

杨树接种外生菌根真菌卷缘桩菇对杨扇舟蛾生长发育的影响

刘 藩<sup>1</sup>, 杨 晨<sup>1</sup>, 刘同先<sup>2</sup>, 李 红<sup>2\*</sup>, 罗志斌<sup>1\*</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**研究了银灰杨接种外生菌根真菌(*Paxillus involutus*)对食叶害虫杨扇舟蛾(*Clostera anachoreta*)生长发育的影响。结果表明,幼虫期取食菌根化杨树叶片,显著降低了低龄期幼虫(2龄和3龄)的头壳和体重并显著延长了幼虫的发育历期,但对高龄期幼虫以及蛹期和成虫期的各项发育指标均无显著影响。因此,菌根化杨树苗抑制了杨扇舟蛾幼虫的发育,幼虫发育历期的延长增加其被天敌昆虫捕食的风险。

**关键词:**杨树; 外生菌根菌; 食叶害虫; 生长发育

**中图分类号:**S792.11      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2015)03-0145-04

Development of *Clostera anachoreta* Mediated by Ectomycorrhizal Fungus  
*Paxillus involutus* on Silver-grey Poplar Seedlings

LIU Fan<sup>1</sup>, YANG Chen<sup>1</sup>, LIU Tong-xian<sup>2</sup>, LI Hong<sup>2\*</sup>, LUO Zhi-bin<sup>1\*</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100 China;

2. College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100 China)

**Abstract:**In this study, the development of *Clostera anachoreta* Fabricius was explored when larvae fed poplar foliage from seedlings either inoculated with ectomycorrhiza *Paxillus involutus* or the noninoculated counterpart. Our results indicated that the larval weight (2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> instar) and head capsule width were significantly reduced and the larval period was obviously prolonged by feeding on ectomycorrhizal infected poplar leaves. However, the development of pupae (i. e. pupal weight and pupal period) and the adults (i. e. adult weight, oviposition and longevity) were little influenced by the ectomycorrhizal fungus inoculation in host plant. Application of *Paxillus involutus* rendered *Clostera anachoreta* larvae more susceptible to natural enemies.

**Key words:**poplar seedling; ectomycorrhizal fungus; leaf-chewing caterpillar; insect development

菌根化育苗能够显著提高苗木的质量和在恶劣立地(如:干旱、贫瘠)条件下苗木的成活率,在造林中备受关注<sup>[1-3]</sup>。杨树是我国北方主要的造林树种,具巨大的生态和经济效益<sup>[4]</sup>。自然界中,杨树能与多种外生菌根真菌形成菌根<sup>[5]</sup>。卷缘桩菇(*Paxillus involutus*)是杨树重要的共生菌根菌,具有寄主范围广、菌丝生长快、在植物根部定植迅速的特点,成为规模化菌剂生产中首选的菌种之一<sup>[6]</sup>。杨扇舟

蛾(*Clostera anachoreta*)是杨树的主要食叶害虫,成虫产卵块,卵块常常上百粒成一块。幼虫数量多,食量大,危害集中,极易在短期内爆发成灾而将树叶全部吃光,直接威胁了林木的生长与生存。杨扇舟蛾取食的专化性强,幼虫的生长发育极易受到杨树叶片品质改变的影响。卷缘桩菇与杨树形成菌根后,促进了林木对土壤中水分和氮、磷等矿质营养的吸收,显著改善了杨树苗的生长,促进了相关抗性基因

收稿日期:2014-11-20 修回日期:2015-01-05

基金项目:国家自然科学基金(31100481)。

作者简介:刘藩,男,在读硕士,研究方向:森林培育。E-mail: lzliufan@nwfufu.edu.cn

\* 通信作者:李红,女,讲师,研究方向:农业昆虫学。E-mail: hlibin\_liang@nwsuaf.edu.cn

罗志斌,男,教授,博士生导师,研究方向:植物抗逆生理。E-mail: luozhibin@nwsuaf.edu.cn

的高量表达,显著增强了宿主杨树的抗逆性(抗盐、抗旱、抗重金属胁迫等)<sup>[7-9]</sup>。然而,杨树苗木菌根化后,其生理生化性状的改变对主要森林害虫—杨扇舟蛾的影响尚不清楚。这成为菌根化育苗规模化前一个亟待解决的问题。本研究以外生菌根真菌 *Paxillus involutus*—杨树苗木—杨扇舟蛾为试验系统,通过研究菌根化杨树苗木对食叶性森林害虫生长发育的影响,为全面推广菌根化育苗提供更全面的生态效益评估数据。

1 材料与方法

1.1  外生菌根真菌的培养和菌剂的制备

  外生菌根真菌卷缘桩菇 (*P. involutus*) 菌系 MAJ 菌种由德国哥廷根大学 Andrea Polle 教授的实验室提供,用改良的 2% Melin-Norkrans 培养基进行固体和液体培养,培养方法参照文献[10]并稍作变动。固体培养时,使用直径为 6 mm 的打孔器将 *P. involutus* 转移至含有 MMN 固体培养基的培养皿(直径 9 cm)中,室温 25℃ 下暗室培养 4 周,待菌丝布满培养基后用于杨树接菌。液体培养时,用打孔器取 20 块菌饼并转移至 150 mL 装有 MMN 液体的三角瓶内,置恒温摇床上震荡培养(100 r·min<sup>-1</sup>, 25℃),培养约 30 d。接菌前,弃用 MMN 液体培养上清液,用乳化器将含有菌丝球的浆液打匀后,取约 1 g 的菌丝在 50 mL MMN 中稀释后,用于杨树接菌。

1.2  杨树苗木的室内培养及接菌处理

  选择长势一致的银灰杨 (*Populus × canescens*) 组培苗 120 株。将组培苗中的 60 株接种 *P. involutus* 作为接菌处理组 (ECM),其余 60 株作为对照组 (CON)。试验中用容积为 7 L 的花盆,花盆内装有 6.5 L 经湿热灭菌(121℃,灭菌 2 h)的沙土混合培养基(河沙与土体积比 1.5 : 1 混合),每盆中栽种一棵银灰杨组培苗。接菌组的幼苗在移栽时先采用“两层接种法”:将培养皿(直径 9 cm)内布满菌丝的固体培养基平均分为 2 部分,分别接种于花盆基质的 1/3 和 2/3 处。之后待苗木长至约 20 cm 高时,每周再接入等量的固体菌落和 20 mL 液体培养的孢子悬浮液。每次接菌,对照组苗木用等量无菌的 MMN 培养基处理,以保证处理组 and 对照组获得相同的营养物质。盆栽幼苗放置于人工气候室内(26±1℃,光周期 16L : 8D, 70%RH)培养,在培养期间每两天浇灌低氮低磷营养液(50 mL, pH6),并按需浇入相同 pH 值的蒸馏水。苗木培养 240 d 后,随机选择接菌和对照的苗木各 4 盆,将根洗净后

用显微镜(Carl ZEISS Discovery V12)观察根的形态、颜色和菌根的形成情况。

1.3  昆虫的室内饲养

  杨扇舟蛾 (*C. anachoreta*) 采自野外生长的杨树,在人工气候室内(26±1℃,光周期 16L : 8D, 70%RH)用银灰杨苗木进行饲养。选择 1 对刚羽化的杨扇舟蛾成虫,放入单独的烧杯内(内壁贴一层硫酸纸,喂饲 10% 的蜂蜜水)让其产卵。卵孵化后的幼虫用于试验,以最大程度地减少幼虫个体在遗传上的差异。

1.4  杨扇舟蛾生长发育试验

  初孵幼虫分为 ECM 组和 CON 组,每处理组 40 头幼虫,分别用生长位点相同的接菌或对照的叶片进行群集饲养。幼虫达到 2 龄时,将幼虫单独放入一个底部垫潮湿滤纸的 250 mL 的塑料烧杯中,烧杯内放入一片银灰杨叶片,烧杯口用 250 目纱布和皮筋封住(将叶片的叶柄端用充分吸水的脱脂棉包紧后装入塑封袋内,以保持叶片的新鲜)。每两天用超微量天平(Sartorius, MSA 3.6P)测定幼虫体重,用显微镜(Carl ZEISS Discovery V12)测量幼虫的头壳宽度(头壳横向最宽处),每个龄期幼虫的体重和头壳宽度为各龄期多次测量结果的平均值。测量完毕后为幼虫更换新鲜的叶片,直至其化蛹。试验中逃逸和死亡的幼虫不计入最终的统计数据。对 5 龄幼虫根据雌雄性体重的差异来判断性别(雌性体重约 460 mg,而雄性体重约 350 mg)。待杨扇舟蛾化蛹后,称量化蛹 6 h 内的新鲜蛹重。通过蛹生殖孔的位置和形态,分性别将蛹放入不同的培养皿中。待蛹羽化后,称量羽化 6 h 内成虫的体重,并将同时期羽化的雌雄成虫配对后放入 500 mL 塑料烧杯中(内壁附有一层硫酸纸),杯口用 250 目纱布封口。产卵开始后每隔 1 d 更换硫酸纸并计数卵量,直至雌虫死亡。期间,给成虫提供 10% 的蜂蜜水,统计杨扇舟蛾成虫寿命和雌虫总产卵量。

1.5  数据处理

  用 SPSS 22.0 对数据进行统计分析。杨扇舟蛾的发育历期用独立样本曼—惠特尼 U 检验,其余指标用单因素方差分析。作图软件为 origin 9.0。

2  结果与分析

2.1  接菌率

  在检测的 4 盆苗木中,接菌成功率为 100%,未从对照组苗木根系中检测出菌根。成功接菌的杨树苗木在须根根尖处可观察到明显的菌根。菌根较普通根膨大,成熟的菌根颜色为褐色(图 1)。

2.2 菌根菌对杨扇舟蛾幼虫生长发育的影响

给杨扇舟蛾幼虫喂饲接菌组或对照组杨树叶片,结果发现,当对照组幼虫达到 2 龄、3 龄时,接菌组幼虫头壳宽度显著偏低(2 龄: $F_{(1,78)}=17.20, p=0.00$ ;3 龄: $F_{(1,78)}=68.67, p=0.00$ ),表明接菌组的幼虫发育较对照组滞后;但是,当幼虫发育至 4 龄、5 龄时,接菌组和对照组幼虫的头壳发育趋于同步,具体表现为:处理与对照的 4 龄幼虫头壳宽度( $F_{(1,76)}=0.33, p=0.55$ )和 5 龄幼虫头壳宽度( $F_{(1,72)}=0.24, p=0.47$ )之间无显著差异(图 2)。

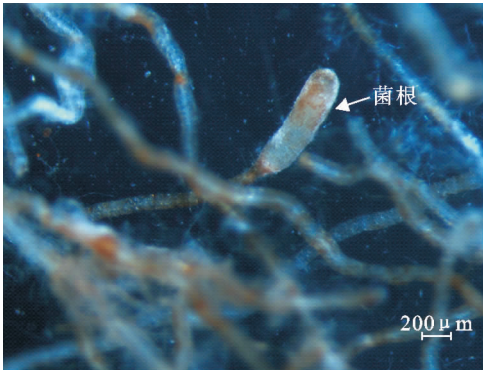


图 1 灰杨接种 *P. involutus* 8 个月形成的菌根形态  
Fig.1 Morphology of the formed mycorrhizal root after *Populus*×  
*canescens* inoculation with *P. involutus* for eight months

取食接种外生菌根真菌 *P. involutus* 的银灰杨叶片后,杨扇舟蛾 2 龄和 3 龄幼虫体重较对照组显著降低(2 龄: $F_{(1,78)}=20.61, p=0.00$ ;3 龄: $F_{(1,78)}=52.38, p=0.00$ )。但当幼虫发育至 4 龄( $F_{(1,76)}$

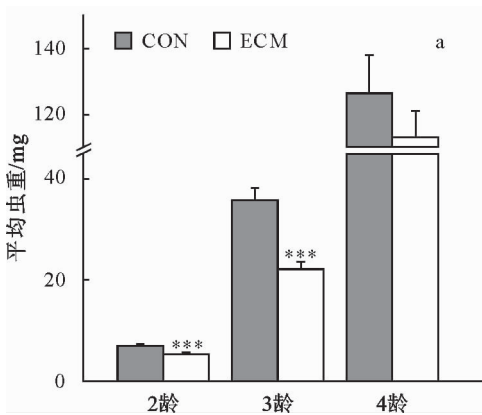


图 3 杨扇舟蛾 *C. anachoreta* 幼虫取食接种外生菌根菌 *P. involutus* (ECM)或  
对照(CON)的银灰杨叶片后的幼虫平均体重(均值±标准误)

Fig.3 Mean body weight of *C. anachoreta* larvae fed with poplar foliage from seedlings either inoculated with  
*P. involutus* for eight months or noninoculated counterpart(mean±Se)

2.3 接种外生菌根菌对杨扇舟蛾蛹的影响

用接菌组或对照组杨树叶片饲喂杨扇舟蛾幼虫,2 处理组所形成的虫蛹在平均蛹重(♀蛹: $F_{(1,27)}=0.14, p=0.71$ ;♂蛹: $F_{(1,25)}=0.22, p=0.65$ )和

$=0.20, p=0.29$ )和 5 龄(♀: $F_{(1,36)}=0.79, p=0.82$ ;♂: $F_{(1,34)}=0.55, p=0.72$ )时,2 组幼虫在体重上差异不显著(图 3a、3b)。可见,取食接菌叶片延缓了 2 龄和 3 龄杨扇舟蛾幼虫的发育,降低了 2、3 龄幼虫的体重增长。但接菌对杨扇舟蛾幼虫发育的影响随着发育的龄期不同而表现出差异,尤其对老龄幼虫影响不明显。另外,曼—惠特尼 U 检验表明:接菌显著延长了杨扇舟蛾 2 龄和 3 龄期幼虫的发育历期,从而导致接菌组幼虫整体发育历期较对照组明显增长(发育历期:ECM:  $24.60 \pm 0.40$ , CON:  $22.30 \pm 0.50$ )。

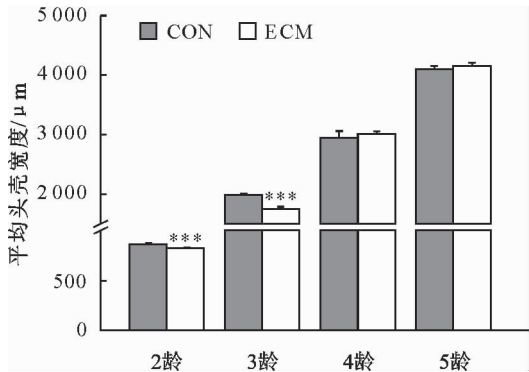
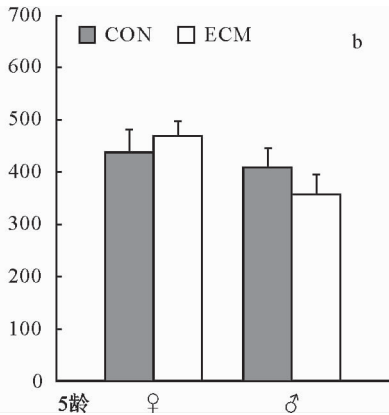


图 2 杨扇舟蛾幼虫取食接种外生菌根菌 *Paxillus involutus* (ECM)或对照(CON)的银灰杨叶片后的  
幼虫平均头壳宽度(均值±标准误)

Fig.2 Mean head capsule width of *C. anachoreta* larvae fed with poplar foliage from seedlings either inoculated with *P. involutus* for eight months or noninoculated counterpart(mean±Se)



蛹期(Mannwhitney U test,  $p=0.06$ )上无显著差异(表 1)。

2.4 接种外生菌根菌对杨扇舟蛾成虫的影响

与对照组相比,幼虫期取食接种菌根真菌

*P. involutus*的杨树叶片对成虫期的体重(雌虫: $F_{(1,20)}=0.10, p=0.76$ ;雄虫: $F_{(1,11)}=0.025, p=0.88$ )、产卵量( $F_{(1,7)}=0.22, p=0.65$ )和寿命无显著影响(Mannwhitney U test, 雌虫: $p=0.73$ ;雄虫: $p=0.41$ )(表2)。

### 3 结论与讨论

地下菌根菌与植物形成共生体后能影响地上植食性昆虫的发育,但其影响程度(显著与否)以及调

表2 杨扇舟蛾 *C. anachoreta* 取食接种外生菌根菌 *P. involutus*(ECM)或对照(CON)的银灰杨叶片后对成虫发育的影响  
Table 2 Development of *C. anachoreta* adults if larvae fed with poplar foliage with/without inoculation with ectomycorrhizal fungi *P. involutus* for eight months

处理	产卵量	平均成虫寿命/d		平均虫重/mg	
		♀	♂	♀	♂
CON	364.00±46.60 a	8.00±0.40 a	2.80±0.30 a	230.80 ±30.41 a	141.57±19.22 a
ECM	333.20±44.50 a	7.80±0.20 a	3.20±0.40 a	239.59 ±12.31 a	146.17±22.10 a

控的方向(促进还是抑制)与诸多因素有关系,其中包括:昆虫对食物的专化性(专食性、寡食性或多食性)、口器类型(咀嚼式、刺吸式或其他)以及试验中所使用的植物和菌的种类<sup>[11]</sup>。研究表明:用外生菌根真菌 *P. involutus* 或者 *Leccinum versipelle* 接种白桦树(*Betula pendula*)后,多食性的欧洲牧草盲蝽(*Lygus rugulipennis*)和秋天蛾(*Epirrita autumnata*)幼虫的发育不受影响,但专食性的白桦蚜(*Calaphis flava*)的产卵量显著降低<sup>[12]</sup>。杨扇舟蛾作为一种寡食性害虫,寄主植物品质(营养和抗性物质水平)对其生长发育影响较大。本实验室相关的研究表明:银灰杨接种 *P. involutus* 后叶片内 N、P 含量升高,但同时与植物抗逆相关的多种次级代谢产物的产量也发生显著变化<sup>[7,9]</sup>,接菌导致的杨树的品质的改变是导致杨扇舟蛾低龄期幼虫(2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>龄)发育受抑制的直接原因。本试验中用接菌或对照植株上相同生长位点的叶片来饲喂幼虫,因此,排除了由于叶片在植株上的位置不同引起的口感及营养成分的差异对幼虫发育结果的影响。取食接菌的叶片显著延长了杨扇舟蛾幼虫的发育历期,根据慢生长—高死亡率假说,发育期延长的低龄期幼虫更容易被天敌昆虫捕食<sup>[13]</sup>。接种菌根真菌对幼虫发育的抑制,有可能作为新的害虫防治策略,正如内生菌根真菌(*Glomus intraradices*)已被考虑防治玉米根萤叶甲(*Diabrotica virgifera*)幼虫的危害<sup>[14]</sup>。尽管接菌显著抑制了低龄幼虫的发育,但对高龄幼虫(4、5龄)以及蛹期和成虫期昆虫的多项发育指标影响不显著,这应该归结于低龄期杨扇舟蛾幼虫对寄主植物营养和化学成分改变的适应力较低,而随着龄期的增长,幼虫的适应力逐渐增强<sup>[15]</sup>。银灰杨

表1 杨扇舟蛾幼虫取食接种外生菌根菌 *P. involutus* (ECM)或对照(CON)的银灰杨叶片对蛹的影响  
Table 1 Development of *C. anachoreta* pupae if larvae fed with poplar foliage with/without inoculation with ectomycorrhizal fungi *P. involutus* for eight months

处理	平均蛹期/d	平均蛹重/mg	
		♀	♂
CON	9.70±0.20 a	391.56±33.98 a	304.68±17.97 a
ECM	9.20±0.20 a	405.61±20.24 a	317.89±21.13 a

注:表格中的数据代表均值±标准误,下同。

接种 *P. involutus* 显著抑制了低龄期杨扇舟蛾幼虫的生长发育,幼虫发育历期的延长提高了其被天敌昆虫捕食的风险,但 *P. involutus* 能否作为杨扇舟蛾综合防治的策略需要进一步试验验证。

致谢:感谢西北农林科技大学应用昆虫学重点实验室在实验仪器使用上提供的便利。

### 参考文献:

[1] 付瑞,郭素娟,马履一. 菌根化栓皮栎苗木对不同土壤水分条件的形态和生理响应[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(2): 101-104.  
FU R, GUO S J, MA L Y. The morphology and physiological response of mycorrhizal seedlings of *Quercus variabilis* under different soil moisture levels [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(2):101-104. (in Chinese)  
[2] 郭渊,唐明,王亚军,等. 外生菌根真菌对油松幼苗的接种效应[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(5):116-119.  
GUO Y, TANG M, WANG Y J, et al. Effect of Inoculating *Pinus tabulaeformis* with ectomycorrhizal fungi [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(05):116-119. (in Chinese)  
[3] SANCHEZ-ZABALA J, MAJADA J, MARTIN-RODRIGUES N, et al. Physiological aspects underlying the improved outplanting performance of *Pinus pinaster* Ait. seedlings associated with ectomycorrhizal inoculation [J]. Mycorrhiza, 2013, 23(8):627-640.  
[4] 高捍东,蔡伟建,王章荣,等. 我国纸浆林树种选择与培育技术研究进展[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2010, 34(6):137-143.  
GAO H D, CAI W J, WANG Z R, et al. Development of tree species selection and cultivation techniques of the pulpwood in China [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2010, 34(6):137-143. (in Chinese)

density[C]// CARTER M C,ed. Growing trees in a greener world:industrial forestry in the 21<sup>st</sup> century; 35<sup>th</sup> LSU forestry symposium. Louisiana State University Agricultural Center. Baton Rouge, LA; Louisiana Agricultural Experiment Station, 1996:148-159.

[6] DEAN T J, BALDWIN V C. Using a density management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations[R]. USDA Forest Service. Southern Forest Experimental Station, 1993.

[7] 靳爱仙, 周国英, 史大林, 等. 马尾松人工林碳储量密度控制图的编制[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3):54-57.  
JIN A X, ZHOU G Y, SHI D L, *et al.* Establishment of the *Pinus massoniana* carbon storage density control graph [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(3):54-57. (in Chinese)

[8] 张惠光. 福建柏林分密度控制图的研究[J]. 福建林业科技, 2006, 33(4):41-44.

[9] NEWTON P F, WEETMAN G F. Stand density management diagram for managed black spruce stands [J]. Forestry Chronicle, 1994, 70(1):65-74 .

[10] LONG J, SHAW J. A density management diagram for even-aged ponderosa pine stands [J]. Western Journal of Applied Forestry, 2005, 20(4):205-215.

[11] PENNER M, SWIFT D, GAGNON R A. Stand density management diagram for balsam fir in New Brunswick [J]. Forestry Chronicle, 2006, 82(5):700.

[12] INOUE A, MIYAKE M, TOMOHIRO N. Allometric model of the Reineke equation for Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) and red pine (*Pinus densiflora*) stands [J]. Journal of Forest Research, 2004, 9(4):319-324.

[13] DREW JT, FLEWELLING JW. Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations [J]. Forest Science, 1979, 25(3):518-532.

[14] SOLOMON D S, ZHANG L J. Maximum size-density relationships for mixed softwoods in the northeastern USA origin[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 155(1/3):163-170.

[15] REINEKE L H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests [J]. Journal of Agriculture Research, 1933, 46(7):627-638.

[16] KMENTA J. Elements of Econometrics[M]. 2nd. MI: The University of Michigan Press, 1987.

[17] LEDUC D J. A comparative analysis of the reduced major axis technique of fitting lines to bivariate data [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17(7):654-659.

[18] 王青天. 杉木混交林近自然经营效果研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1):95-99.  
WANG Q T. Effectiveness study on the close-to-nature management for mixed forest of Chinese fir [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(1):95-99. (in Chinese)

(上接第 148 页)

[5] 马磊, 吴小芹. 九种外生菌根菌与杨树苗木的菌根化研究 [J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2007, 31(5):29-33.  
MA L, WU X Q. A study on scenario planning of scenic forest in Zijinshan Mountain of Nanjing [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2007, 31(5):29-33. (in Chinese)

[6] HRYNKIEWICZ K, CIESIELSKA A, HAUG I, *et al.* Ectomycorrhiza formation and willow growth promotion as affected by associated bacteria; role of microbial metabolites and use of C sources [J]. Biology and Fertility of Soils, 2010, 46(2):139-150.

[7] LUO Z, LI K, GAI Y, *et al.* The ectomycorrhizal fungus (*Paxillus involutus*) modulates leaf physiology of poplar towards improved salt tolerance [J]. Environ. Exp. Bot., 2011, 72(2):304-311.

[8] DANIELSON L, POLLE A. Poplar nutrition under drought as affected by ectomycorrhizal colonization [J]. Environ. Exp. Bot., 2014, 108:89-98.

[9] MA Y, HE J, MA C, *et al.* Ectomycorrhizas with *Paxillus involutus* enhance cadmium uptake and tolerance in *Populus* × *canescens* [J]. Plant Cell Environ., 2014, 37(3):627-642.

[10] LANGENFELD-HEYSER R, GAO J, DUCIC T, *et al.* *Paxillus involutus* mycorrhiza attenuate NaCl-stress responses in the salt-sensitive hybrid poplar *Populus* × *canescens* [J]. Mycorrhiza, 2007, 17(2):121-131.

[11] HARTLEY S E, GANGE A C. Impacts of plant symbiotic fungi on insect herbivores: mutualism in a multitrophic context [J]. Annu. Rev. Entomol., 2009, 54:323-342.

[12] NERG A M, KASURINEN A, HOLOPAINEN T, *et al.* The significance of ectomycorrhizas in chemical quality of silver birch foliage and above-ground insect herbivore performance [J]. J. Chem. Ecol., 2008, 34(10):1322-1330.

[13] BENREY B, DENNO R F. The slow-growth-high-mortality hypothesis: a test using the cabbage butterfly [J]. Ecology, 1997, 78:987-999.

[14] DEMATHEIS F, KURTZ B, VIDAL S, *et al.* Multitrophic interactions among western corn rootworm *Glomus intraradices* and microbial communities in the rhizosphere and endorhiza of maize [J]. Frontiers in Microbiology, 2013(4):357.

[15] 赵玲, 胡增辉, 赵风君, 等. 水杨酸甲酯诱抗黑杨对杨扇舟蛾生长发育的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1):75-78.  
ZHAO L, HU Z H, ZHAO F J, *et al.* Influences of induced resistance in *Populus deltoides*, treated with methyl salicylic acid, on the growth and development of *Clostera anachoreta* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(1):75-78. (in Chinese)