

福建万木林自然保护区米楮和杉木细根分解动态

金 钊^{1, 3}, 杨玉盛², 董云社^{1, 2}, 齐玉春¹, 陈光水²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350012;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:应用网袋法和砂滤管法对福建省万木林自然保护区米楮、杉木细根及两树种细根混合样品分解进行了为期两年的研究。结果表明:(1)两种方法研究细根分解,米楮细根在自身群落中分解最快,月分解速率分别为 0.0052 (0~1 mm) 和 0.0080 (1~2 mm)。此外,米楮细根及其混合样品在米楮林中分解,1~2 mm 径级分解快于 0~1 mm 径级;而杉木细根及其混合样品在杉木林中分解,规律相反。林地土壤环境条件、各径级细根自身的质量特性是影响细根分解的主要因子。(2)两种方法所得结果均能应用 Olso 负指数方程进行较好的拟合,拟合的各项指标相近。在亚热带森林生态系统中,运用砂滤管法研究细根分解具有可行性。此外,砂滤管法研究细根分解过程中养分的释放规律,具有一定的应用前景。

关键词:细根;分解;网袋法;砂滤管法;米楮;杉木;万木林自然保护区;福建省
文章编号:1000-0585(2007)03-0491-09

细根具有巨大的吸收表面积,生理活性强,是树木水分和养分吸收的主要器官。细根虽然在树木根系总生物量中的比例小于 30%^[1, 2],约占森林总生物量的 5%左右^[3],但其生长与周转迅速,周转速率大约是枯枝落叶的 2.2~5.0 倍^[1~5]。每年枯死细根向土壤输入的 N 可能超过地上枯枝落叶^[5],对土壤总 C 的贡献大约为 25~80%^[6, 7]。所以,细根在森林生态系统 C 平衡和养分循环中发挥着重要作用,是森林生态系统的重要组成部分。随着全球碳循环研究的开展和对森林生态系统研究的深入,细根受到生态学界的普遍关注,成为森林碳循环研究热点之一^[8, 9]。细根分解作为细根周转的一个重要环节,控制着细根周转率和养分循环的速率。研究细根分解过程及其控制因子,能够深入了解生态系统中与细根分解有关的 CO₂ 动态、养分循环、有机质动态等^[10~12]。这些与细根分解有关的生物地球化学行为,在森林生态系统的物质和能量循环中至关重要。

目前,国内有关林木细根生长、寿命、生物量、生产量、周转、分布以及季节变化等方面的研究报道较多^[13~16],而系统研究细根分解过程的报道较少^[17]。细根分解研究主要使用网袋法和原状土芯法。网袋法应用较为广泛,但该方法对细根和土壤的干扰较大,通常会低估细根分解速率^[14];原状土芯法虽对根系周围的物理环境和微生物环境干扰较少,但样本之间变异大,取样必须足够多^[10]。由于这些方法均存在不足,因此研究方法的探

收稿日期:2006-08-06;修订日期:2007-01-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40501072, 30170770);高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目;中国科学院知识创新重大项目(KZCX1-SW-01-04);国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412503);中国科学院地理科学与资源研究所知识创新项目(CXI0G-E01-03-03)

作者简介:金钊(1979-),男,湖北咸宁人,博士研究生。研究方向为环境生物地球化学与全球变化。

通讯作者:杨玉盛,教授,博士生导师。E-mail: geoyys@fjnu.edu.cn

索也是细根分解研究的一项重要内容。另外,对于不同研究方法,Dornbush等在银枫木、冬小麦和玉米三种植物细根的分解实验中,应用网袋法和原状土芯法进行了对比研究^[18],而国内这方面的研究报道较为鲜见。本研究以野外实验为基础,把广泛应用于农业生态系统研究有机物料分解过程的砂滤管法^[19~25]应用到森林生态系统中,并与网袋法作比较,研究细根分解过程中干重残留率的变化,并比较两种方法的差异,初步探讨砂滤管法在细根分解研究中的可行性,以期对国内细根分解及相关研究方法的探索有所帮助。

1 研究方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省建瓯市万木林自然保护区,地处武夷山和鹫峰山之间(27°03'N, 118°09'E),属中亚热带季风气候,年均气温 19.4℃,年降水量 1731.4 mm,年蒸发量 1466 mm,相对湿度 81%,全年无霜期 277 天,土壤为花岗岩发育的红壤。万木林迄今已有 600 多年历史,由原人工杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林逐渐演替为中亚热带常绿阔叶林地带性植被,是我国首批划定的自然保护区^[26]。诸多植物群落共存于自然保护区中,其中以樟科、木兰科、壳斗科、杜英科、山茶科、冬青科、山矾科和金缕梅科等植物种类为主。本研究选择了其中的米槠林和杉木人工林为主要研究对象,其中米槠林海拔 510 m,平均坡度 15°,土层深厚肥沃,乔木层主要由米槠(*Castanopsis carlesii*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、木荷(*Schima superba*)、拉氏栲(*Castanopsis lamontii*)、丝栗栲(*Castanopsis fargesii*)、浙江桂(*Cinnamomum chekiangense*)、台湾冬青(*Ilex formosana*)及薄叶山矾(*Symplocos anomala*)组成,其中米槠为建群种,在群落中占绝对优势,重要值为 147.69,杜英所占比例也较大,重要值为 41.05^[27],灌木层植物种类较少,以杜茎山(*Maesa japonica*)、百两金(*Ardisia crispa*)为主;杉木人工林海拔 350 m,坡度 21°,为 1969 年更新的人工林,树种单一,林分结构简单,乔木由单一杉木组成,平均树高 18 m,灌木层以杜茎山(*Maesa japonica*)、狗骨柴(*Tricalysia dubia*)、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)为主。两群落的特征及其立地土壤理化性质如表 1:

表 1 米槠林和杉木林群落特征及立地土壤理化性质

Tab. 1 Forest community characteristics and soil physiochemical properties of *C. carlesii* forest and *C. lanceolata* (chinese fir) plantation

群落 类型	林分特征			土壤理化性质 (0~20cm)		
	平均树高(m)	平均胸径(cm)	有机质含量(%)	总 N 含量(%)	总 P 含量(%)	水解 N(mg·kg ⁻¹)
米槠林	23	29.4	3.82	0.128	0.027	146.9
杉木林	18	18.3	2.86	0.081	0.040	93.2

1.2 试验方法

1.2.1 样品采集 细根样品分别取自米槠林群落和人工杉木林群落。采用挖掘法挖取米槠林和杉木林 0~20 cm 土层细根,取回后用自来水冲洗,除去根系上附着的土壤,摊开自然风干。风干后用游标卡尺把米槠细根和杉木细根分成 0~1 mm、1~2 mm 两个径级,按径级混匀,50℃低温烘干。分解材料为 0~1 mm、1~2 mm 米槠细根,0~1 mm、1~2 mm 杉木细根,0~1 mm、1~2 mm 米槠细根和杉木细根混合样品(米槠、杉木按 1:1 比例混匀)。另外,在分解实验开始前,取部分上述样品粉碎,过 1 mm 筛,测定细根中有机碳、全氮初始含量(表 2)。

表 2 供试细根初始 C、N 含量及 C/N 比背景值

Tab. 2 The contents of C and N and ratio of C/N of fine roots samples

C、N 含量 (%) 及 C/N	米槠细根		杉木细根		米槠、杉木细根混合样品	
	0~1 mm	1~2 mm	0~1 mm	1~2 mm	0~1 mm	1~2 mm
C (%)	49.83	49.34	48.35	51.24	49.09	50.29
N (%)	0.94	0.43	0.51	0.60	0.73	0.52
C/N	53	115	95	85	68	98

土壤样品取自各群落。米槠细根分解与杉木细根分解分别取两群落 0~20 cm 表层土壤, 而米槠、杉木细根混合样品分解则是分别取两群落 0~20 cm 表层土壤混匀。土壤样品取回后, 去除根系, 风干, 磨碎, 过 1 mm 土壤筛, 用于砂滤管试验。

1.2.2 试验设计 细根分解试验从 2002 年 5 月开始, 至 2004 年 5 月结束。采用砂滤管土埋试验法, 并以网袋法为对照。其中, 砂滤管规格为 38 mm (内径) × 155 mm (高), 管壁厚 8.5 mm, 能透水、透气但植物细根和较大型土壤动物不能进入, 网袋为长宽 10 cm × 10 cm, 孔径为 0.1 mm 的尼龙网袋。两种方法的具体试验过程如下:

砂滤管法。取部分供试细根材料粉碎、过 1 mm 筛。每只砂滤管取 100 g 干重土壤和 3g 干重细根混合均匀后, 装管加盖, 用胶布封口。砂滤管垂直埋入 20 cm 深度土壤中, 用表土悬浊液淋洗接种微生物后, 盖上表土与地表相平, 覆盖表土厚度为 5cm。每种供试材料设 18 个重复、18 个空白 (不含细根), 分别在米槠林群落和杉木林群落埋置, 用塑料标签标记。取样时间为供试细根埋置后 3、6、9、12、15、24 个月, 每次每种供试材料取 3 管样品和 3 管空白。取样后, 分别将砂滤管内土壤样品倒至自封袋中, 风干, 磨碎, 过 0.149 mm 筛, 50℃ 烘干后用 $K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 外加热法测定土壤中有机碳含量。

尼龙网袋法。取部分供试细根材料, 剪切成 5~6 cm 长度。每袋装入 2.0 g 干重细根, 封袋后埋置在 20 cm 土层中。试验设计方案和砂滤管法相同。尼龙网袋法取样后, 细根样品用自来水快速冲洗, 放置 50℃ 烘箱中烘干称至恒重, 用于计算细根干重残留率。称重后的细根样品粉碎, 过 1 mm 筛, 用 ELEMETAR Vario EL III C、N 分析仪测定细根中有机碳含量, 用于计算细根有机碳残留率。

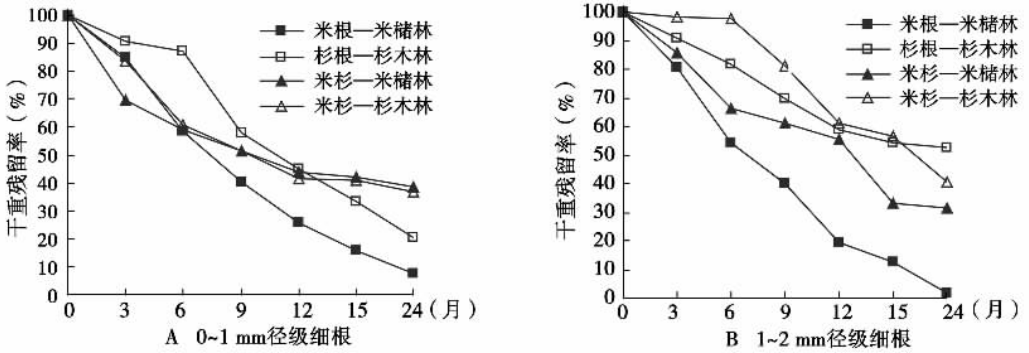
1.2.3 结果计算 细根干重残留率为细根分解一段时间后干重或有机碳残留量除以初始干重或有机碳量的百分比。干重残留率变化曲线用 Olso 负指数方程 $X/X_0 = \exp(-kt)$ 进行拟合, 式中 X_0 表示细根初始干重, X 表示细根分解一段时间后的残留干重, t 表示细根分解时间 (取样时间), k 为分解常数, 通常表示分解速率。

2 结果

2.1 网袋法细根分解干重残留率变化

图 1 是网袋法米槠、杉木细根及其混合样品在米槠林和杉木林分解干重残留率的变化。由图 1A 可以看出, 分解期间前 3 个月, 0~1 mm 米杉细根混合样品在米槠林中分解最快, 第 6 个月后, 其在米槠林中分解速率逐渐降低, 而单一米槠细根在米槠林中分解最快, 分解速率均超过其他三种处理。细根分解 1 年, 米槠细根在米槠林中的干重残留率为 25.8%, 其它三种处理干重残留率相近, 分别为 45.2% (米根—杉木林)、43.8% (米杉—米槠林) 和 41.3% (米杉—杉木林)。由图 1B 可以看出, 2 年分解期内, 1~2 mm 米槠细根在米槠林中分解均快于其他三种处理。四种处理分解速率出现明显的分层现象, 表

现为米根—米槠林 > 米杉—米槠林 > 米杉—杉木林 > 杉根—杉木林。细根分解 1 年，米根—米槠林干重残留率为 19.3%，米杉—米槠林为 55.7%，杉根—杉木林为 58.8%，米杉—杉木林为 60.9%。



注：米根—米槠林表示米槠细根在米槠林中分解；杉根—杉木林表示杉木细根在杉木林中分解；米杉—米槠林表示米槠、杉木细根混合样品在米槠林中分解；米杉—杉木林表示米槠、杉木细根混合样品在杉木林中分解；下同。

图 1 网袋法米槠、杉木细根及其混合样品分解干重残留率变化

Fig. 1 The variation of mass remainings of fine roots of *C. carlesii*, chinese fir and its mixed samples during the course of 2 years decomposition with litterbag method

2.2 砂滤管法细根分解干重残留率变化

图 2 是砂滤管法米槠、杉木细根及其混合样品在米槠林和杉木林分解干重残留率的变化。由图 2A 可以看出，0~1mm 米槠、杉木细根分别在各自群落中分解，分解速率均高于两树种混合细根在两群落中的分解速率。细根分解 1 年，0~1mm 米槠、杉木细根在各自群落中的干重残留率分别为 28.4% 和 41.7%，而两树种混合细根在两群落中的干重残留率分别为 80.8% (米槠林) 和 79.6% (杉木林)。由图 2B 可以看出，分解期间前 3 个月，1~2mm 杉木细根在杉木林中分解最快，混合细根在杉木林中分解次之。分解 3 个月后，米槠细根在米槠林中分解速率迅速增大，6 个月后，分解速度放缓，但干重残留率在四种处理中仍最低。细根分解 1 年，1~2mm 米槠、杉木细根在各自群落中的干重残留

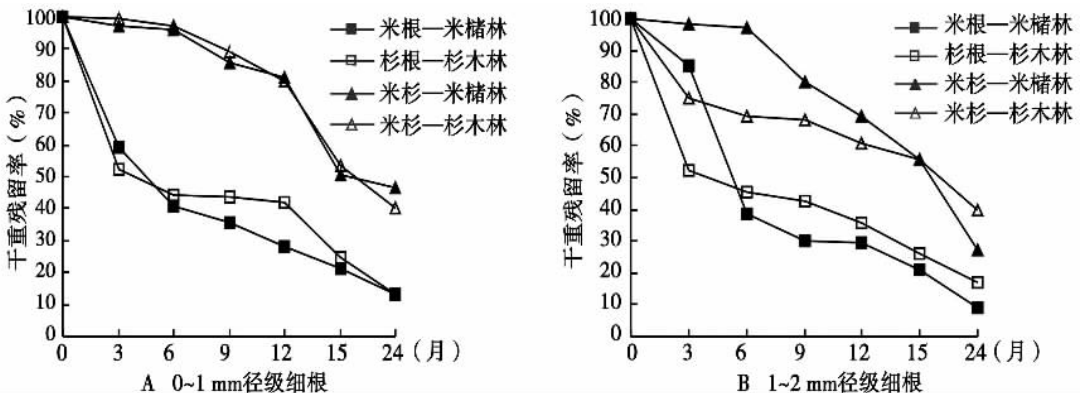


图 2 砂滤管法米槠、杉木细根及其混合样品分解干重残留率变化

Fig. 2 The variation of mass remainings of fine roots of *C. carlesii*, chinese fir and its mixed samples during the course of 2 years decomposition with litterbag method

率分别为 29.7% 和 36.0%，而两树种混合细根在两群落中的干重残留率分别为 69.6% (米槠林) 和 60.9% (杉木林)。

3 讨论

两种径级米槠、杉木细根及其混合样品应用网袋法分解, 均可应用 Olso 负指数方程进行较好的拟合。根据方程拟合结果, 得到细根分解过程中一些重要指标, 如分解速率, 1 年失重率理论值和实测值, 半分解期和 95% 分解期 (表 3)。通过分析发现, 2 年实验期内, 米槠细根在米槠林中分解均比其他处理快, 月分解速率分别达 0.0052 (0~1 mm) 和 0.0080 (1~2 mm)。此外, 无论是单一米槠细根还是米杉混合样品, 其在米槠林中分解 1~2 mm 径级比 0~1 mm 径级快, 而单一杉木细根及其混合样品在杉木林中分解, 规律恰好相反。

表 3 Olso 负指数方程拟合网袋法米槠、杉木细根及其混合样品分解的重要指标

Tab. 3 The important indices in Olso's negative exponential equation simulating the decomposition process of fine roots of *C. carlesii*, chinese fir and its mixed samples with litterbag method

实验处理	细根径级 (mm)	分解速率 (月)	拟合系数 (R^2)	1 年失重率理论值 (%)	1 年失重率实测值 (%)	半分解期 (天)	95% 分解期 (天)
米根	0~1	0.0052	0.9841	76.9	74.2	212	653
一米槠林	1~2	0.0080	0.8658	86.0	80.7	200	1308
米杉混合根	0~1	0.0013	0.9691	53.2	56.2	310	2054
一米槠林	1~2	0.0023	0.9303	52.9	44.3	319	1339
杉根	0~1	0.0033	0.9519	57.1	54.8	313	1015
一杉木林	1~2	0.0013	0.9630	37.4	41.2	531	2280
米杉混合根	0~1	0.0018	0.9184	53.6	58.7	318	1619
一杉木林	1~2	0.0013	0.8421	43.1	39.1	463	2295

上述现象可能与群落土壤环境条件、细根质量(如木质素、纤维素含量)等因素有关。群落土壤环境条件是影响细根分解的一个重要因子^[10]。研究表明, 亚热带杉木人工林土壤与阔叶林土壤相比, 酚类物质含量高, 土壤毒性较强, 不利于土壤微生物群系的建立及土壤动物活动, 导致凋落物分解通常较慢, 而阔叶林土壤良好的理化条件和微生物活性, 有利于凋落物分解和养分循环^[28~30]。因此, 本研究发现米槠细根在米槠林中分解均较其他处理快。很多研究表明, 细根中木质素和纤维素含量显著影响细根分解速率^[4,12,31]。尽管研究发现细根 C/N 对细根分解影响显著^[32], 但 Chapin 等^[33]认为 C/N 只表示 C 和 N 的比例关系, 并没有描述 C 和 N 以何种形式存在, 所以不能直接应用 C/N 作为预测细根分解速率的化学指标。Chapin 发现木质素、纤维素等较难分解的大分子物质的含量与细根分解存在显著的负相关, 应用细根中木质素和纤维素含量解释细根分解的快慢更为合理。本研究中, 0~1 mm 径级米槠细根木质素和纤维素含量分别为 31.2% 和 20.4%, 高于 1~2 mm 径级细根的木质素(19.6%)和纤维素(25.2%)含量; 与此相反, 0~1 mm 径级杉木细根木质素(30.3%)和纤维素(19.4%)含量低于 1~2 mm 径级细根(木质素:30.3%, 纤维素:19.4%)。因此, 米槠细根及其混合样品在米槠林中分解, 0~1mm 径级比 1~2mm 径级分解快, 而杉木细根及其混合样品在杉木林中分解, 规律恰好相反。

两种径级米槠、杉木细根及其混合样品应用砂滤管法进行分解, 应用 Olso 负指数方

程拟合也均达到较好的效果(表4)。通过分析发现,2年实验期内,米楮细根在米楮林中分解在所有处理中最快,结果和网袋法相同。和网袋法相比,由于砂滤管法排除了土壤动物对管内细根分解的作用,故砂滤管法细根分解主要由微生物作用完成。森林生态系统中,凋落物的分解过程实际上主要由土壤微生物作用主导,特别是分解后期^[34,35]。分析两种方法所得结果可以推断,米楮林群落土壤微生物活性高于杉木林,支持了网袋法中的相关分析。由表4可见,砂滤管法中,除米杉细根混合样品在米楮林中分解外,其他各处理的细根分解规律均和网袋法相同,即1~2mm径级米楮细根在米楮林中分解比0~1mm径级细根快,而两径级杉木细根及其混合样品在杉木林中分解,规律恰好相反。此结果表明,各径级细根自身的质量特性是影响细根分解速率的一个关键因子。

表4 Olso 负指数方程拟合砂滤管法米楮、杉木细根及其混合样品分解的重要指标

Tab. 4 The important indices in Olso's negative exponential equation simulating the decomposition process of fine roots of *C. carlesii*, chinese fir and its mixed samples with carborundum tube method

实验处理	细根径级 (mm)	分解速率 (月)	拟合系数 (R ²)	1a 失重率理论值 (%)	1a 失重率实测值 (%)	半分解期 (天)	95%分解期 (天)
米根	0~1	0.0023	0.9432	71.2	71.6	120	1121
—米楮林	1~2	0.0031	0.9620	72.4	70.4	171	905
米杉混合根	0~1	0.0019	0.9589	21.3	19.2	597	1801
—米楮林	1~2	0.0016	0.9804	28.2	30.4	582	1994
杉根	0~1	0.0022	0.9008	67.7	58.3	163	1201
—杉木林	1~2	0.0018	0.8942	66.6	64.0	139	1395
米杉混合根	0~1	0.0021	0.9569	31.6	20.4	483	1386
—杉木林	1~2	0.0016	0.9576	28.6	39.1	585	2039

本实验中,尽管砂滤管法排除了土壤动物对细根的破碎作用,但分解实验前人为的粉碎大大加强了细根组织与土壤的接触表面,增强了土壤微生物对细根的分解作用,故前期阶段砂滤管法细根分解比网袋法快。而网袋法中,细根未经粉碎,土壤动物能够穿过网眼对袋内细根进行机械破碎,但破碎作用需要较长一段时间,故初期分解作用较弱。当机械破碎作用结束后,细根分解进入微生物酶的化学分解阶段,此时由于网袋和外界土壤环境的连通性较砂滤管好,故后期阶段网袋法细根分解比砂滤管法快。

砂滤管法由蔡道基于1964年首次用来测定稻草等的分解速率^[36],目前主要应用于农田生态系统有机物料分解和腐殖化的研究^[21~24],有关砂滤管法细根分解的研究鲜见报道。林心雄等早期对砂滤管法的测试条件进行了深入的分析,认为(1)砂滤管法能够避免由于植物根系等的干扰所引起的误差,且分解条件和田间实际较接近,(2)本法所需设备简单,操作容易快速,适宜于测定植物残体在不同土壤条件下的分解速率^[19]。方华军等^[37]认为,砂滤管法适用于水田和有灌溉条件及降雨量较多的旱地的植物分解研究,而不适于没有灌溉条件的干旱地及半干旱地区土壤。本研究位于中亚热带地区,气候为亚热带季风气候,降雨量充沛,相对湿度大,适合于砂滤管法研究。应用Olso负指数方程拟合本研究的实验结果,通过对比发现,网袋法和砂滤管法所得的各项分解指标相近(表3,4),表明应用砂滤管法研究亚热带森林生态系统细根分解具有可行性。在试验过程中,作者发现砂滤管法每次取样后挖掘的土壤必须回填,和周围保持平整,避免出现积水现象,而导致取样点和实际条件出现较大差异。

网袋法是细根分解研究中应用最为普遍的方法。网袋法主要优点是初始时各径级根系的生物量和内含养分可以测定, 试验操作方便, 定期取样即可获得根系的分解动态和分解速率, 而且不同树种、不同环境条件下采用网袋法得出的数据具有可比性, 主要缺点是对细根干扰大, 通常会低估细根分解速率^[10,14]。目前, 随着细根研究的逐步深入, 定量研究细根分解时养分的释放规律成为生态系统地下生态学研究的一项重要内容^[38]。细根分解研究中, 网袋法能够通过不同分解期干重损失和元素浓度变化, 间接计算细根分解时养分的释放, 但网袋法计算的干重损失通常高于实际值, 所以也可能大大高估细根分解时养分的释放。虽然微根管法能够直接观测细根死亡和分解的动态过程, 但也不能直接测定养分的释放^[39]。砂滤管法由于细根和土壤直接混合, 且砂滤管能够与周围土壤进行较好的水汽流通, 分解条件和细根分解的实际环境较为接近。此外, 砂滤管又是一个相对独立的单元, 管内细根分解释放的养分全部保存在管内土壤中, 通过测定不同分解期管内土壤的养分变化, 能够较为精确地反映细根分解养分的释放量和释放规律。因此, 砂滤管法在定量研究细根分解养分释放规律方面具有一定应用前景。

4 结论

(1) 网袋法和砂滤管法研究米槠细根、杉木细根及其混合样品分解, 米槠细根在自身群落中分解最快, 月分解速率分别为 0.0052 (0~1 mm) 和 0.0080 (1~2 mm)。此外, 米槠细根及其混合样品在米槠林中分解, 1~2 mm 径级分解快于 0~1 mm 径级; 而杉木细根及其混合样品在杉木林中分解, 1~2mm 径级分解慢于 0~1 mm 径级。细根分解过程中, 林地土壤环境条件、各径级细根自身的质量特性是影响细根分解的主要因子。

(2) 网袋法和砂滤管法研究米槠细根、杉木细根及其混合样品分解, 均能应用 Olso 负指数方程进行较好的拟合。方程拟合细根分解的各项指标, 两方法相近。砂滤管法研究细根分解在亚热带森林生态系统中具有可行性。此外, 砂滤管法研究细根分解过程中养分的释放规律, 具有一定应用前景。

参考文献:

- [1] Harris W F. Comparison of below-ground biomass in natural deciduous forests and loblolly pine plantation. *Pe-dobiologia*, 1977, 17: 369~381.
- [2] Persson H. Spatial distribution of fine root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in Central Sweden. *Oikos*, 1980, 34: 77~87.
- [3] Grier C C, Vogt K A, Keyes M R, *et al.* Biomass distribution and above- and below-ground production in young and mature *Abies amabilis* zone ecosystems of the Washington Cascades. *Canadian Journal of Forest Research*, 1981, 11: 155~167.
- [4] Aber J D, Melillo J M. Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quality and form of nitrogen availability: A comparison of two methods. *Oecologia*, 1985, 66: 317~321.
- [5] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production, turnover and nutrient dynamics of above- and below-ground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 303~377.
- [6] McClaugherty C A, Aber J D. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 1982, 63(5): 1481~1490.
- [7] McClaugherty C A, Aber J D, Melillo J M. Decomposition dynamics of fine roots in forested ecosystems. *Oikos*, 1984, 42: 378~386.
- [8] John B, Pandey H N, Tripathi R S. Decomposition of fine roots of *Pinus Kesiya* and turnover of organic matter,

- N and P of coarse and fine pine roots and herbaceous roots and rhizomes in subtropical pine forests stands of different ages. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 238~246.
- [9] 杨丽韞, 李文华. 长白山原始阔叶红松林细根分布及其周转的研究. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 1~5.
- [10] 张秀娟, 梅莉, 王政权, 等. 细根分解研究及其存在的问题. *植物学通报*, 2005, 22(2): 246~254.
- [11] Chen H, Harmon M E, Sexton J, *et al.* Fine-root decomposition and N dynamic in coniferous forests of the Pacific Northwest, USA. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32: 320~331.
- [12] Silver W L, Miya R K. Global patterns in root decomposition: Comparisons of climate and litter quality effects. *Oecologia*, 2001, 129: 407~419.
- [13] 莫江明, Sandra Brown, 彭少麟, 等. 人为干扰对鼎湖山马尾松林土壤细根和有机质的影响. *生态学报*, 2005, 25(3): 491~499.
- [14] 张小全, 吴可红. 森林细根生产与周转研究. *林业科学*, 2001, 37(3): 126~138.
- [15] 杨玉盛, 陈光水, 何宗明, 等. 杉木观光木混交林和杉木纯林群落细根生产力、分布及养分归还. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(3): 223~233.
- [16] 廖利平, 邓仕坚, 于小军, 等. 不同连栽代数杉木人工林细根生长、分布与营养物质分泌特征. *生态学报*, 2001, 21(4): 569~573.
- [17] 廖利平, 杨跃军, 汪思龙, 等. 杉木、火力楠纯林及其混交林细根分布、分解与养分归还. *生态学报*, 1999, 19(3): 342~346.
- [18] Dornbush M E, Isenhardt T M, Raich J W. Quantifying fine root decomposition: An alternative to buried litter bags. *Ecology*, 2002, 83(11): 2985~2990.
- [19] 林心雄, 程励励, 徐宁, 等. 田间测定植物残体分解速率的砂滤管法. *土壤学报*, 1981, 18(1): 97~102.
- [20] 林心雄, 文启孝, 徐宁. 广州地区土壤中植物残体的分解速率. *土壤学报*, 1985, 22(1): 47~54.
- [21] 林心雄, 程励励, 施书莲, 等. 绿肥和藁秆等在苏南地区土壤中的分解特征. *土壤学报*, 1980, 17(4): 319~327.
- [22] 车玉萍, 林心雄. 潮土中有机物质的分解与腐殖质积累. *核农学报*, 1995, 9(2): 95~101.
- [23] 迟凤琴, 宿庆瑞, 王鹤桥. 不同有机物料在黑土中的腐解及土壤有机质平衡的研究. *土壤通报*, 1996, 27(3): 124~125.
- [24] 李忠佩, 林心雄, 车玉萍. 中国东部主要农田土壤有机碳库的平衡与趋势分析. *土壤学报*, 2002, 39(3): 351~360.
- [25] 吴景贵, 吕岩, 王明辉, 等. 有机肥腐解过程的红外光谱研究. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 259~266.
- [26] 杨春生. 建瓯万木林自然保护区的现状和今后发展意见. *武夷科学*, 2004, 20: 195~198.
- [27] 黄清麟, 郑群瑞, 姚友荣, 等. 福建万木林米槠林特征研究. *福建林学院学报*, 1997, 17(3): 263~266.
- [28] Jones C, Lawton J, Swhacka M. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 1994, 69: 373~386.
- [29] Northrup R R. Polyphenol as regulators of plant-litter-soil interactions in northern California's pygmy forest: A positive feedback? *Biogeochemistry*, 1998, 42: 189~220.
- [30] 杨玉盛. 杉木林可持续经营的研究. 北京: 中国林业出版社, 1998. 30~34.
- [31] Bloomfield J, Vogt K A, Vogt D J. Decay rate and substrate quality of fine roots and foliage of two tropical tree species in the Luquillo experimental forest, Puerto Rico. *Plant and Soil*, 1993, 150: 233~245.
- [32] Gholz H L, Wedin D A, Smitherman S M, *et al.* Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: Toward a global model of decomposition. *Global Change Biology*, 2000, 6: 751~765.
- [33] Chapin III F S, Matson P M, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer-Verlag, 2002. 151~175.
- [34] Swift M J, Heal O M, Anderson J M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Berkeley, CA, University of California Press, 1979. 372.
- [35] Ayres E, Karsten M D, Richard D B. Do plant species encourage soil biota that specialise in the rapid decomposition of their litter? *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 183~186.
- [36] 张丽娟, 李彦慧, 焦桂华. 土壤有机质转化与平衡研究. *河北农业科学*, 2000, 4(3): 67~73.
- [37] 方华军, 杨学明, 张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展. *土壤通报*, 2003, 34(6): 562~568.
- [38] 贺金生, 王政权, 方精云. 全球变化下的地下生态学: 问题与展望. *科学通报*, 2004, 49: 226~1233.
- [39] 黄建辉, 韩兴国, 陈灵芝. 森林生态系统根系生物量研究进展. *生态学报*, 1999, 19: 270~277.

Studies on decomposition of fine roots of *Castanopsis carlesii* and *Cunninghamia lanceolata* (chinese fir) in Wanmulin Natural Reserve, Fujian province

JIN Zhao^{1,3}, YANG Yu-sheng², DONG Yun-she^{1,2}, QI Yu-chun¹, CHENG Guang-shui²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Geography Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350012, China;

3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Decomposition of fine roots plays an important role in carbon turnover and nutrients cycling in forest ecosystems. To date, several methods have been suggested to study the decomposing process of fine roots: (1) litterbag; (2) intact soil core; (3) minirhizotrons and so on. The method of litterbag is commonly used worldwide for researching on the process of decomposition of fine roots, and its primary disadvantage is strongly disturbing *in situ* conditions which may result in an underestimation of decomposition rate of fine roots. Intact soil core is another technique for researching on the fine roots decomposition. The major disadvantages of this method are laborious in sampling and different greatly among samples. Minirhizotrons is an advanced technique for studying the decomposition of fine roots, but may overestimate the decomposition rate. Therefore, the greatest challenge in study of fine-root decomposition is to design efficient experiments and develop new techniques.

In this study, we applied the method of carborundum tube widely used in agriculture ecosystem into forest ecosystem to study the decomposing process of fine roots of *C. carlesii*, *C. lanceolata* (chinese fir) and their mixed samples, and compared it with the method of litterbag. The experimental site is located at Wanmulin Natural Reserve (27°03' N, 118°09' E) in Fujian province. This experiment was conducted from May 2002 to May 2004. Through two years' experiment, the results show that: (1) fine roots of *C. carlesii* decomposed fastest in its community with the two decomposition methods, and its monthly decomposition rates are 0.0052 (0~1 mm) and 0.0080 (1~2 mm). In addition, fine roots of *C. carlesii* and its mixed samples decomposed in *C. carlesii* community show that the decomposition of 1~2 mm diameter is faster than 0~1 mm diameter; fine roots of chinese fir and its mixed samples decomposed in chinese fir plantation laws contrary. Soil condition and biochemical quality of fine roots are the main factors affecting fine roots decomposition. (2) The results of the two methods can be better fitted by Olso negative exponential equation and the fitted decomposition indicators shows small difference between the two methods. In subtropical forest ecosystems, carborundum tube method can be applied to study fine-root decomposition.

Key words: *C. carlesii*; *C. lanceolata*; fine roots; decomposition; litterbag method; carborundum tube method; Wanmulin Natural Reserve; Fujian province