

文章编号: 1001-1498(2009)04-0574-05

亚热带甜槠和马尾松林菌群降解能力的比较

蒋平, 倪武, 田兴军*

(南京大学生命科学院, 江苏 南京 210093)

摘要:利用固体发酵方法,研究了黄山阔叶林和针叶林凋落物中的真菌对群落建群种甜槠和马尾松叶片的分解能力。在阔叶林和针叶林地真菌的分别作用下,75天后,甜槠叶片的平均失质量率分别是22.46%和22.45%,甜槠叶片的平均失质量率是马尾松针叶的1.5倍;两种树叶在分解前期(前45天)失质量率均显著高于后期(后30天)。用阔叶林地中的真菌群落(KYJ)降解针叶和用针叶林地中的真菌群落(ZYJ)降解阔叶,发现KYJ的降解能力显著低于ZYJ的降解能力,而对降解甜槠落叶而言ZYJ的降解能力则与KYJ相当,说明ZYJ具有较强的针叶分解能力,特别是降解木质素的能力。

关键词:真菌;凋落物;降解能力;木质素;全碳水化合物

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

Comparison of Decomposing Ability of Fungal Communities for Litters between *Castanopsis eyrei* and *Pinus massoniana* Forests in Subtropical Area, China

JIANG Ping, NI Wu, TIAN Xing-jun

(School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract: In the present study, the authors investigated the decomposing ability of two fungal communities which were collected from *Castanopsis eyrei* forest (KYJ) and *Pinus massoniana* forest (ZYJ) in Huangshan using solid state fermentation (SSF) method. The results showed that after 75 days, the mass loss of *C. eyrei* litter driven by the KYJ and the ZYJ were 22.46% and 22.45% respectively. On average, the mass loss of *C. eyrei* was 1.5 times higher than that of *P. massoniana*. The mass loss of both litters in the initial 45 days was significantly higher than that in the later 30 days. When the mass loss of *P. massoniana* driven by ZYJ was compared with KYJ, the decomposition ability of KYJ was significantly lower than that of ZYJ. However, for the *C. eyrei* litter, decomposition ability of KYJ and ZYJ were similar to each other. Meanwhile, some fungal species, which could efficiently decompose lignin, were found in the ZYJ litter.

Key words: fungi; litter; decomposition ability; lignin; carbohydrate

凋落物分解是森林生态系统生物地球化学循环的一个重要组成部分,其分解速率对生态系统生产力有重要影响^[1]。凋落物分解速率还是森林地表层

生物量和养分含量的主要决定因素,并显著影响土壤的理化性质^[2]。真菌在森林生态系统有机凋落物的分解过程中扮演着重要的角色^[3-5],真菌对有机

收稿日期: 2008-02-22

基金项目: 国家自然科学基金(30470299);教育部博士点基金(20030284044);国家自然科学基金重点项目(30430570)

作者简介: 蒋平(1982—),男,江苏宜兴人,硕士研究生,主要从事微生物生态学研究。

*通讯作者 E-mail: tianxj@nju.edu.cn

物的利用能力影响着落叶的分解过程^[6],真菌对落叶的分解能力可以应用纯培养方法进行检验^[7-9]。

凋落物的性质和成分影响着那些依赖于凋落物生存的腐生真菌在时间和空间上的分布格局^[10]。植物组织中的有机化学成分如单糖、胶质、纤维素、半纤维素、木质素、角质和酚类物质等是真菌可利用的能量^[4],这些物质对真菌的分解作用都会产生一定的影响。研究表明木材中的木质素和纤维素是影响真菌分解能力的主要因子^[11],然而相对于真菌对木材分解方面的研究而言,有关真菌对落叶分解能力的研究报道很少^[12]。

甜槠 (*Castanopsis eyrei* Tutch)林和马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)林是黄山两种主要的森林类型。一般条件下植物凋落物分解过程中当年释放的营养元素仅满足 69%~87%的森林生长所需,因此凋落物分解释放的养分对树木的生长起着重要的作用^[13]。作者通过前期的野外实验研究发现两种林地的真菌群落在降解凋落物时,发现马尾松林地的真菌群落无论对针叶还是阔叶的降解都优于阔叶林林地的真菌,而这两类真菌群落对落叶的分解机理以及分解能力的高低尚无报道。本实验在前期研究的基础上选择甜槠林型凋落层内的真菌群落 (KYJ) 与马尾松林地的真菌群落 (ZYJ),通过固体发酵试验,比较不同林地的真菌群落对落叶的分解能力,旨在揭示分解菌群落在森林生态系统物质循环中的作用。

1 材料与方 法

1.1 实验材料收集和处 理

研究样地设在黄山浮溪村猴谷保护区 (30°01'N, 118°01'E),海拔约 600 m,年降水量 1 670 mm,年均气温 15.5℃,3、5、7、10、1 月的月均气温分别为 10.2、20.3、27.4、18.3、5.1℃。在该区域内常绿阔叶林和针叶林分布范围广、面积大。常绿阔叶林建群种为甜槠,一般树高 14~15 m,胸径约 20 cm。零星分布一些中小乔木和灌木,如豹皮樟 (*Litsea coreana* L. var. *sinensis* (Allen) Yang et H. P. Huang)、树参 (*Dendropanax dentiger* (Harms) Merr)、老鼠矢 (*Symplocos stellaris* Brand)、莲蕊茶 (*Camellia fraterna* Hance)、桤木 (*Eurya* spp.)、紫楠 (*Phoebe shearerii* (Hemsl.) Gamble) 等。针叶林建群种为马尾松,一般树高 15~20 m,胸径 25 cm,树龄多在 15~20 年之间,零星分布着化香 (*Platycarya strobilacea*

Sieb. & Zucc.)、黄连木 (*Pistacia chinensis* Bunge)、盐肤木 (*Rhus chinensis* Mill.)、杜鹃 (*Rhododendron* spp.)、南烛 (*Vaccinium bracteatum* Thunb.) 等。

2006 年 5 月在黄山甜槠林和马尾松林林地,分别选取 20 m × 20 m 样地,然后将这块地分割成 16 块 5 m × 5 m 的小样地,在每一块小样地内,随机收集凋落层的土样带回实验室,放在 4℃ 的冰箱中保存以待后续处理。同时收集刚落下凋落物 (甜槠叶和马尾松松针) 作为分解实验材料。

把凋落物清洗干净后,甜槠叶片用直径 2.0 cm 的打孔器打成圆形小片,马尾松叶子剪成 2.0 cm 长的小段 (打孔部位和针叶取样的部位尽可能一致,使样品在质量、体积上相差不大)。处理好的叶子放入 60℃ 的恒温箱中 (48 h) 干燥,取叶片称质量 (马尾松叶 15 段为一份),做好标记。然后放入灭菌锅中 121℃、灭菌 30 min 待用。用烘干的部分材料测定了凋落物初始化学成分 (表 1)。

实验在南京大学中心分析实验室和植物学实验室进行,所用溶液和化学试剂均为分析纯。

表 1 甜槠和马尾松叶片初始化学成分

凋落物种类	成分含量 / %		
	全碳水化合物	木质素	其他成分
甜槠落叶	44.73 ± 3.28	31.21 ± 1.81	24.06 ± 1.23
马尾松针	42.59 ± 2.13	38.62 ± 2.42	18.79 ± 2.06

注:表中的数值为平均值 ± 标准差

1.2 分解试验

将灭菌后的甜槠叶片和马尾松松针,平铺到 2% 直径 9 cm 的琼脂培养基上,每一个平板放 15 片阔叶或 6 份针叶。将 5 mL KYJ 和 5 mL ZYJ 分别接种到加有甜槠叶的琼脂培养基和加有马尾松松针的琼脂培养基上,每一个处理设置 3 个重复,放入温度 20℃、湿度 80%~90% 恒温、恒湿箱中黑暗培养。总计 4 种处理,它们分别是甜槠叶片接种 KYJ,甜槠叶片接种 ZYJ,马尾松接种 KYJ 以及马尾松接种 ZYJ。按培养 10、25、45、75 天时间间隔分别取样品,用小毛笔蘸无菌水轻轻擦洗掉上面的菌丝、孢子,然后在 60℃ 恒温干燥箱中烘干 (48 h) 至恒质量,再测定每片叶子的质量,计算失质量率。

1.3 凋落物物质成分分析

木质素和全碳水化合物测定采用 King&Heath 方法^[14]:称取样品 0.15 g 左右,研碎,在常温下用酒精-苯 (9:1) 提取,残留物用 72% 硫酸 (v/v) 处理 2 h,不断搅拌,然后用蒸馏水把硫酸溶液稀释至 2.5%,

120 灭菌 1 h,冷却后通过砂芯漏斗过滤,105 下干燥、称质量,得到的质量为木质素量。滤液用作全部碳水化合物的测定,测定滤液体积后,取 2 mL 放入试管中,再加入 5% 苯酚 (v/v) 1 mL 和 98% 浓硫酸 (v/v) 2 mL,冷却后在 490 nm 下测定其光密度,以 D 葡萄糖溶液做标准曲线,计算出样品的全碳化合物含量。

1.4 数据分析

叶片失质量率: $W = (W_0 - W_t) / W_0 \times 100\%$, 其中 W_0 为叶片原质量, W_t 分解后叶片的质量。

木质素失质量率: $L = (L_0 - L_t) / L_0 \times 100\%$, 其中 L_0 为叶片初始木质素含量, L_t 为叶片处理后木质素含量。

全碳化合物失质量率: $C = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100\%$, 其中 C_0 为叶片初始全碳化合物含量; C_t 叶片为接种处理后的全碳化合物含量。采用 SPSS version 10.0 统计软件进行统计分析,在进行 LSD 分析

之前,先进行方差齐性分析。

平均降解速率: $V = W / T$, 其中 W 为叶片在一个时期的失质量率; T 为各个时期的降解时间。

2 结果

2.1 叶片失质量率

从表 2 可以看出两种林地的菌落引起甜槠落叶的累积失质量率相近,引起马尾松落叶的累积失质量率不同;在 75 天时,同一菌群引起两种落叶失质量率差异显著 ($P < 0.05$), KYJ 对甜槠落叶的降解达到 22.46%, 大约是马尾松落叶失质量率 (11.26%) 的 2 倍; ZYJ 引起两种落叶失质量率也有显著差别,甜槠落叶失质量率为 22.45%, 而马尾松落叶的失质量率为 15.43%。在开始的 10 天内,甜槠和马尾松叶片的净失质量率都显著高于之后各个时间段的失质量率。

表 2 甜槠和马尾松凋落物的失质量百分率

培养周期 / d	甜槠		马尾松	
	C - B	C - N	P - B	P - N
10	8.94 ± 0.25 ^A	8.29 ± 0.42 ^A	5.62 ± 0.33 ^B	5.37 ± 0.39 ^B
25	11.77 ± 0.25 ^A	12.25 ± 0.28 ^A	6.83 ± 0.11 ^B	7.30 ± 0.19 ^B
45	17.00 ± 0.61 ^A	15.38 ± 0.24 ^A	9.22 ± 0.63 ^C	11.75 ± 0.79 ^B
75	22.46 ± 1.20 ^A	22.45 ± 1.21 ^A	11.26 ± 0.49 ^C	15.43 ± 0.63 ^B

注: C - B: 阔叶菌群接种甜槠叶, C - N: 针叶菌群接种甜槠叶, P - B: 阔叶菌群接种马尾松针, P - N: 针叶菌群接种马尾松针。

表中的数值为平均值 ± 标准误; 同行同一时间的不同大写字母表示落叶失质量存在显著差异。

KYJ 对甜槠落叶的降解从开始 (第 10 天) 的 8.94% 到 75 天时的 22.46%, 与 ZYJ 对甜槠落叶的降解从开始的 8.29% 到 75 天时的 22.45% 相比较, 两种菌引起的甜槠落叶的失质量率基本一致。

KYJ 和 ZYJ 引起的马尾松落叶的失质量率, 在前 25 天没有差别, 在第三个培养周期开始, ZYJ 引起的马尾松落叶的累积失质量率开始高于 KYJ 引起的马尾松落叶的累积失质量率 ($P < 0.05$), 到 75 天检测时, ZYJ 引起的马尾松落叶的累积失质量率 (15.43%) 是 KYJ 引起的马尾松落叶累积失质量率 (11.26%) 的约 1.4 倍。

2.2 凋落物全碳化合物失质量

利用固体发酵试验得到叶片失质量的结果, 还不能完全说明降解菌群的分解潜能以及真菌的分解特性。于是作者测定了两个真菌群落处理的落叶在不同时期全碳化合物和木质素的含量。从表 3 看出, 在两种菌群的作用下, 甜槠落叶在分解过程中的

全碳化合物失质量率都要显著高于马尾松落叶的全碳化合物失质量率 ($P < 0.05$)。在 75 天时, 两种菌群引起的甜槠落叶全碳化合物的平均失质量率是马尾松落叶全碳化合物失质量率的 2 倍多。甜槠落叶在 KYJ 和 ZYJ 的作用下, 在分解过程中全碳化合物的失质量率没有显著差别, 这与叶片失质量百分率一致; 而马尾松落叶在两种菌群的作用下, 全碳化合物的失质量率只在前 10 天结束时没有明显差别, 接下来的分解过程中, 累积的全碳化合物失质量率均有显著差异 ($P < 0.05$), 并且在 75 天时, 马尾松落叶在 ZYJ 的作用下, 全碳化合物的失质量率达到了 KYJ 作用下马尾松落叶全碳化合物失质量率的 1.4 倍。从降解时间来看, 在第一个降解时间段, 甜槠和马尾松的全碳化合物的失质量率都显著高于之后的时间段 ($P < 0.05$), 4 种处理 (C - B、C - N、P - B、P - N) 在前 10 天的全碳化合物的失质量率分别占到了 75 天总失质量百分率的 40%、37%、53%、37%。

表 3 甜槠和马尾松凋落物的碳水化合物失质量百分率

培养周期 /d	甜槠		马尾松	
	C - B	C - N	P - B	P - N
10	4.56 ± 0.09 ^A	4.24 ± 0.09 ^A	2.42 ± 0.05 ^B	2.44 ± 0.07 ^B
25	5.68 ± 0.16 ^A	6.11 ± 0.15 ^A	2.78 ± 0.12 ^C	3.27 ± 0.13 ^B
45	8.96 ± 0.49 ^A	7.61 ± 0.22 ^A	3.93 ± 0.18 ^C	5.25 ± 0.13 ^B
75	11.42 ± 0.21 ^A	11.55 ± 0.27 ^A	4.58 ± 0.13 ^C	6.64 ± 0.21 ^B

注: C - B:阔叶菌群接种甜槠叶, C - N:针叶菌群接种甜槠叶, P - B:阔叶菌群接种马尾松针, P - N:针叶菌群接种马尾松针。

表中的数值为平均值 ± 标准误;同行同一时间的不同大写字母表示落叶失质量存在显著差异。

2.3 凋落物木质素的失质量

综合表 3和表 4,在两种降解菌群的作用下,甜槠落叶在分解过程中的木质素累积失质量百分率都低于同一时期全碳水化合物的失质量百分率;而马尾松木质素的失质量百分率在两种菌群的作用下,在分解过程中却高于同一时期全碳水化合物的失质量百分率。从树种来看,在同一时期,无论在哪种菌落作

用下,甜槠落叶的木质素失质量百分率都要显著高于马尾松 ($P < 0.05$)。其中,甜槠落叶在 KYJ 和 ZYJ 分别作用下的失质量率没有显著差异;而马尾松落叶在 KYJ 的作用下,25 天时,马尾松落叶在 KYJ 的作用下,到第二个培养周期结束,木质素的失质量百分率显著低于 ZYJ 的作用 ($P < 0.05$)。

表 4 甜槠和马尾松凋落物的木质素失质量百分率

培养周期 /d	甜槠		马尾松	
	C - B	C - N	P - B	P - N
10	3.66 ± 0.19 ^A	3.73 ± 0.13 ^A	2.53 ± 0.15 ^B	2.70 ± 0.07 ^B
25	4.63 ± 0.13 ^A	4.75 ± 0.19 ^A	3.39 ± 0.19 ^C	3.51 ± 0.10 ^B
45	6.57 ± 0.12 ^A	6.74 ± 0.08 ^A	4.42 ± 0.17 ^C	5.42 ± 0.18 ^B
75	7.67 ± 0.11 ^A	8.13 ± 0.14 ^A	5.45 ± 0.20 ^C	6.95 ± 0.19 ^B

注: C - B:阔叶菌群接种甜槠叶, C - N:针叶菌群接种甜槠叶, P - B:阔叶菌群接种马尾松针, P - N:针叶菌群接种马尾松针。

表中的数值为平均值 ± 标准误;同行同一时间的不同大写字母表示落叶失质量存在显著差异。

3 讨论

3.1 不同凋落物对真菌分解能力的影响

比较 KYJ 对甜槠和马尾松的分解以及 ZYJ 对甜槠和马尾松的分解,两种来源的真菌群落对甜槠落叶分解都显著高于马尾松(表 2)。其原因可能是由于试验凋落物的性质对真菌分解能力有很大影响,叶片的初始化学成分的含量是影响凋落物失质量率的主要因素之一。Berg&Hannus^[15]认为凋落物中的初始养分元素含量在分解初期对它们的释放起重要作用,而后期元素释放速率主要受木质素含量影响。Taylor 等^[16]认为叶片凋落物早期的失质量率大约有 80%是由碳素/氮素比决定的,氮通常在胺基化合物与碳直接结合(-C-NH₂),所以氮的矿化是一个通过有机物质降解而使微生物获得能量和蛋白质合成的平衡过程,以满足微生物对营养的需求,因此富含易降解营养的枯落物腐烂得更快。木质素是一种带有芳香环的聚合物,只有一些特定的真菌才能分解它。这是由于木质素类的物质会在凋落物中的全纤维素类复合物周围形成阻碍分解的屏障^[17]。

Mellib 等指出,叶片中木质素与氮素含量之比可以说明枯落叶分解速率快慢的指标,其比值越大,分解速率越慢,反之亦然^[18]。本研究供试的 2 种微生物群落分解凋落物中,甜槠叶片中的木质素浓度低于马尾松叶片(表 1),根据叶片分解速率的测定结果进一步支持了 Taylor、Mellib 等人的观点。

3.2 ZYJ 比 KYJ 的降解能力强

根据结果所显示的叶片失质量率以及全碳水化合物和木质素的失质量率,ZYJ 对甜槠落叶的降解有着与 KYJ 相同的能力。ZYJ 所引起的甜槠落叶的失质量率在分解过程中与 KYJ 所引起的甜槠落叶的失质量率没有显著差异,ZYJ 是从马尾松林地收集回来的,KYJ 是甜槠林地收集回来的,按照协同进化理论,KYJ 对甜槠落叶的降解能力应该高于 ZYJ,但结果表明 ZYJ 对甜槠落叶同样具备较强的降解能力。在本实验室其他研究人员的野外实验中,同样检测到,在马尾松林地掩埋的甜槠叶降解速率比掩埋在甜槠林地中的甜槠落叶失质量率更高。

同时,实验结果也显示,在降解马尾松落叶时,ZYJ 的降解能力显著强于 KYJ。在第 45 天时,ZYJ

所引起的马尾松针叶失质量率达到了 11.75%,而 KYJ 所引起的失质量率仅为 9.22%,在 75 天时,马尾松在 ZYJ 作用下的失质量率已经是 KYJ 作用下的 1.4 倍。所以由以上的实验结果表明,ZYJ 与 KYJ 相比,有着更强的降解能力。

3.3 从凋落物化学成分的变化揭示真菌群落的降解能力

在前期,真菌主要是消耗利用叶片中已经存在的可溶性的碳水化合物等物质^[19],所以前期的降解速率主要取决于落叶中可溶性的碳水化合物含量的高低。从图 1 来看,在前 10 天,各种处理的降解速率都显著高于后面各个时期,这可能是由于落叶中可溶性的养分和有机复合物比较充分。全碳水化合物的失质量,在前 10 天,达到了整个降解过程 75 天的 37%~53%,所以全碳水化合物的失质量主要发生在这个时期。

在降解过程中,落叶中直接可被真菌利用的成分是有限的,它们会随着菌丝生长而不断地消耗殆尽,坚韧的木质素以及木质化的纤维素由于很难被降解从而不断地积累^[19],所以在后期的降解作用中,这些沉积下来的木质素和木质化的纤维素成为制约进一步降解的主要因素。4 种不同的处理,在第 2 个降解时期都进入了降解速率骤减的阶段,随着甜槠落叶和马尾松落叶中的可溶性的碳水化合物等物质的逐渐消耗,决定下一时期降解速率的因素就是真菌菌落对木质素的降解能力。KYJ 在第 2 个降解时期,对马尾松的降解无论是碳水化合物还是木质素都显著低于 ZYJ。在这个时期 ZYJ 显示出了它强于 KYJ 的降解能力,这可能是由于 ZYJ 中有着对木质素更强的降解能力的菌存在,ZYJ 降解了木质素同时促进了碳水化合物的降解,这样 ZYJ 引起的马尾松针叶失质量就显著高于了 KYJ 引起的马尾松针叶失质量。至于具体是哪一个菌或者哪几种菌对木质素有更强的降解能力还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 宋福强,田兴军,郝杰杰,等. 栓皮栎林下主要丝状真菌的分解能力[J]. 生态学报,2005,25(1):89-95
- [2] Huang J H, Chen L Z, Han X G. The getting along on defoliation of forest ecology system [M]// Li: Getting along on Plant Science. Beijing: Higher Education Publishing Compony, 1998: 218-236
- [3] Cooke R C, Rayner A D M. Ecology of Saprotrophic Fungi[M]. Longman, London, 1984
- [4] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems[M]. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1979
- [5] Tian X J, Takeda H, Ando T. Application of a rapid thin section method for observations on the decomposing litter in the mor humus form in a subalpine coniferous forest [J]. Ecological Research, 1997, 12(3): 289-300
- [6] Takeda H. Interactions between plant and decomposer populations in forest ecosystems, a mechanism of biodiversity maintenance [J]. Japan Journal of Ecology, 1994, 44: 211-222
- [7] Dix N j, Simpson A P. Decay of leaf litter by *Collybia peronata* [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1984 (83): 37-41
- [8] Hering T F. Fungal decomposition of oak leaf litter [J]. Transactions of the British Mycological Society, 1967(50): 267-273
- [9] Osono T, Takeda H. Effects of organic chemical quality and mineral nitrogen addition on lignin and holocellulose decomposition of beech leaf litter by *Xylaria* sp. [J]. European Journal of Soil Biology, 2001, 37: 17-23
- [10] Swift M J, Species diversity and the structure of microbial communities in terrestrial habitats [M]// Anderson J M, Macfadyen A: The Role of Terrestrial and Aquatic Organisms. Publications Oxford, 1976: 185-222
- [11] Tian X J, Takeda H, Azuma J. Dynamics of organic-chemical components in leaf litters during 3.5-year decomposition [J]. European Journal of Soil Biology, 2000, 36: 81-89
- [12] Osono T, Takeda H. Comparison of litter decomposing ability among diverse fungi in a cool temperate deciduous forest in Japan [J]. Mycologia, 2002, 94(3): 421-427
- [13] Waring R H, Schlesinger W H. Forest Ecosystems: Concepts and Management [M]. Academic Press, New York: USA, 1985
- [14] King H G C, Heath G W. The chemical analysis of small samples of leaf material and the relationship between the disappearance and composition of leaves [J]. Pedobiologia, 1967, 7: 192-197
- [15] Berg B K, Hannus T. Changes in organic chemical components of needle litter during decomposition. Long term decomposition in a Scots pine forest I [J]. Canadian Journal of Botany, 1982, 60: 1310-1319
- [16] Taylor B R, Parkinson D, Parsons W F J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test [J]. Ecology, 1989, 70: 97-104
- [17] Stevenson F J. Humus Chemistry-genesis, Composition, Reactions [M]. New York: USA, 1982
- [18] Mellilo J M, Aber J D, Muratore J F. Nitrogen and lignin control of hard wood leaf litter decomposition dynamics [J]. Ecology, 1982, 63: 621-626
- [19] Osono T. Effects of prior decomposition of beech needle litter by phyllosphere fungi on substrate utilization by fungal decomposers [J]. Mycoscience, 2003, 44: 41-45