

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第6期 2013年3月 (半月刊)

目 次

专论与综述

基于遥感技术的森林健康研究综述 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)

Agent 农业土地变化模型研究进展 余强毅,吴文斌,杨鹏,等 (1690)

个体与基础生态

辽东湾北部近海沙蚕的动态分布 王彬,秦宇博,董婧,等 (1701)

口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)

中缅树鼩头骨及下白齿几何形态与环境的关系 朱万龙,贾婷,黄春梅,等 (1721)

亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响 季晓燕,江洪,洪江华,等 (1731)

浙北地区常见绿化树种光合固碳特征 张娇,施拥军,朱月清,等 (1740)

两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)

基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)

基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究 周志军,尚娜,刘静,等 (1770)

圈养尖吻蝮雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)

应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)

青蒿素对外生菌根真菌化感效应 李倩,袁玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用 李纯厚,林琳,徐珊楠,等 (1798)

上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响 孙鲁峰,柯昶,徐兆礼,等 (1811)

半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例
彭羽,高英,冯金朝,等 (1822)

太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)

重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应 王轶浩,王彦辉,于澎涛,等 (1842)

景观、区域和全球生态

城市典型水域景观的热环境效应 岳文泽,徐丽华 (1852)

外来树种桉树引种的景观生态安全格局 赵筱青,和春兰 (1860)

基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)

大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响 严陈,许静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)

亚热带养殖海湾皱纹海鞘生物沉积的现场研究 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)

黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征 张丽娜,李军,范鹏,等 (1907)

- 旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性 彭晓邦,张硕新 (1926)
外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)
基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

- 湿地自然保护区保护价值评价方法 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)
干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)
海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)
宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

- 小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)
中国生态学学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110281612

李倩,袁玲,王明霞,黄玥,黄建国.青蒿素对外生菌根真菌化感效应.生态学报,2013,33(6):1791-1797.

Li Q, Yuan L, Wang M X, Huang Y, Huang J G. Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (6) : 1791-1797.

青蒿素对外生菌根真菌化感效应

李倩,袁玲,王明霞,黄玥,黄建国*

(西南大学资源环境学院微生物与植物营养重点实验室,重庆 400716)

摘要:青蒿素是治疗疟疾的首选药物,主要从黄花蒿(*Artemisia annua* L.)中提取,然而黄花蒿在生长过程中会向周围环境分泌青蒿素。为正确评估青蒿素对森林生态系统中的重要成分——外生菌根真菌的影响,试验以重庆地区有代表性的两株外生菌根真菌——褐环乳牛肝菌(*Suillus luteus*)*Sl* 8 和松乳菇(*Lactarius delicious*)*Ld* 3 为材料,研究了青蒿素对菌丝生长,H⁺和有机酸分泌,以及养分吸收的影响。结果表明,在液体培养基中加入青蒿素,外生菌根真菌的生长受到明显抑制,菌丝生物量降幅高达26.89% (*Ld* 3) 和 89.13% (*Sl* 8);*Ld* 3 分泌 H⁺和草酸的能力增强,而 *Sl* 8 分泌量下降。随着青蒿素浓度的增加,菌丝的N、P、K含量及吸收量显著减少。当培养基中青蒿素达到 80 mg/L 时,*Ld* 3 的 N、P、K 吸收量比不加青蒿素的处理分别降低了 50.55%、46.30% 和 42.28%;*Sl* 8 几乎丧失对 N、P、K 的吸收能力。说明青蒿素不同程度地抑制了外生菌根真菌的生长和养分吸收,但对 H⁺和草酸的分泌作用因菌株不同而异。

关键词:青蒿素;外生菌根真菌;化感效应

Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi

LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, HUANG Yue, HUANG Jianguo *

Key Laboratory of Microbiology and Plant Nutrition, College of Natural Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: Artemisinin, being extracted from *Artemisia annua* L., is recommended by the World Health Organization (WHO) as a drug for the initial treatment of malaria. During the growth and development of *Artemisia annua* L. in field cultivation, a large amount of this anti-malarial compound could be released into soil ecosystems by rain leaching, root exudation and plant residues, inhibiting the growth of plants around *Artemisia annua* L. and microbial reproduction in soils. Ectomycorrhizal fungi (ECMF) can increase the growth, nutrient uptake and stress resistance of woody plants following the formation of symbiotic associations, which is important for the sustainability of forest ecosystems. The allelopathic effects of this anti-malarial compound have been seldom reported on ECMFs and plants. In the present experiment, two ECMF strains, *Suillus luteus* 8 (*Sl* 8) and *Lactarius delicious* 3 (*Ld* 3), were isolated in the pine forest in Chongqing, China. They were grown in Pachlewski liquid medium to study the effects of different concentrations of artemisinin (0, 20, 40, 80 mg/L) on fungal growth, efflux of H⁺ and organic acids, and uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in vitro. Our results showed that the growth of the two ectomycorrhizal species was significantly inhibited by artemisinin. After being cultured for 14 days in the dark, fungal biomass was decreased by 89.13% (*Sl* 8) and 26.89% (*Ld* 3), respectively compared to the control (without artemisinin), indicating the higher sensitivity of *Sl* 8 than *Ld* 3 in response to artemisinin. Oxalic acid, succinic acid, malic acid, and citric acid were detected in the culture mediums with *Ld* 3 inoculated, while only two organic acids, oxalic acid and citric acid, were found with *Sl* 8. As artemisinin concentrations increased, the efflux of both H⁺ and organic acids from *Ld* 3 were increased in contrast to *Sl* 8 which had a low accumulation of H⁺ and

基金项目:国家自然科学基金(41171215)

收稿日期:2011-10-28; 修订日期:2013-01-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huang99@ swu. edu. cn

oxalic acid but high citric acid in the culture medium. In addition, uptake and concentration of N, P and K in the fungal hyphae were significantly reduced following the addition of artemisinin. The capability of nutrient absorption by *Sl* 8 was almost lost under 80 mg artemisinin/L. Overall, our results showed that the two ECMFs varied significantly in H⁺ efflux, organic acid accumulation, growth suppression and nutrient uptake inhibition under artemisinin treatment. The results further suggest that artemisinin could alter the growth and nutrient uptake of ECMFs in forest soils, which could potentially risk changes in the distribution, performance and biodiversity of ECMFs in forest ecosystems. Artemisinin decomposes slowly, potentially leading to large amounts of the compound remaining in soils following the cultivation of *Artemisia annua* L. on a commercial scale. Artemisinin in those soils, particularly in Three Gorges areas in China where a large amount of *Artemisia annua* L. are grown, could influence not only the biodiversity of ECMF species directly in forest ecosystems but also the growth and health of forests indirectly. Improved understanding of the allelopathic effects of artemisinin on ECMFs could maintain the fungal biodiversity and function in sustainable forests, which is important for the health of natural forests.

Key Words: artemisinin; ectomycorrhizal fungi; allelopathic effects

青蒿素是当前世界上治疗疟疾的一线首选药物(世界卫生组织推荐)^[1],主要从菊科植物黄花蒿(*Artemisia annua* L.)中提取加工而成^[2]。黄花蒿在生长过程中,可以通过茎叶淋溶,根系分泌和植物残体降解等多种途径向土壤生态系统释放化感物质——青蒿素^[3]。在北欧种植黄花蒿的土壤中,青蒿素浓度高达11.7 mg/kg 土,土壤溶液中的浓度是土壤的5倍以上^[4],直接或间接抑制周围植物的生长发育,对土壤微生物,如根瘤菌、自生固氮菌、磷细菌和钾细菌等产生广泛的毒害作用,进而影响它们的固氮、溶磷、解钾和促生等生理功能^[5-6]

三峡库区是我国黄花蒿的主产区^[7]。野外调查发现,在大规模种植黄花蒿的流域中,马尾松林中外生菌根真菌的子实体数目明显减少,可能是黄花蒿分泌的青蒿素影响了外生菌根真菌生长和菌根的形成。由于外生菌根真菌对森林生态系统十分重要,与森林的发生、发展、演替、衰亡等密切相关^[8]。因此,研究青蒿素对外生菌根真菌的化感效应,减轻黄花蒿的种植风险值得重视。国内外相关研究鲜见报道。

本研究以重庆市缙云山和金佛山森林土壤中的外生菌根真菌——褐环乳牛肝菌(*Suillus luteus*)和松乳菇(*Lactarius delicious*)为材料,研究了青蒿素对菌丝生长、H⁺和有机酸分泌、养分吸收量的影响,为正确评估集约化种植黄花蒿对森林生态系统的影响,维护森林健康奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

供试菌株保存于西南大学微生物实验室,它们是褐环乳牛肝菌(*Suillus luteus*)*Sl* 8 和松乳菇(*Lactarius delicious*)*Ld* 3,分别采自于重庆市金佛山和缙云山马尾松林下的强酸性土壤(pH 值 4.0—4.2),地处北亚热带。

在(25±1)℃的条件下,采用Pachlewski固体培养基暗培养供试菌株14 d备用。培养基组成为:0.5 g/L 酒石酸铵、1.0 g/L KH₂PO₄、0.5 g/L MnSO₄·7H₂O、20 g/L 葡萄糖、20 g/L 琼脂、0.1 g/L 维生素B1、1.0 mL/L 微量元素混合液(每升含8.45 mg H₃BO₃、5 mg MnSO₄·7H₂O、6 mg FeSO₄·7H₂O、0.625 mg CuSO₄·5H₂O、2.77 mg ZnCl₂ 和 0.27 mg (NH₄)₂MoO₄·2H₂O),pH 5.5。

1.2 试验设计

取150 mL三角瓶,加入50 mL Pachlewski液体培养基,121 ℃蒸汽灭菌后冷却。考虑到在北欧种植黄花蒿的土壤中,青蒿素浓度高达11.7 mg/kg 土,土壤溶液中的浓度是土壤的5倍以上^[4]。因此,试验准确加入500 μL不同浓度的无菌青蒿素溶液,形成青蒿素浓度分别为0,20,40,80 mg/L的液体培养基。然后,每瓶接种两块直径为6 mm、生物量约2 mg的圆形固体菌块,按常规方法,(25±1) ℃悬浮静置暗培养14 d^[9-10]。备

测有关项目,试验设置6次重复。

1.3 测定项目与方法

培养结束后,用pH-3C型精密酸度计测定培养液pH值。过滤收集菌丝,去离子水洗净,(80±2)℃烘干称重,用H₂SO₄-H₂O₂消化菌丝,依次用靛酚蓝比色法、钼蓝比色法、火焰光度计法测定消化液中的氮、磷、钾含量^[11]。

收集滤液,利用高效液相色谱仪(日本HITACHI公司生产)测定液体培养基中的有机酸含量。色谱条件为:Diode Array L-7455紫外检测器,Ion-300有机酸分析专用柱(Phenomenex,Torrance,CA,USA),流动相2.5 mmol/L硫酸,流速0.5 mL/min,进样量20 μL样液(样液先经硫酸酸化),紫外检测波长210 nm,柱温35℃,压力3.103 MPa。测定的有机酸包括草酸、丁二酸、苹果酸、柠檬酸,其出峰时间依次是9.57、11.55、13.33、16.16 min(图1)。

1.4 数据处理

分别用Excel和DPS 6.50软件对试验数据进行基本计算和统计分析,LSD进行多重比较,显著水平设置为P<0.01。

2 结果与分析

2.1 青蒿素对外生菌根真菌生长的影响

图2可见,悬浮静置暗培养14 d后,在液体培养基中,随青蒿素浓度的增加,外生菌根真菌株的生物量显著降低,但降幅因菌株不同而异。青蒿素对Sl 8生长的抑制作用大于Ld 3。在80 mg/L青蒿素的培养基中,Sl 8的生物量比对照(不加青蒿素)降低了89.13%,Ld 3的生物量仅比对照降低了26.89%。

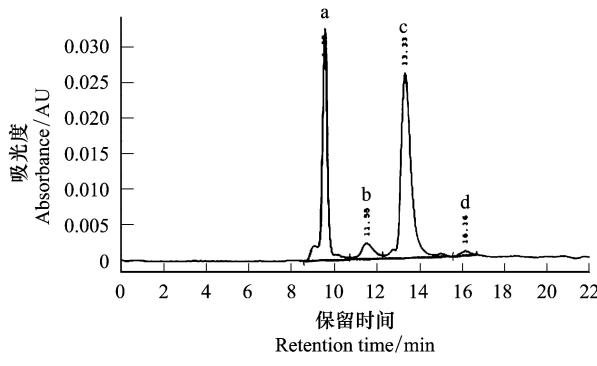


图1 有机酸标准色谱图

Fig. 1 Standard chromatogram of organic acids

a:草酸 Oxalic acid; b:丁二酸 Succinic acid; c:苹果酸 Malic acid; d:柠檬酸 Citric acid

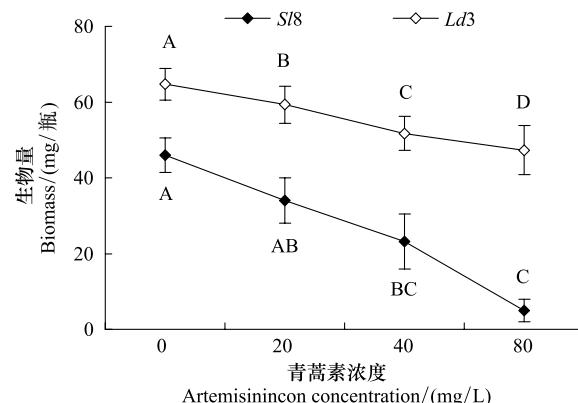


图2 青蒿素对外生菌根真菌生长的影响(平均值±标准差,n=6)

Fig. 2 The growth of ectomycorrhizal fungi in response to artemisinin (mean±SD, n=6)

竖线表示数据标准偏差,同一菌株下不同大写字母表示差异性显著(P<0.01)

2.2 青蒿素对外生菌根真菌分泌H⁺速率的影响

表1可见,在液体培养基中,随着青蒿素浓度的增加,Sl 8的H⁺分泌速率(μmol·g⁻¹干重·d⁻¹)显著下降,Ld 3的H⁺分泌速率显著提高。在80 mg/L青蒿素的培养基中,Sl 8的H⁺分泌速率比对照相比降低了0.95倍,几乎停止H⁺分泌;Ld 3的H⁺分泌速率却比对照提高了1.75倍。

2.3 青蒿素对外生菌根真菌分泌有机酸的影响

2.3.1 草酸

表2可见,外生菌根真菌Sl 8和Ld 3均可分泌草酸,其分泌量因菌株和青蒿素浓度不同而不异。Sl 8的草酸分泌量显著高于Ld 3,它们的平均分泌量分别为1.20 mg/瓶(Sl 8),0.75 mg/瓶(Ld 3)。此外,在液体培养基中,随着青蒿素浓度的增加,Sl 8的草酸分泌量显著降低,Ld 3的草酸分泌量则显著提高。在80 mg/L青

蒿素的培养基中, *Sl 8* 的草酸分泌量比对照降低了 64.11%, 但 *Ld 3* 的草酸分泌量比对照提高了 58.62%。

表 1 青蒿素对外生菌根真菌分泌 H⁺的速率(μmol · g⁻¹ 干重 · d⁻¹)的影响(平均值±标准误差, n=6)

Table 1 The influence of artemisinin on H⁺ efflux rate by ectomycorrhizal fungi (mean±SE, n=6)

菌株 Strains	青蒿素浓度 Artemisinin concentration/(mg/L)			
	0	20	40	80
<i>Sl 8</i>	4.28±0.067A	4.11±0.018B	1.84±0.104C	0.20±0.009D
<i>Ld 3</i>	1.72±0.027C	3.23±0.015B	3.50±0.023B	4.74±0.003A

在表中同一行中, 不同大写字母者表示差异显著($P < 0.01$)

表 2 青蒿素对外生菌根真菌有机酸分泌量的影响(mg/瓶) (平均值±标准误差, n=6)

Table 2 Influence of artemisinin on organic acid efflux by ectomycorrhizal fungi (mean±SE, n=6)

菌株 Strains	有机酸/(mg/瓶) Organic acids	青蒿素浓度 Artemisinin concentration/(mg/L)			
		0	20	40	80
<i>Sl 8</i>	草酸 Oxalic acid	2.03±0.010A	1.26±0.056B	0.79±0.001B	0.73±0.010C
	丁二酸 Succinic acid	ND	ND	ND	ND
	苹果酸 Malic acid	ND	ND	ND	2.06±0.020A
	柠檬酸 Citric acid	0.37±0.005D	0.44±0.005C	0.47±0.006B	0.51±0.001A
<i>Ld 3</i>	草酸 Oxalic acid	0.58±0.018A	0.67±0.042AB	0.80±0.066B	0.92±0.009A
	丁二酸 Succinic acid	8.03±0.138C	12.83±0.234B	13.22±0.886B	15.89±0.432A
	苹果酸 Malic acid	2.81±0.341C	7.96B±0.608C	8.75±0.440B	10.86±0.999A
	柠檬酸 Citric acid	0.18±0.001C	0.32±0.012B	0.35±0.001B	0.47±0.008A

ND 表示未测定出

2.3.2 丁二酸

表 2 可见, *Sl 8* 不分泌丁二酸。在青蒿素浓度为 0—80 mg/L 的培养基中, *Ld 3* 分泌丁二酸的量从 8.03 mg/瓶提高到 15.89 mg/瓶, 增加了 97.88%。

2.3 苹果酸

表 2 可见, *Ld 3* 的苹果酸分泌量随青蒿素浓度的提高而增加, 在青蒿素浓度为 80 mg/L 的培养基中, *Ld 3* 的苹果酸分泌量比对照增加了 2.86 倍。但是, 在青蒿素浓度为 0—40 mg/L 的培养基中, *Sl 8* 不分泌苹果酸; 在青蒿素浓度为 80 mg/L 的培养基中, *Sl 8* 可分泌 2.06 mg/瓶苹果酸。

2.3.4 柠檬酸

表 2 可见, 外生菌根真菌的柠檬酸分泌量随青蒿素浓度增加而提高, 其增幅因菌株不同而异。在不加青蒿素的培养基中, 它们的柠檬酸分泌量分别为 0.37 mg/瓶 (*Sl 8*) 和 0.18 mg/瓶 (*Ld 3*); 当青蒿素浓度达到 80 mg/L 时, 它们的柠檬酸分泌量分别提高了 0.39 倍 (*Sl 8*) 和 1.61 倍 (*Ld 3*)。此外, 两株外生菌根真菌的柠檬酸分泌量也不一样, *Sl 8* 显著高于 *Ld 3*, 平均分泌量前者是后者的 1.36 倍。

2.4 青蒿素对外生菌根真菌 N、P、K 含量和吸收量的影响

表 3 是不同青蒿素处理条件下, 外生菌根真菌菌丝的 N、P、K 的含量和吸收量(菌丝养分含量×生物量)。

2.4.1 氮

在液体培养基中, 外生菌根真菌的含氮量随青蒿素浓度的提高而降低。当培养基中的青蒿素浓度达到 80 mg/L 时, 菌丝含氮量分别比对照降低了 36.61% (*Sl 8*) 和 31.59% (*Ld 3*)。

外生菌根真菌的吸氮量随青蒿素浓度的提高而减少, 其降幅因菌株不同而异。当培养基中的青蒿素浓度达到 80 mg/L 时, 外生菌根真菌的吸氮量分别为 0.06 mg/瓶 (*Sl 8*) 和 0.45 mg/瓶 (*Ld 3*), 分别比对照降低了 93.10% 和 50.55%。

2.4.2 磷

青蒿素对外生菌根真菌含磷量和磷吸收量的影响与氮类似, *Sl 8* 的吸磷量的降幅显著大于 *Ld 3*。当培养

基中的青蒿素浓度为 80 mg/L 时, *Sl 8* 和 *Ld 3* 的菌丝含磷量分别比对照降低了 17.85% 和 26.33%; 吸磷量分别降低了 91.94% (*Sl 8*)、46.30% (*Ld 3*), 前者几乎停止了磷的吸收。

2.4.3 钾

在液体培养基中, 青蒿素浓度越高, 外生菌根真菌的含钾量和钾吸收量越低, 尤以 *Sl 8* 的吸钾量降低最为显著。当培养基中的青蒿素浓度为 80 mg/L 时, *Sl 8* 和 *Ld 3* 的菌丝含钾量比对照降低了 41.55% 和 20.85%; 吸钾量降低了 93.26% (*Sl 8*)、42.28% (*Ld 3*)。

表 3 青蒿素对外生菌根真菌 N、P、K 含量和吸收量的影响(平均值±标准误差, n=6)

Table 3 The effect of artemisinin on the contents and absorption of N, P and K by ECM fungi (mean±SE, n=6)

菌株 Strains	青蒿素浓度 Artemisinin concentration (mg/L)	养分浓度/(mg/g) Nutrient concentration			养分吸收量/(mg/瓶) Nutrient absorption		
		N	P	K	N	P	K
<i>Sl 8</i>	0	21.11±0.667A	13.50±0.285B	19.35±0.942B	0.87±0.107AB	0.62±0.013C	0.89±0.043B
	20	20.97±0.236A	11.12±0.587C	17.58±0.424B	0.64±0.077BCD	0.37±0.020D	0.60±0.014C
	40	19.66±0.208B	11.05±0.311C	14.09±0.122C	0.41±0.050D	0.25±0.007D	0.29±0.036D
	80	13.38±0.243B	11.09±0.482C	11.31±0.504C	0.06±0.007E	0.05±0.002E	0.06±0.003E
<i>Ld 3</i>	0	13.99±1.194B	16.76±0.622A	23.02±0.856A	0.91±0.077A	1.08±0.040A	1.49±0.055A
	20	11.71±0.905B	16.21±0.364A	22.82±0.444A	0.70±0.054ABC	0.86±0.103AB	1.35±0.026A
	40	11.59±0.328B	13.92±0.480B	22.54±0.724A	0.60±0.017CD	0.72±0.025BC	1.04±0.128B
	80	9.57±0.360C	12.28±0.380BC	18.22±0.277B	0.45±0.014CD	0.58±0.002C	0.86±0.013B

在表中同一列中, 不同大写字母者表示差异显著($P < 0.01$)

3 结论与讨论

试验结果表明, 在液体培养基中加入青蒿素, 两株外生菌根真菌的菌丝生长以及 N、P、K 的吸收量均受到不同程度地抑制。且随着青蒿素浓度的增大, *Ld 3* 分泌 H⁺和草酸的能力逐渐增强, 而 *Sl 8* 的分泌量相应下降。在本项研究中, 离体培养外生菌根真菌, 菌丝生物量随培养液中青蒿素浓度的升高而明显降低。当青蒿素浓度达到 80 mg/L 时, *Sl 8* 的生长接近停止。Jessing 等报道, 当青蒿素进入有机质含量丰富的森林土壤中, 极易与氨基酸、蛋白质、氨基糖、土壤酶、腐殖质和土壤粘粒结合, 极大地提高了青蒿素在土壤中的溶解度和稳定性, 致使森林土壤中残存的青蒿素浓度可能更高, 毒害作用更强更持续^[4]。Delabays 等发现青蒿素在土壤中的移动性较强, 很易发生淋溶^[2]。而三峡库区作为黄花蒿的主产区, 年降雨量丰富, 青蒿素更易经地表和地下径流进入流域中的农田、森林、水体等生态系统, 这可能是部分区域黄花蒿大规模种植带来马尾松林下外生菌根真菌子实体减少的原因之一。

外生菌根真菌在纯培养或与木本植物共生的条件下均能产生 H⁺及多种有机酸, 如草酸、柠檬酸、苹果酸、丁二酸等, 其中草酸分泌量最大^[12-14]。研究发现, H⁺和草酸不仅能够活化土壤中的难溶性磷, 提高有效磷含量, 而且可以溶解土壤中的矿物, 加速矿质风化, 促进晶体结构中的钾、钙、镁、微量元素等养分离子的释放, 从而改善植物营养^[15-16]。此外, 草酸还能有效地降低植物根际的 pH 值, 络合污染土壤中的重金属离子^[13,17], 提高植物对重金属的抗性。本试验表明, 青蒿素促进 *Ld 3* 但抑制 *Sl 8* 分泌 H⁺和草酸, 即青蒿素对外生菌根真菌分泌 H⁺和草酸的影响因菌种不同而异。在森林生态系统中, 大规模集中种植黄花蒿将向环境释放大量的化感物质—青蒿素, 致使 *Sl 8* H⁺和草酸分泌量下降, 可能影响到土壤难溶性养分的活化, 以及对重金属污染地区金属离子的络合。在青蒿素的作用下, *Sl 8* 的菌丝生物量极显著降低, 这可能是导致 *Sl 8* H⁺和草酸分泌量减少的主要原因之一。医学研究发现^[18], 在疟原虫体内, 青蒿素的过氧基团在硫铁蛋白催化下, 产生的自由基能够攻击疟原虫的细胞膜, 致使膜通透性增大从而导致细胞死亡。此外, 周晋等^[19]研究表明青蒿素还可能开放白细胞膜上的离子通道致使细胞的通透性变大。在本项研究中, 在液体培养基中加入青蒿素, 受试菌株 *Ld 3* 的 H⁺和草酸分泌量有所增加, 推测青蒿素对该菌株也有上述类似的机制, 即青蒿素改变了菌体细胞

膜的通透性,但作用机理还有待于从细胞生物学水平上作进一步证实与探索。

外生菌根真菌对森林生态系统十分重要,它们感染树木根系形成外生菌根之后,菌丝覆盖根系表面形成菌套,外延菌丝伸入土壤,活化吸收土壤养分,改善寄主植物营养,促进生长、提高抗逆性(抗旱、抗病、抗重金属等)、分泌多种植物生长激素等^[20-23]。N、P、K是树木需要最多的“三要素”。青蒿素不同程度地降低外生菌根真菌菌丝的N、P、K含量和吸收量。当培养基中青蒿素达到80 mg/L时,Ld 3 N、P、K的吸收量比不加青蒿素的处理分别降低了50.55%、46.30%和42.28%,Sl 8几乎不能生长,丧失N、P、K吸收能力。说明青蒿素总体上抑制外生菌根真菌对N、P、K养分的吸收,但抑制程度因菌株不同而异。考虑到外生菌根真菌形成外生菌根具有寄主专一性,故青蒿素对森林营养的影响也可能因林种不同而不一样。在森林生态系统中,外生菌根真菌的外延菌丝是吸收、运输和储存养分的重要器官,土壤中滞留的青蒿素可能影响菌根真菌的菌丝长度及密度,减少其与土壤的接触面积,导致养分的吸收范围缩小,养分吸收量下降,进而干扰森林树木的营养生长。因此,青蒿素对森林生态系统的健康影响不容忽视。

References:

- [1] Dhingra V, Rao K V, Narasu M L. Current status of artemisinin and its derivatives as antimalarial drugs. *Life Sciences*, 2000, 66(4): 279-300.
- [2] Delabays N, Simonnet X, Gaudin M. The genetics of artemisinin content in *Artemisia annua* L. and the breeding of high yielding cultivars. *Current Medicinal Chemistry*, 2001, 8(15): 1795-1801.
- [3] Bloom A J, Meyerhoff P A, Taylor A R, Rost T L. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2003, 21(4): 416-431.
- [4] Jessing K K, Cedergreen N, Jensen J, Hansen H C B. Degradation and ecotoxicity of the biomedical drug artemisinin in soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2009, 28(4): 701-710.
- [5] Tripathi A K, Prajapati V, Aggarwal K K, Khanuja S P S, Kumar S. Repellency and toxicity of oil from *Artemisia annua* to certain stored-product beetles. *Journal of Economic Entomology*, 2000, 93(1): 43-47.
- [6] Maggi M E, mangeaud A, Carpinella M C, Ferrayoli C G, Valladares G R, Palacios S M. Laboratory evaluation of *Artemisia annua* L. extract and artemisinin activity against *Epilachna paenulata* and *Spodoptera eridania*. *Journal of Economic Entomology*, 2005, 31(7): 1527-1536.
- [7] Chen J Y, Zhang L, Wang Z H, Huang X K, Huang Z C, Zou W L, Zhang X H, Tan L, Zhang B Y, Zeng X Q. The principal components analysis on planting sites conditions of *artemisiae annie* varieties in three gorges reservoir area. *Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition*, 2011, 36(1): 108-111.
- [8] Tong L H, Zhang H G, Yao X. Prospects of exploitation and utilization of ecto-mycorrhiza. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008, 14(14): 86-89.
- [9] Cai N N. Interaction between *Suillus luteus* Mycelium and pH of Culture Media [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [10] Strzelczyk E, Dahm H, Pachlewski R. B-group vitamins production by mycorrhizal fungi in response to pH (in vitro studies). *Plant and Soil*, 1991, 137(2): 237-241.
- [11] Bao S D. Soil Agriculturalization Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 263-268.
- [12] Heim A, Brunner I, Frossard E, Luster J. Aluminum effects on *Picea abies* at low solution concentrations. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67(3): 895-898.
- [13] Gu X R, Huang J G. Effect of aluminum on growth, oxalate exudation, and uptake of aluminum, phosphorus and potassium by ectomycorrhizal fungi *in vitro*. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 357-363.
- [14] Manish C S, McCauley B L, Timperman A T, Cumming J R. Aluminum Chelation by Ectomycorrhizal Exudates. Virginia: Proceeding of the ESA/SER Joint Meeting, 2007: 48-50.
- [15] Gong S G, Wang X X, Zhang T L, Li Q M, Zhou J. Release of inorganic phosphorus from red soils induced by low molecular weight organic acids. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(4): 692-697.
- [16] Yuan L, Fang D H, Wang Z H, Wei X Y, Huang J G. Effects of potassium on the secretion of proton and oxalate by ectomycorrhizal fungi and the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in their hyphae. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 254-258.
- [17] Xue X P, Zhang S, Li H T, Cheng J, Huang J G. Effects of phosphorus on the excretion of oxalate, hydron and phosphatase by ectomycorrhizal fungi *Lactarius deliciosus* and *Laccaria bicolor*. *Mycosistema*, 2008, 27(2): 193-200.
- [18] Ding H X, Li J F, Chen X M, Li L. Advances of pharmacological action research of natural medicine artemisinin and its derivatives. *Chinese*

- Journal of Bases and Clinics in General Surgery, 2010, 17(5) : 519-521.
- [19] Zhou J, Meng R, Li L M, Liu Y, Li B X, Yang B F. Effects of artemisinin on human leukemia cell lines and primary cells. Chinese Journal of Internal Medicine, 2003, 42(10) : 713-714.
- [20] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed. London: Academic Press, 2008: 189-386.
- [21] Machuca A, Pereira G, Aguiar A, Milagres A M. Metal-chelating compounds produced by ectomycorrhizal fungi collected from pine plantations. Letters in Applied Microbiology, 2007, 44(1) : 7-12.
- [22] Yan D H, Yao Y J. Recent advance of research on fungi in forest ecosystem. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(2) : 143-150.
- [23] Wang C B, Lin J Z. The research advances and prospects of Mycorrhiza in China. Forest By—Product and Speciality in China, 2006, (4) : 105-106.

参考文献:

- [7] 陈俊意, 张露, 王志虹, 黄晓可, 黄祖春, 邹万良, 张晓晖, 谭丽, 张包勇, 曾祥琼. 三峡库区青蒿种植基地的主成分分析. 西南师范大学学报:自然科学版, 2011, 36(1) : 108-111.
- [8] 佟丽华, 张红光, 姚鑫. 外生菌根真菌的作用与应用开发前景展望. 安徽农学通报, 2008, 14(14) : 86-89.
- [9] 蔡楠楠. 褐环粘盖牛肝菌菌丝与培养基 pH 的相互作用 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-268.
- [13] 辜夕容, 黄建国. 锌对外生菌根真菌草酸分泌及磷、钾、锌吸收的影响. 生态学报, 2010, 30(2) : 357-363.
- [15] 龚松贵, 王兴祥, 张桃林, 李清曼, 周静. 低分子量有机酸对红壤无机磷活化的作用. 土壤学报, 2010, 47(4) : 692-697.
- [16] 袁玲, 方德华, 汪智慧, 魏兴元, 黄建国. 锌对外生菌根真菌的分泌作用及氮、磷、钾含量的影响. 生态学报, 2001, 21(2) : 254-258.
- [17] 薛小平, 张深, 李海涛, 陈吉, 黄建国. 锌对外生菌根真菌松乳菇和双色蜡蘑草酸、氢离子和磷酸酶分泌的影响. 菌物学报, 2008, 27 (2) : 193-200.
- [18] 丁焕新, 李镜峰, 陈旭明, 李立. 天然药物青蒿素及其衍生物的作用机理研究进展. 中国普外基础与临床杂志, 2010, 17(5) : 519-521.
- [19] 周晋, 孟然, 李丽敏, 刘影, 李宝馨, 杨宝峰. 青蒿素对人白血病细胞株和原代细胞的影响. 中华内科杂志, 2003, 42(10) : 713-714.
- [22] 严东辉, 姚一建. 菌物在森林生态系统中的功能和作用研究进展. 植物生态学报, 2003, 27(2) : 143-150.
- [23] 王成彬, 林久志. 中国外生菌根资源的研究进展与展望. 中国林副特产, 2006, (4) : 105-106.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 6 March ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea
..... WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria*
..... LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi
..... ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests
..... JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang
..... ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth
and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model
..... ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis
..... ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus*
..... HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male
..... ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay
..... LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters
..... SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia
..... PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain
..... JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing,
China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus*
..... ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method
..... SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第6期 (2013年3月)

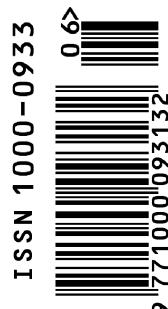
ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街16号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元