±0.08b	18.29±1.52b*	48.25±3.46c*	52.16±5.25cd*	44.06±3.02ab	7.8±0.1e*
T <sub>6</sub> -CK	25.39±2.80	0.42±0.04	1.18±0.10	16.33±1.22	42.56±5.25	47.12±5.76	41.50±3.15	6.2±0.1

注:表中数据为平均值±标准差,小写字母表示不同模式间差异显著( $p < 0.05$ );\*表示处理与对照间差异显著( $p < 0.05$ ),下同。

### 3.2 林下经济模式对土壤微生物组成和数量的影响

真菌、细菌和放线菌是土壤中含量最大的 3 类微生物,它们对土壤中有机质的分解和其他元素的转化有着重要作用。不同的土地利用方式下土壤微生物的组成比例略有不同,但大体一致,其中细菌数量在土壤微生物中占绝对优势,是微生物总数的 90% 左右,放线菌占总量的 8% 左右,真菌最少,占 1% 左右;不同林下经济模式下微生物总量存在着一定差异:T<sub>1</sub> > T<sub>2</sub> > T<sub>5</sub> > T<sub>3</sub> > T<sub>6</sub> > T<sub>4</sub>,土壤层中,真菌数量在所有模式中均无明显差异( $p > 0.05$ );细菌数量在 T<sub>1</sub> 中显

著高于其余模式( $p < 0.05$ );放线菌在 T<sub>2</sub> 中显著高于其余模式( $p < 0.05$ );微生物总数在 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 中含量显著高于 T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> 和 T<sub>6</sub> ( $p < 0.05$ )。腐殖层中,真菌数量在 T<sub>2</sub> 中显著高于其余模式( $p > 0.05$ );细菌数量和微生物总数在 T<sub>3</sub> 中显著高于 T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 模式( $p < 0.05$ )与 T<sub>6</sub> 无明显差异( $p > 0.05$ );放线菌在 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 中显著高于其余模式( $p < 0.05$ )。微生物总数从土壤层与对照看,除 T<sub>4</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理外,各处理土壤层微生物数量均显著高于对照处理( $p < 0.05$ );腐殖层与对照看, T<sub>1</sub>, T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 显著低于对照( $p < 0.05$ ) (图 1)。

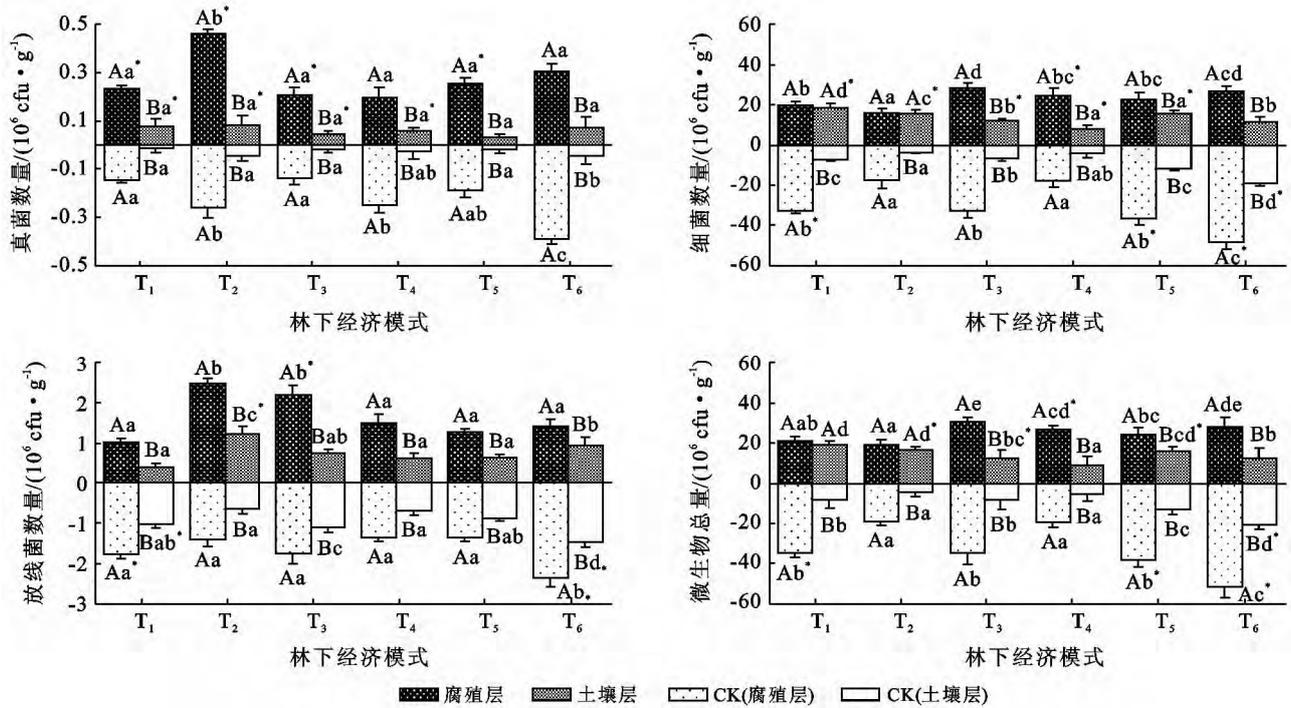


图 1 不同林下经济模式对土壤微生物的影响

注:大写字母表示同一模式下腐殖层与土壤层间差异显著( $p < 0.05$ );小写字母表示同一土层不同模式间差异显著( $p < 0.05$ )。

### 3.3 土壤养分与土壤微生物数量的关系

土壤微生物的生长依赖于土壤的养分水平和环境状况,土壤微生物和土壤养分之间具有协同发展和相互促进作用的关系。

结果表明,有机质含量与真菌数量之间呈显著正

相关( $p < 0.05$ ),与林下种菌中人为增加的物质有关,有机质与细菌放线菌数量呈正相关( $p > 0.05$ ),有效磷和碱解氮与微生物数量间均呈正相关( $p > 0.05$ ),速效钾与微生物数量间呈负相关( $p > 0.05$ )(表 3)。

表 3 土壤主要肥力指标与土壤微生物数量间的相关关系

微生物种类	有机质	全磷	全氮	全钾	有效磷	碱解氮	速效钾	pH 值
细菌	0.533	-0.003	0.421	0.529	0.373	0.559	-0.076	-0.096
真菌	0.697*	0.012	0.619*	-0.018	0.425	0.269	-0.016	0.480
放线菌	0.286	-0.272	-0.024	-0.167	0.249	0.305	-0.658*	0.109
微生物总数	0.543	-0.019	0.415	0.511	0.383	0.568	-0.113	-0.086

## 4 结论

林下经济模式明显提高了土壤养分含量,在不同林下经济模式下,由于林分类型、林下经济模式、林分凋落物和管理模式等的差异使土壤中有机质的来源和转化也有所不同,从而影响了土壤有机质和土壤中其他养分的含量。研究表明,不同的林下经济模式下土壤养分有着不同的变化,有机质变化均显著增加(除 T<sub>6</sub> 外),这与在进行林下种养过程中人为加入养分有关,使土壤中养分含量升高。说明林下经济模式对土壤有机质的积累有显著促进作用,间接地提高了林下生产力。桉树林下种菌模式中有机质显著大于桉树林下养禽模式,说明在桉树林下种菌比养禽提

高土壤养分快,这与种菌过程中添加了大量腐殖质,从而提高了土壤中有机质含量;麻竹林下禽模式中有有机质显著大于麻竹林下菌模式,说明在麻竹林下养禽比种菌提高土壤养分快;全磷、有效磷和碱解氮在桉树林和黄葛树林中有显著增加,说明桉树林和黄葛树林下经济模式对土壤全磷、有效磷和碱解氮的生成有显著的促进作用。由于物质循环过程特性和人为施肥管理水平的差异,不同土地利用方式下土壤的生物和生物化学性状显著不同<sup>[13]</sup>。林下经济模式与土壤微生物之间通过植物多样性来影响土壤微生物的多样性,从而进一步影响到土壤的理化性状,人类的生产与生活可以改变地面的植被组成和生长状况,植物群落的结构和组成的变化会导致植物物种组成的差

异,并对土壤微生物产生重大影响。在 6 种不同的林下经济模式中,腐殖层微生物数量在桉树林下养禽、马尾松林和黄葛树林下养种植中处理组显著低于对照组微生物数量,这与处理组人为生产活动有关;土壤层微生物数量在桉树林下养种植、麻竹林下养禽和马尾松下养殖均显著高于对照处理下微生物数量,说明土壤中微生物数量可通过养种植来提高。真菌数量在桉树林下菌中最大,与桉树林下菌模式投放大量提供真菌生长的物质有关。

本试验结果表明,不同林下经济模式对土壤微生物数量有很大的影响,土壤养分和微生物数量间存在一定的相关性。林下经济模式有利于提高土壤中微生物数量,微生物数量与有机质<sup>[14]</sup>、全氮、碱解氮<sup>[15]</sup>、全钾和有效磷成正相关关系;与土壤 pH 值呈负相关关系,说明碱性土壤不利于土壤微生物的生长,微生物比较适宜于中性或偏酸性的土壤中生长,这与 William 等<sup>[16]</sup>研究的结果不一致。土壤微生物多样性越高则土壤的肥力也越高,其生产力也较高。这是林下生态环境、土壤环境、土壤微生物和土壤养分协同发展的结果。因此,土壤微生物群落在一定程度上调节着土壤乃至整个生态系统功能。

林下经济作为一种人工生态经济复合系统,其产业是一种有别于传统林业生产的经营方式,在保护林业资源、改善生态环境、解决林区贫困等诸多方面均发挥了重要作用,但由于林下经济产生历史不长,不同地区气候、林地资源状况不同,相关研究和文献报道不多,林下经济发展模式要因地制宜。所以,进一步加强林下经济发展的研究和分析,对于促进其健康有序地发展十分必要。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Stocking M A. Tropical soils and food security: the next 50 years [J]. *Science*, 2003,30(2):1356-1359.
- [2] 杜玮超,袁霞,曲同宝. 土壤微生物多样性与地上植被类型关系的研究进展[J]. *当代生态农业*, 2011,1(2):14-18.
- [3] 章家恩,刘文高,胡刚. 不同土地利用方式下土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. *土壤与环境*, 2002,11(2):140-143.
- [4] 张丹桔. 一个年龄序列巨桉人工林地上/地下生物多样性[D]. 成都:四川农业大学,2010.
- [5] 严君,韩晓增,王守宇. 黑土不同植被覆盖与施肥下土壤微生物的变化特征[J]. *土壤通报*, 2009,40(2):240-244.
- [6] Minoshima H, Jackson L E, Cavagnaro T R, et al. Soil food webs and carbon dynamics in response to conservation tillage in California [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2007,71(1):9592-9631.
- [7] 郭天财,宋晓,马冬云,等. 氮素营养水平对小麦根际微生物及土壤酶活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2006,20(3):129-131.
- [8] 王超,吴凡,刘训理,等. 不同肥力条件下烟草根际微生物的初步研究[J]. *中国烟草科学*, 2005(2):12-14.
- [9] 李阜棣. 土壤微生物学[M]. 北京:中国农业出版社,1996.
- [10] Avidano L, Gamalero E, Cossa G P, et al. Characterization of soil health in an Italian polluted site by using microorganisms as bioindicator[J]. *Appl. Soil. Ecol.*, 2005,30(1):321-331.
- [11] 樊晓刚,金轲,李兆君,等. 不同施肥和耕作制度下土壤微生物多样性研究进展[J]. *植物营养与肥料学报* 2010,16(3):744-751.
- [12] 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.
- [13] 杨超,刘国顺,邱立友,等. 不同植烟土壤微生物数量调查研究[J]. *中国烟草科学*, 2007,28(5):31-36.
- [14] 焦如珍,杨承栋,屠星南,等. 人工林不同发育阶段林下植被、土壤微生物、酶活性及养分的变化[J]. *林业科学研究*, 1997,10(4):373-379.
- [15] 孙瑞莲,朱鲁生,赵秉强,等. 长期施肥对土壤微生物的影响及其在养分调控中的作用[J]. *应用生态学报*, 2004,15(10):1907-1910.
- [16] William J, Jack T, Luc C, et al. Soil microbial diversity and community structure across a climatic gradient in western Canada [J]. *Biodiversity and Conservation*, 1998,7(8):1081-1092.