

文章编号: 1001-1498(2010)04-0560-07

三峡库区云阳县三种类型马尾松林微生物区系及优势种群分析 . 林地土壤细菌、芽孢杆菌和真菌

牟新涛¹, 李永¹, 李强军², 郭民伟¹, 朴春根^{1*}

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 重庆市云阳县林业局, 重庆 云阳 404500)

摘要: 为探讨马尾松不同类型林地土壤微生物区系及其季节变化, 对三峡库区云阳县马尾松近熟龄天然林、中龄天然林和人工林林地土壤可培养细菌、芽孢杆菌(*Bacillus* spp.) 和真菌进行了分析。结果表明, 林地土壤微生物优势种群种类和数量因不同森林类型林地和季节有所差异。中龄天然林的细菌数量显著高于近熟龄天然林和人工林, 其四季变化也最大, 而近熟龄天然林和人工林则相对平缓。林地土壤细菌优势种群主要是芽孢杆菌(*Bacillus* spp.) 和假单胞菌(*Pseudomonas* spp.), 尤以蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*) 居多, 在四季中冬季细菌的优势种群数量所占比例最高(近熟龄天然林 > 人工林 > 中龄天然林), 优势种群近熟龄天然林为芽孢杆菌, 占 39.74%; 人工林为假单胞菌, 占 37.26%; 中龄天然林为蜡状芽孢杆菌, 占 24.91%。三种林地类型土壤的芽孢杆菌在不同季节都以蜡状芽孢杆菌(占 20% 和 49%) 和芽孢杆菌科(*Bacillaceae*) 一种(种名未定) 为优势种群。三种林地类型土壤真菌优势种群在秋季所占比例最高, 且人工林 > 近熟龄天然林 > 中龄天然林; 优势种群数量及所占比例人工林为核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*), 33.08%, 近熟龄天然林为核盘菌, 31.7%, 中龄天然林为瓦克青霉(*Penicillium waksmanii*), 25.15%。

关键词: 土壤细菌; 土壤真菌; 马尾松; 优势种群

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

Analysis on Microbial Flora and Dominant Populations in Three Types of *Pinus massoniana* Forests in Yunyang County of the Three Gorges Reservoir Area . Bacteria, *Bacillus* and Fungi Species in Forest Land Soil

MOU Xin-tao¹, LI Yong¹, LI Qiang-jun², GUO Min-wei¹, PIAO Chun-gen¹

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Yunyang Forestry Bureau, Chongqing City, Yunyang 404500, Chongqing, China)

Abstract: To explore the soil microbial flora and their seasonal changes on different forest types of *Pinus massoniana*, the cultivable bacteria, *Bacillus* spp. and fungi in the soil of near-matured forest, middle-aged forest and plantation in Yunyang County of the Three Gorges Reservoir Area were analyzed. The results showed that the species of dominant populations and quantities of soil microbial in forest land soil were different following seasons vary and forest types. The quantities of bacteria in middle-aged forest was significantly higher than that in near-matured forest and plantation, and it changed greatly as seasons change, while the change in near-matured forest

收稿日期: 2008-05-24

基金项目: 林业微生物菌种资源标准化整理、整合及共享试点子项目(2005DKA21207), 中央级公益性科研院所基金:(CAF RIFEFP200907)

作者简介: 牟新涛(1981—), 男, 山东烟台人, 现为南非比勒陀利亚大学博士生。

* 通讯作者。

and plantation were relatively gentle. The dominant species of bacteria in forest land soil were mainly *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. and especially *Bacillus cereus*. The dominant bacterial population was the highest in the winter (near-matured forest > plantation > middle-aged forest), the dominant species in near-matured forest was *Bacillus*, accounting for 39.74%; that in plantation was *Pseudomonas* spp., 37.26%; that in middle-aged forest was *Bacillus cereus*, 24.91%. In the soil of the three types of forest land in different seasons, *Bacillus cereus* (20% to 49%) and one of the species (unidentification) of Bacillaceae were the dominant species. The dominant fungi species in the soil of the three forest types had the highest proportion in the autumn, and followed the order of plantation > near-matured forest > middle-aged forest; the dominant population and the percentage took in plantation, near-matured forest and middle-aged forest were respectively *Sclerotinia sclerotiorum*, 33.08%, *Sclerotinia sclerotiorum*, 31.7%, *Penicillium waksmanii*, 25.15%.

Key words: soil bacteria; soil fungi; *Pinus massoniana*; dominant populations

森林生态系统的研究主要集中在林木及其林下植被上,而对森林不同生态系统中微生物的相关研究较少^[1]。早期森林土壤微生物研究主要集中在林木的共生真菌——菌根,特别是对黑松(*Pinus thunbergii* Parl.)、樟子松(*Pinus sylvestris* Linn. var. *mongolica* Litvin.)外生菌根的研究;对近熟龄天然林和人工林生态系统中微生物的作用也做过一些研究^[2-3]。20世纪70年代以来,国内外对森林土壤微生物进行了广泛深入的研究,其中,在林地土壤和根际微生物区系中土壤养分转化与循环、生态平衡、土传植物病害、固氮作用以及林业技术措施与微生物的相互影响等方面做了大量研究^[4-5]。森林土壤环境相对稳定,芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)等土壤习居菌对森林生态环境与健康具有重要意义。微生物作为森林生态系统的重要组成部分,参与森林生态系统的物质循环和能量流动,其代谢活动是森林生态系统的枢纽工程^[6]。

云阳县行政隶属于重庆市,位于三峡库区腹地,森林覆盖率达30.99%,其沿岸的森林生态环境、森林微生物种类和数量变化较有代表性。本文对马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)近熟龄天然林、中龄天然林和人工林三种类型林地土壤可培养微生物类群进行了比较分析研究,以了解不同森林类型林地土壤微生物类群数量和优势种群数量差异及其季节变化,为森林生态系统的生物多样性、维护森林生态系统的稳定提供科学资料。

1 实验地概况

云阳县三块典型的马尾松近熟龄天然林,中龄天然林,人工林作为实验样地。近熟龄天然林树龄30年,平均胸径20 cm,树高16 m;中龄天然林树龄

20年,平均胸径14 cm,树高13 m;人工林树龄5年,平均胸径4 cm,树高3 m。样地的海拔高度、经纬度与土壤类型近熟龄天然林分别为785.7 m, 31°00' N, 108°34' E,山地黄壤土;中龄天然林分别为879.4 m, 31°00' N, 108°34' E,山地黄壤土。近熟龄天然林乔木层为马尾松及少量杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.),中龄天然林乔木层建群种为马尾松,且多为纯林,近熟龄天然林和中龄天然林林下灌木层主要有:小黄构(*Wikstroemia micrantha* Hemsl.)、盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)、马桑(*Coriaria nepalensis* Wall.)、黄荆(*Vitex negundo* Linn.)等;林下草本植物主要有:丝茅(*Imperata koenigii* (Retz.) Beauv)、芒(*Miscanthus sinensis* Andersson)、马兰(*Wedelia chinensis* (Osbeck) Merr.)、小白酒草(*Coryza canadensis* (L.) Cronq.)等,人工林海拔高度422.5 m, 424.2 m,经纬度为30°59' N, 108°39' E,紫色土,林下尚无灌木和草本植物。云阳县年平均气温为18℃左右,年降水量平均1100 mm左右。人工林距离人类活动区较近(约300 m),而近熟龄天然林和中龄天然林则较远(约3000 m)。

2 材料与方 法

2.1 样品的采集

从2006年11月开始,以3个月为间隔,对3块林地进行四季取样,每块林地随机以S形5点取林地表层土(0-10 cm),无菌袋包装,置于0-4℃保存,待用。

2.2 样品的分离培养及计数

称取10.0 g土样加入到盛有玻璃珠和90 mL无菌水的三角瓶中,摇床振荡30 min作为稀释用样液,同时测土壤含水量^[7]。其他采用涂抹接种法;细

菌采用牛肉膏蛋白胨培养基,以稀释度 10^{-3} 到 10^{-5} 的稀释液接种,37℃ 培养 2 天后计数;真菌采用马丁氏-孟加拉红培养基,以稀释度为 10^{-2} 到 10^{-4} 的稀释液接种,28℃ 培养 5 到 7 天后计数^[8];重复三次。

2.3 微生物的鉴定方法

细菌采用 16S rDNA-ITS 区序列分析和生理生化特征相结合的鉴定方法^[9-12];真菌采用 18S rDNA-ITS 区序列分析和形态特征相结合的鉴定方法^[13-16]。

3 结果与分析

三种类型林地土壤含水量四季变化基本一致,即春季较其他三季高,人工林和中龄天然林较近熟龄天然林四季变化大,近熟龄天然林的四季变化相对平缓;中龄天然林四季土壤含水量均显著高于近熟龄天然林和人工林,且近熟龄天然林和人工林四季土壤含水量差异不显著(图 1)。

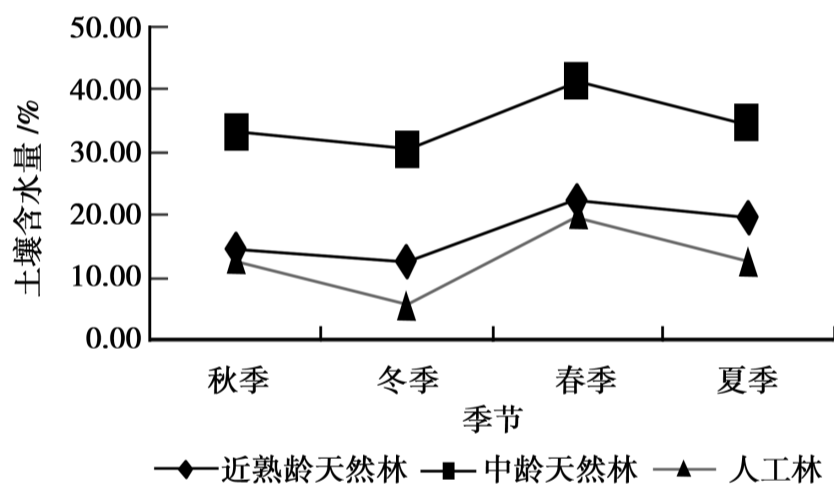


图 1 土壤含水量变化

3.1 细菌

三种类型林地细菌数量四季变化趋势基本相似,即春季最高(近熟龄天然林、中龄天然林和人工林细菌数量分别为 1.2×10^8 、 2.2×10^8 、 9×10^7 cfu·g⁻¹),依次是夏季、冬季和秋季(人工林秋季略大于冬季)。中龄天然林细菌数量均显著高于近熟龄天然林和人工林,秋季三种类型林地细菌数量差异不显著,且近熟龄天然林和人工林的四季细菌数量差异亦均不显著(图 2)。林地土壤细菌的基本类群相似,以芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)和假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)尤其蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)居多;近熟龄天然林和中龄天然林的优势种群的种类多样性大于人工林,近熟龄天然林秋、冬、春、夏四季的优势种群种类数量分别为 5、3、5、4 种,中龄天然林分别为 3、4、5、4 种,而人工林为 3、3、4、3 种。三种林地类型的优势种群数量所占比例因森林

类型、季节变化而变化,冬季三种林地类型的优势种群数量所占比例均最高,近熟龄天然林 > 人工林 > 中龄天然林,近熟龄天然林优势种群为芽孢杆菌,其数量占 39.74%;人工林优势种群为假单胞菌,其数量占 37.26%;中龄天然林优势种群为蜡状芽孢杆菌,其数量占 24.91%。三种林地土壤优势种群的差异主要是近熟龄天然林土壤中检测出寡养单胞菌(*Stenotrophomonas* spp.)和粘质沙雷氏菌(*Serratia marcescens* Bizio),中龄天然林土壤中检测出色杆菌(*Chromobacterium* spp.),人工林土壤中检测出葡萄球菌(*Staphylococcus* spp.)(表 1)。

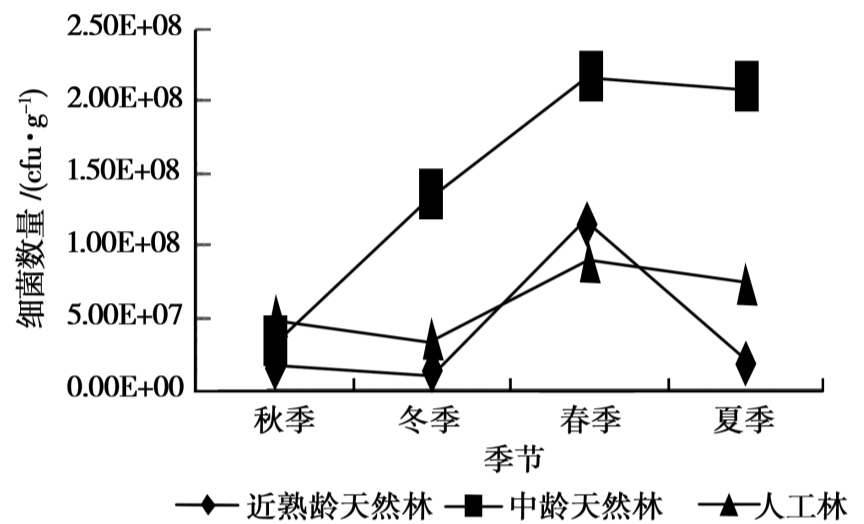


图 2 土壤细菌数量变化

3.2 芽孢杆菌

林地土壤芽孢杆菌数量,中龄天然林的四季变化较大,近熟龄天然林和人工林则相对平缓;冬季中龄天然林土壤芽孢杆菌的数量显著高于近熟龄天然林和人工林,秋、春、夏三季近熟龄天然林、中龄天然林和人工林土壤芽孢杆菌数量差异均不显著,且近熟龄天然林和人工林四季土壤芽孢杆菌数量差异不显著(图 3)。在夏、秋两季,近熟龄天然林优势种群的种类为 3 种,冬、春两季各为 4 种;而中龄天然林和人工林优势种群的种类在秋季为 4 种,冬、春、夏三季均为 3 种。近熟龄天然林、中龄天然林和人工林三种森林类型土壤芽孢杆菌优势种群种类在不同的季节只有部分相同(如蜡状芽孢杆菌),相同的优势种群,其数量所占百分比也因季节和森林类型有所变化;三种森林类型在不同季节土壤都以蜡状芽孢杆菌和芽孢杆菌科(*Bacillaceae*)一种(种名未定)为优势种群,所占比例均较高,其中蜡状芽孢杆菌为 20% 到 49%;但三种林地间芽孢杆菌优势种群数量也存在差异,近熟龄天然林和中龄天然林土壤中检测出梭形芽孢杆菌(*Bacillus fusiformis* Priest et al.)和球形芽孢杆菌(*Bacillus sphaericus* Meyer and Neide),中龄天然林和人工林土壤中检测出蕈状芽孢杆

表 1 土壤表面细菌优势种群数量变化(>3%)

季节	森林类型及所占比例					
	近熟龄天然林	所占比例%	中龄天然林	所占比例%	人工林	所占比例%
秋季	芽孢杆菌科(Bacillaceae) 一种	15.18	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	19.04	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	19.17
	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	11.88	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	18.22	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	13.61
	寡养单胞菌 <i>Stenotrophomonas</i> sp.	8.04	蕈状芽孢杆菌 <i>Bacillus mycooides</i> Flügge	17.31	蕈状芽孢杆菌 <i>Bacillus mycooides</i> Flügge	7.96
	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	4.46				
	荧光假单胞菌 <i>Pseudomonas fluorescem</i>	3.30				
冬季	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	39.74	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	24.91	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	37.26
	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	19.62	芽孢杆菌科(Bacillaceae) 一种	16.25	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	10.88
	芽孢杆菌科(Bacillaceae) 一种	16.67	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	4.33	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	8.9
春季	粘质沙雷氏菌 <i>Serratia marcescens</i> Bizio	12.02	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	11.19	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	17.97
	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	11.28	球形芽孢杆菌 <i>Bacillus sphaericus</i> Meyer and Neide	11.4	荧光假单胞菌 <i>Pseudomonas fluorescens</i> Migula	16.59
	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	6.38	荧光假单胞菌 <i>Pseudomonas fluorescens</i> Migula	9.46	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	11.48
	球形芽孢杆菌 <i>Bacillus sphaericus</i> Meyer and Neide	3.19	芽孢杆菌科(Bacillaceae) 一种	6.08	葡萄球菌 <i>Staphylococcus</i> sp.	7.88
	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	3.19	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	4.69		
夏季	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	25.99	色杆菌 <i>Chromobacterium</i> sp.	12.15	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	37.5
	寡养单胞菌 <i>Stenotrophomonas</i> sp.	9.52	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	10.74	芽孢杆菌科(Bacillaceae) 一种	23.09
	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	8.26	芽孢杆菌科(Bacillaceae) 一种	10.74	葡萄球菌 <i>Staphylococcus</i> sp.	7.85
	粘质沙雷氏菌 <i>Serratia marcescens</i> Bizio	5.94	假单胞菌 <i>Pseudomonas</i> sp.	4.96		

菌(*Bacillus mycooides* Flügge), 而近熟龄天然林土壤中还检测出嗜几丁质类芽孢杆菌(*Bacillus chitinolyticus* Kuroshima *et al.*)。(表 2)。

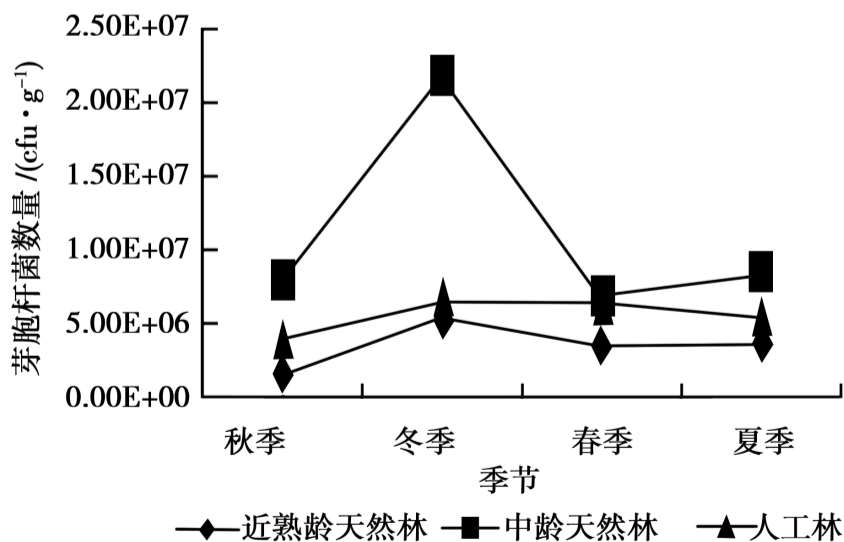


图 3 芽孢杆菌数量变化规律

3.3 真菌

林地土壤真菌数量, 中龄天然林的四季变化较大, 夏季明显高于春季、秋季和冬季; 近熟龄天然林

和人工林的四季变化相对平缓; 夏季、秋季和冬季中龄天然林真菌的数量均显著高于近熟龄天然林和人工林, 四季中近熟龄天然林和人工林土壤真菌的数量差异均不显著(图 4)。近熟龄天然林、中龄天然林和人工林土壤真菌优势种群在不同的季节只有部分相同, 相同的优势种群其数量所占百分比也随季节和森林类型而变化, 其中秋季优势种群数量所占比例最高, 且人工林 > 近熟龄天然林 > 中龄天然林, 三种林地秋季优势种群及所占比例分别人工林为核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary), 33.08%, 近熟龄天然林为核盘菌, 31.7%, 中龄天然林为瓦克青霉(*Penicillium waksmanii* K. M. Zalesky), 25.15%。三种类型林地土壤真菌主要为核盘菌和青霉(*Penicillium* spp.), 都检测出了局限青霉(*Penicillium restrictum* J. C. Gilman & E. V. Abbott)、核盘菌、被孢霉(*Mortierella* sp.) 和黑曲霉

表 2 土壤芽孢杆菌优势种群数量变化(>3%)

季节	森林类型及所占比例					
	近熟龄天然林	所占比例%	中龄天然林	所占比例%	人工林	所占比例%
秋季	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	28.57	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	48.83	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	27.83
	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	21.43	蕈状芽孢杆菌 <i>Bacillus mycoides</i> Flügge	20.61	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	17.06
	梭状杆菌 <i>Bacillus fusiformis</i> Priest et al.	15.00	梭状杆菌 <i>Bacillus fusiformis</i> Priest et al.	11.61	蕈状芽孢杆菌 <i>Bacillus mycoides</i> Flügge	15.00
			芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	10.95	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	11.32
冬季	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	41.47	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	28.51	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	20.97
	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	22.13	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	17.04	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	19.83
	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	17.29	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	12.76	<i>Bacillaceae</i> bacterium	5.97
	嗜几丁质芽孢杆菌 <i>Bacillus chitinolyticus</i> Kuroshima et al.	13.13				
春季	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	44.30	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	29.09	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	25.97
	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	9.07	球形芽孢杆菌 <i>Bacillus sphaericus</i> Meyer and Neide	14.32	芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> sp.	19.83
	球形芽孢杆菌 <i>Bacillus sphaericus</i> Meyer and Neide	9.07	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	12.05	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	8.54
	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	8.02				
夏季	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	32.69	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	34.93	蜡状芽孢杆菌 <i>Bacillus cereus</i> Frankland and Frankland	29.39
	嗜几丁质芽孢杆菌 <i>Bacillus chitinolyticus</i> Kuroshima et al.	16.85	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	9.66	芽孢杆菌科 (Bacillaceae) 一种	26.09
	梭状杆菌 <i>Bacillus fusiformis</i> Priest et al.	13.48	球形芽孢杆菌 <i>Bacillus sphaericus</i> Meyer and Neide	9.66	蕈状芽孢杆菌 <i>Bacillus mycoides</i> Flügge	7.60

(*Aspergillus niger* Tiegh); 中龄天然林和人工林土壤中均检测出瓦克青霉和杂色曲霉 (*Aspergillus versicolor* (Vuill.) Tirab.); 此外, 近熟龄天然林土壤中检测出曲霉 (*Aspergillus nominus* Kurtzman, B. W. Horn & Hesselt) 和赭绿青霉 (*Penicillium ochrochloron* Biourge), 中龄天然林土壤中检测出涎沫假丝酵母 (*Candida zeylanoides* (Castell.) Langeron & Guerra) 和齿孢青霉 (*Penicillium daleae* K. M. Zalessky), 人工林土壤中则检测出产黄青霉 (*Penicillium chrysogenum* Thom)、拟盘多毛孢 (*Pestalotiopsis neglecta* (Thüm.) Steyaert) 和聚多曲霉 (*Aspergillus sydowii* (Bainier & Sartory) Thom & Church) (表 3)。

4 讨论

本研究结果表明, 中龄天然林的林地土壤微生物数量显著高于近熟龄天然林和人工林, 且中龄天然林的四季变化也最大, 而近熟龄天然林和人工林的四季变化相对较平缓。认为与林地植被多样性以及森林透气性、涵水量有关。近熟龄天然林由于马

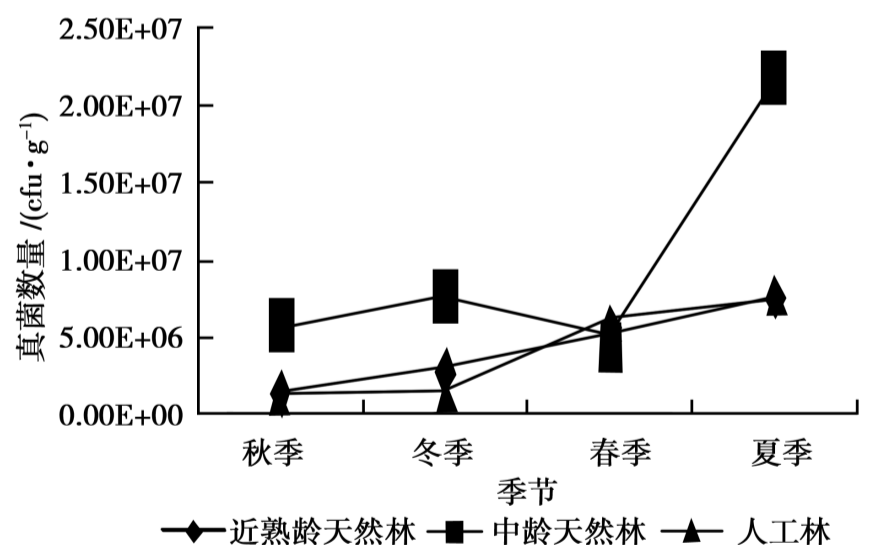


图 4 土壤真菌数量变化规律

尾松树龄大(30 年)且较密, 抑制了林下植被的生长, 其林下只有少量的杉木和灌木, 由于植被密度过大, 水分涵养能力反而下降; 中龄天然林由于马尾松树龄适中(20 年)和间伐, 致使林内透光度和透气性好, 林下植被相当丰富, 水分涵养能力上升; 人工林是马尾松纯林且树龄小(5 年), 林下只有少量草被, 水分涵养能力低下。因此近熟龄天然林和人工林的林下植被都不如中龄天然林丰富。

表3 土壤真菌优势种群数量变化(>3%)

季节	森林类型及所占比例					
	近熟龄天然林	所占比例%	中龄天然林	所占比例%	人工林	所占比例%
秋季	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	31.70	瓦克青霉 <i>Penicillium waksmanii</i> K. M. Zalessky	25.15	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	33.08
	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	19.70	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	22.12	瓦克青霉 <i>Penicillium waksmanii</i> K. M. Zalessky	15.38
	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	10.50	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	5.97	青霉 <i>Penicillium</i> sp.	13.08
冬季	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	30.00	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	19.43	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	25.64
	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp.	15.20	涎沫假丝酵母 <i>Candida zylanoidea</i> (Castell.) Langeron & Guerra	10.00	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gil Gilman & E. V. Abbott	18.00
	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	11.10	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh	9.43	被孢霉属 <i>Mortierella</i> sp.	16.1
春季			核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	9.43	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh	10.2
	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp.	18.30	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	15.21	产黄青霉 <i>Penicillium chrysogenum</i> Thom	25.27
	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	15.00	被孢霉 <i>Mortierella</i> sp.	12.62	忽视拟盘多毛孢 <i>Pestalotiopsis neglecta</i> (Thüm.) Steyaert	15.62
	赭绿青霉 <i>Penicillium ochrochloron</i> Bi- ourge	12.50	杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab.	11.25	杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab	11.71
夏季			黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh	8.86		
	匿名曲霉 <i>Aspergillus nominus</i> Kurtz- man, B. W. Horn & Hesselt	16.50	齿孢青霉 <i>Penicillium daleae</i> K. M. Zalessky	17.81	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh	18.00
	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	11.50	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh	14.25	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	13.38
	黑曲霉 <i>Aspergillus niger</i> Tiegh	9.87	核盘菌 <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	13.46	齿孢青霉 <i>Penicillium daleae</i> K. M. Zalessky	11.85
	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	9.41	局限青霉 <i>Penicillium restrictum</i> J. C. Gilman & E. V. Abbott	11.87	杂色曲霉 <i>Aspergillus versicolor</i> (Vuill.) Tirab	4.62
				聚多曲霉 <i>Aspergillus sydowii</i> (Bainier & Sartory) Thom & Church	4.15	

微生物的多样性与环境中物种多样性是相关的, 致使中龄天然林微生物数量高于近熟龄天然林和人工林。杉木人工林的研究结果表明, 林下植被发育和植物多样性与微生物的种群及数量呈正相关, 当林下植被覆盖度达70%以上, 生物量达 $4\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时能明显影响土壤微生物区系的组成, 提高土壤中水解酶类和氧化还原酶类的活性; 在郁闭度0.7的林分中, 林下植被发育迅速, 间伐4年后, 有效地提高了土壤中营养元素的含量, 增加了土壤三大类微生物的数量^[17-19]。近熟龄天然林和人工林林地土壤微生物数量和多样性差异不大, 认为虽然近熟龄天然林土壤腐殖质含量较高, 而人工林腐殖质含量较少, 但人工林距离住宅区较近(仅300 m), 易受人为活动干扰, 其林地微生物区系也必然受影响。

近熟龄天然林、中龄天然林和人工林三种森林类型土壤微生物细菌、芽孢杆菌和真菌的优势种群

数量在不同季节部分相同, 其变化较为复杂, 说明土壤虽然是最适宜微生物生活的生态环境, 具有微生物进行生长繁殖和生命活动的各种条件, 但影响土壤微生物多样性的元素很多, 如: 营养、水分、渗透压、空气、pH值、温度以及森林植物多样性等。尽管林地土壤微生物的数量及其优势种群数量因季节和森林类型而变化, 但本研究结果还是基本反映了三种类型马尾松林林地土壤微生物的特征及季节变化, 尤其是芽孢杆菌种群相对稳定。今后随着对林地土壤微生物区系进一步系统研究, 对森林生态系统的健康体系将有全面了解。

参考文献:

- [1] 程东升. 森林微生物生态学[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993: 300 - 329
- [2] 张猛, 张建. 林地土壤微生物、酶活性研究进展[J]. 四川农

- 业大学学报, 2003, 12: 347 - 351
- [3] 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书(林业卷) [M] . 北京: 农业出版社, 1989: 547 - 548
- [4] 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书(土壤卷) [M] . 北京: 农业出版社, 1996: 388 - 390
- [5] 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
- [6] 年士政. 森林微生物 DNA 分析技术及其应用 [J] . 广州林业科技, 2002, 18(2) : 23 - 26
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M] . 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 466 - 467
- [8] 王守正, 王海燕, 李洪连, 等. 植物微生物区系和植物抗病性研究 [J] . 河南农业科学, 2001(5) : 20 - 22
- [9] 张玉玲, 黄 琼, 汪安云, 等. 白肋烟晾制期间烟叶中细菌的分离和鉴定 [J] . 中国烟草学报, 2007, 13(1) : 37 - 40
- [10] 罗 兰, 袁忠林, 陈 荃. 小麦全蚀病菌拮抗细菌的筛选及鉴定 [J] . 莱阳农学院学报, 2006, 23(3) : 205 - 207
- [11] 东秀珠, 蔡妙英. 常用细菌系统鉴定手册 [M] . 北京: 科学出版社, 2001: 353 - 398
- [12] 布坎南 R E, 吉本斯 N E. 伯杰细菌鉴定手册 [M] . 中国科学院微生物研究所《伯杰细菌鉴定手册》翻译组译. 北京: 科学出版社, 1984
- [13] 魏景超. 真菌鉴定手册 [M] . 上海: 上海科学技术出版社, 1979
- [14] Gardes M, Bruns T D. ITS primer with enhanced specificity for basidiomycetes: Application to the identification of mycorrhizae and rusts [J] . Mol Ecol, 1993: 113 - 118
- [15] 张志华, 洪 葵. 核酸序列直接分析在真菌鉴定方面的应用 [J] . 华南热带农业大学学报, 2006, 12(2) : 39 - 42
- [16] 刘春来, 文景芝, 杨明秀, 等. rDNA-ITS 在植物病原真菌分子检测中的应用 [J] . 东北农业大学学报, 2007, 38(1) : 101 - 106
- [17] 李春义, 马履一, 徐 昕. 抚育间伐对森林生物多样性影响研究进展 [J] . 世界林业研究, 2006, 19(6) : 27 - 31
- [18] 焦如珍, 杨承栋, 屠星南, 等. 杉木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
- [19] 盛炜彤, 杨承栋, 范少辉. 杉木人工林的土壤性质变化 [J] . 林业科学研究, 2003, 16 (4) : 377 - 385