

## 4种切梢小蠹携带伴生菌的带菌率差异

王艺璇<sup>1,3</sup>, 王晓渭<sup>1</sup>, 陈鹏<sup>1,3\*</sup>, 袁瑞玲<sup>1,3</sup>, 冯丹<sup>1,3</sup>,  
杜春花<sup>1\*\*</sup>, 叶辉<sup>2</sup>, 潘悦<sup>2</sup>, 吕军<sup>2</sup>

(1. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南大学农学院, 云南 昆明 650091;  
3. 云南省作物病虫害生物防控技术研究中心, 云南 昆明 650091)

**摘要:** [目的]为了弄清中国云南4种切梢小蠹伴生菌的携带率差异,了解伴生菌在蠹害过程中的互作关系。[方法]采用人工接种法和野外调查法,检测松树韧质部是否蓝变,判断切梢小蠹带菌情况,统计分析小蠹试验材料的带菌率。[结果]云南切梢小蠹成虫带菌率(80%)明显高于横坑切梢小蠹(63%)、松芽小蠹(53%)、华山松切梢小蠹(56%)。切梢小蠹幼虫的带菌率最高(90%),其次是蛹的带菌率(78%),新成虫的带菌率最低(58%)。切梢小蠹头(33%)、足(30%)、翅(32%)3个重要器官带菌率差异不明显。林间调查表明,切梢小蠹伴生菌提高了小蠹蛀干繁殖的成功率。[结论]首次报道了中国云南4种切梢小蠹伴生菌的带菌特性及其差异,研究结果为揭示云南省切梢小蠹成灾机制及探索切梢小蠹有效防控新途径提供了科学数据支持。

**关键词:** 切梢小蠹; 伴生真菌; 带菌率; 危害程度

**中图分类号:** S763.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)02-0053-07

20世纪80年代至今,切梢小蠹 *Tomicus* spp. 在中国云南肆意猖獗,对云南松造成了毁灭性的灾难,被称为云南松 (*Pinus yunnanensis* Franch) 的“癌症”<sup>[1-3]</sup>。蠹害不仅是小蠹虫造成的,小蠹虫在其蛀害的过程中还常携带病原真菌即“伴生菌”侵入,蠹害是寄主树木的抗御与小蠹虫及其伴生菌的蛀害侵染之间相互作用的结果<sup>[4-6]</sup>。研究发现,小蠹虫与其所带的病原真菌关系是相对稳定的,某种小蠹虫总是与某一种或几种病原真菌发生联系<sup>[7]</sup>。这些病原真菌往往需要借助小蠹虫传带到达寄主树木,完成生命周期;病原真菌对树木的危害削弱了树木的抗性,从而有助于小蠹虫的成功入侵<sup>[4,8]</sup>。病原真菌通过小蠹虫的蛀害过程被携带进入寄主树木组织内,在侵染过程中分泌毒素对寄主树木进行危害<sup>[9]</sup>,进一步研究发现,病原真菌分泌的毒素原液中具有蛋白类或氨基酸类物质,它对寄主植物抗性物质代谢有关的过氧化物酶(PO)、多酚氧化酶(PPO)及苯丙氨酸解氨酶(PAL)的活性均有抑制作用,从而削

弱了寄主树木的抗性作用,这也是伴生真菌的一个重要致病机制<sup>[10-12]</sup>。

多年来,对云南发生危害的切梢小蠹种类存在争议<sup>[12]</sup>。在过去很长时间里,将在云南成灾危害的切梢小蠹被视为纵坑切梢小蠹 (*Tomicus pinperda*),其在欧洲和北美以及我国的北方是一种次期性害虫,主要危害衰弱木,虫口密度大时才侵害健康木。但在云南,切梢小蠹不仅危害衰弱木,也危害健康木,然而,在云南发生的切梢小蠹的生物学和生态学特性明显不同于欧美及我国北方的种类<sup>[12-14]</sup>。基于分子生物学和形态学的研究,2008年在云南造成严重危害的切梢小蠹被重新认识,并被正式定名为云南切梢小蠹 (*T. yunnanensis*)<sup>[15]</sup>,此后,在云南楚雄危害华山松 (*P. armandii*) 的切梢小蠹于2010年被正式定名为华山松切梢小蠹 (*T. armandii*)<sup>[16]</sup>。2014—2015年松芽小蠹 (*T. brevopilosus*) 也被证实云南多地与云南切梢小蠹和横坑切梢小蠹 (*T. mi-*

收稿日期: 2018-01-16 修回日期: 2018-03-28

基金项目: 云南省应用基础重点项目:“云南省切梢小蠹伴生真菌种类及在小蠹蛀害中的协同互作机制”(2013FA055); 云南省青年项目:“伴生真菌与切梢小蠹聚集行为关系初探”(2017FD171)

\* 通讯作者: 陈鹏, 研究员, 博士, 主要从事森林保护研究。

\*\* 共同通讯作者简介: 杜春花, 主要从事经济林培育研究

nor)联合危害松林<sup>[17-18]</sup>。迄今,全球已知的8种切梢小蠹有4种在中国云南发生危害,云南成为开展切梢小蠹相关研究的最佳区域,也成为其伴生菌研究的最佳区域。

一直以来,为了更好地防控蠹害,学术界对切梢小蠹的生物学及生态学进行了大量研究,但对其伴生菌的研究却很少,尤其是国内少有研究<sup>[10-12]</sup>。切梢小蠹伴生真菌是导致蠹害的关键因素之一,也是揭示该区域切梢小蠹大发生的研究瓶颈。因此,开展切梢小蠹伴生菌的研究显得极为重要。为了弄清中国云南地区切梢小蠹对伴生菌的携带率的大小(简称带菌率),本研究检测分析了不同切梢小蠹种类携带伴生菌的带菌率差异,比较了切梢小蠹不同虫态以及成虫的头、足、翅的带菌率差异,通过野外随机抽样,分析了切梢小蠹危害程度与切梢小蠹带菌率的关系,旨在揭示切梢小蠹成灾机制,为探索切梢小蠹有效防控新途径提供科学数据支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

切梢小蠹的带菌率检测,所需要的实验材料:各种虫态切梢小蠹,包括幼虫、蛹和新成虫,健康木段;解剖镜,MEA培养基,解剖镊,普通镊子,酒精灯,手术剪,脱脂棉,打孔器,刮刀等。切梢小蠹采样地选择蠹害重灾区的弥勒、丘北、陆良等地松林,在切梢小蠹的梢转干期(2014年12月—2015年3月)采集受害松枝梢,采集不同种类切梢小蠹成虫各60头,用于不同虫种成虫带菌率和各器官带菌率实验;同时采集不同切梢小蠹蛀干的蠹害木各3段,每段50 cm,带回实验室获取各虫态的切梢小蠹,用于不同虫态切梢小蠹带菌率实验;取健康木段若干用于带菌率接种。

### 1.2 研究方法

1.2.1 不同切梢小蠹带菌率检测方法 切梢小蠹各器官带菌判断方法是,根据切梢小蠹伴生菌使正常的寄主植物木质部蓝变的现象<sup>[13]</sup>,以此确定各器官是否带菌(如图1)。从枝梢上采集的切梢小蠹,采样时间于2014年12月—2015年3月,此时切梢小蠹在枝梢补充营养已完成,枝梢上的成虫已准备好转干进行蛀干繁殖。用解剖镜区分种类后,分别取云南切梢小蠹、横坑切梢小蠹、松芽小蠹和华山松切梢小蠹活虫各30头。在未发生切梢小蠹危害的云南松健康林分,伐倒胸径8~10 cm云南松,仔细

检查松梢和树干,确认伐倒云南松未受小蠹和其它蛀干害虫危害后(即健康云南松),将伐倒木截成长50 cm木段,取直径8~10 cm木段若干,用白乳胶和牛皮纸将木段的两端封住,保持木段湿度。用打孔器在木段上打一小孔,孔深到木质部与韧皮部之间,孔径1 cm,每根木段打5个小孔,小孔与小孔间隔5 cm以上,将不同种类的切梢小蠹放入孔内(1头/孔),然后将原孔塞放回将虫压死并封住孔口;同时选取3组(段),仅打孔,取孔塞,再放回孔塞,作为对照。将接种后的木段放在25℃的养虫室中,试验木段自然竖立。30天后,刮开接种的部位,观察是否有蓝变,统计蓝变的数量。

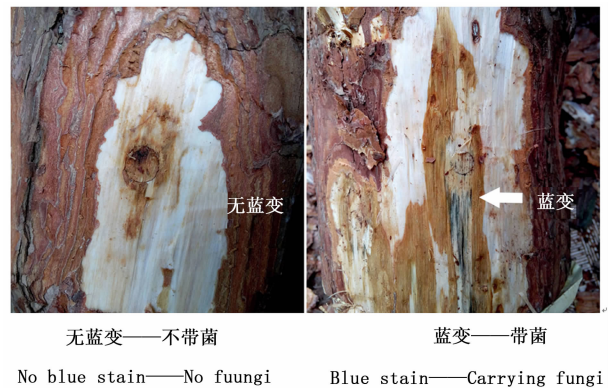


图1 切梢小蠹带菌导致寄主蓝变

Fig. 1 Blue stain of host plant by *Tomticus*

1.2.2 切梢小蠹虫态带菌率检测方法 根据切梢小蠹伴生菌使正常寄主植物木质部变蓝的现象,确定不同虫态切梢小蠹是否带菌。不同虫态的切梢小蠹采集时间于切梢小蠹蛀干期间的12月,具体操作方法是:从野外采集的被不同切梢小蠹蛀干后的木段,将受蠹害的木段,用消毒刮刀刮去树皮留下韧皮部,分别在不同切梢小蠹蛀干的蠹害木中取出不同虫态切梢小蠹,幼虫、蛹、新成虫各30头,如果木段中还未见各种虫态切梢小蠹,将木段放置1~3周,待切梢小蠹在木段产卵并发育成各种虫态。将每种切梢小蠹的虫态分别接种到健康木段,将接种后的木段放在25℃的养虫室中,30天后,刮开接种部位,统计蓝变数量。

1.2.3 切梢小蠹成虫头足翅带菌率检测方法 从枝梢上采集的切梢小蠹,用解剖镜区分种类后,分别取云南切梢小蠹、横坑切梢小蠹、松芽小蠹和华山松切梢小蠹活虫各30头,用解剖镊和手术剪分别取下成虫的头、足和翅。取新鲜云南松木段将两端封住,保持木段湿度。用打孔器在木段上打一小孔,孔深

到木质部与韧皮部之间。将已分开的不同种类的切梢小蠹的头、足和翅放入孔内,然后将孔塞放回并封住孔口,将接种后的木段放在 25℃ 的养虫室中。30 天后,刮开接种的部位,观察是否有蓝变,统计蓝变的数量。

#### 1.2.4 切梢小蠹危害程度与带菌率关系检测方法

2015 年 2 月在云南陆良选择 3 种蠹害林分:位于小白户镇的切梢小蠹轻度危害云南松林区 A(枝梢被害率小于 20%),位于芳华镇的中度危害云南松林区 B(枝梢被害率 20%~50%)和位于马街镇的重度危害云南松林区 C(枝梢被害率大于 50%),在 3 个林区随机选取 50 个切梢小蠹蛀食坑道,用解剖镜观测坑道内是否有伴生菌孢子产孢结构或蓝变现象,统计切梢小蠹入侵孔数(包括有效侵入孔和无效侵入孔),带菌坑道率和有效坑道率,分析切梢小蠹危害程度与切梢小蠹带菌率的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 切梢小蠹种类带菌率

30 天后,对照木段组,均未发现蓝变现象。处理组,将 4 种切梢小蠹成虫接种到新鲜木段,根据木段接种部位蓝变数量统计得出:云南切梢小蠹带菌率最高,达到 80%,横坑切梢小蠹带菌率次之,为 63%,松芽小蠹带菌率为 53%,华山松切梢小蠹带菌率为 56%(见表 1)。

表 1 切梢小蠹种类带菌率

Table 1 Carrying rate of *Tomicus* sp. with blue stain fungi

虫种 <i>Tomicus</i> species	试验虫量/头 No. of test insects	带菌虫量/头 No. of insect carrying fungi	带菌率 Carrying rate%
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	30	24	80
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	30	19	63
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	30	16	53
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	30	17	56

### 2.2 切梢小蠹虫态带菌率

30 天后,对照木段组,均未发现蓝变现象。处理组,分别取不同虫态的切梢小蠹,接种到木段中,统计蓝变数量,总供试幼虫的带菌率为 90%,其中,云南切梢小蠹幼虫的带菌率最高达到 100%,华山松切梢小蠹幼虫的带菌率次之为 93%,横坑切梢小蠹和松芽小蠹幼虫的带菌率分别为 87% 和 80%。总供试蛹的带菌率为 78%,种间,横坑切梢小蠹蛹的带菌率最高为 87%,云南切梢小蠹和松芽小蠹蛹

的带菌率均为 80%,华山松切梢小蠹蛹的带菌率最低 67%。总供试新成虫的带菌率为 58%,种间,云南切梢小蠹 > 松芽小蠹 > 横坑切梢小蠹 = 华山松切梢小蠹,新成虫的带菌率分别为 67%,60%,53%,53%(表 2)。经数据显著性分析结果表明,4 种切梢小蠹不同虫态带菌率种间差异极显著 ( $P < 0.01$ ),但同一虫态间没有差异 ( $P > 0.05$ ),均表现为:幼虫的带菌率明显高于蛹,而新成虫的带菌率又明显小于蛹的带菌率。

表 2 切梢小蠹不同虫态带菌率比较

Table 2 Carrying rate of *Tomicus* different developing stages with blue stain fungi

虫态和虫种 Stages & <i>Tomicus</i> species	试验虫量/头 No. of test insects	带菌虫量/头 No. of insect carrying fungi	带菌率 Carrying rate%
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	15	15	100
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	15	13	87
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	15	12	80
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	15	14	93
小计 Subtotal	60	54	90
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	15	12	80
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	15	13	87
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	15	12	80
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	15	10	67
小计 Subtotal	60	47	78
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	15	10	67
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	15	8	53
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	15	9	60
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	15	8	53
小计 Subtotal	60	35	58

### 2.3 切梢小蠹成虫头足翅带菌率

30 天后,对照木段组,均未发现蓝变现象。处理组,分别取 4 种切梢小蠹的头、足和翅,接入木段,统计木段蓝变数量,总供试切梢小蠹成虫的头的带菌率为 33%,种间差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ),横坑切梢小蠹的带菌率最高,为 40%,华山松切梢小蠹带菌率最低 27%,云南切梢小蠹和松芽小蠹带菌



率均为33%。总供试切梢小蠹成虫的足的带菌率为30%，种间差异显著( $0.01 < P < 0.05$ )，横坑切梢小蠹 > 华山松切梢小蠹 > 云南切梢小蠹 > 松芽小蠹，带菌率分别为40%，33%，27%，20%。总供试切梢小蠹成虫的翅的带菌率为32%，种间差异显著( $0.01 < P < 0.05$ )，云南切梢小蠹 > 横坑切梢小蠹 > 华山松切梢小蠹 = 松芽小蠹，带菌率分别为40%，33%，27%，27%。(表3)。经数据显著性分析结果表明，4种切梢小蠹成虫的头、足、翅的带菌率种间存在差异，但总体而言，切梢小蠹成虫的头部带菌率稍高于足和翅的带菌率，但差异并不明显( $P > 0.05$ )。由此见，切梢小蠹伴生菌在切梢小蠹虫体上分布较为均匀，未集中于虫体某一部位。

#### 2.4 切梢小蠹危害程度与切梢小蠹带菌率的关系

基于蠹害轻、中、重3个林区的调查发现，由表4、表5分析可知，在云南陆良县，横坑切梢小蠹在云南松上的危害发生数量高于云南切梢小蠹。横坑切梢小蠹的带菌率存在一定的随机性，轻度林区为50%，中度林区为39.29%，重度林区为66.67% (表4)。云南切梢小蠹的带菌率与林分的蠹害程度同样存在一定的随机性，轻度林区为68.18%，中度林区为86.36%，重度林区为23.53% (表5)。但分析蛀害的成功率(有效坑道率)发现，不管是云南切梢小蠹还是横坑切梢小蠹，检测出带伴生菌(*Ophiostoma canum*)的切梢小蠹的坑道，其蛀害成功率(有效坑道率)均显著的高于未检测出伴生菌的切梢小蠹的蛀害成功率，而且云南切梢小蠹和横坑切梢小蠹带菌组在轻、中、重3种蠹害林区有效坑道率均大于无菌组，由此表明，伴生菌的存在显著提高了切梢小蠹

表3 切梢小蠹成虫头足翅带菌率

Table 3 Carrying rate of *Tomicus*'s head, leg and wing with blue stain fungi

器官和虫种 Organ & <i>Tomicus</i> species	试验虫量/头 No. of test insects	带菌虫量/头 No. of insect carrying fungi	带菌率 Carrying rate%
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	15	5	33
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	15	6	40
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	15	5	33
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	15	4	27
小计 Subtotal	60	20	33
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	15	4	27
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	15	6	40
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	15	3	20
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	15	5	33
小计 Subtotal	60	18	30
云南切梢小蠹 <i>Tomicus yunnanensis</i>	15	6	40
横坑切梢小蠹 <i>Tomicus minor</i>	15	5	33
松芽小蠹 <i>Tomicus brevipilosus</i>	15	4	27
华山松切梢小蠹 <i>Tomicus armandii</i>	15	4	27
小计 Subtotal	60	19	32

的蛀干繁殖成功率，进而加速了松树的死亡进程(表4、表5)。

表4 野外横坑切梢小蠹与伴生菌带菌调查情况

Table 4 Carrying rate of associated fungi by *Tomicus minor* in Yunnan pine trunks in forests

危害类型 Damage types	处理 Treatments	带菌种类 Fungi species	统计坑道数量 No. of survey galleries	入侵孔数 No. of entry holes	带菌率 Carrying rate of fungi/%	有效侵入孔数 No. of successful entry holes	有效坑道率 percent of successful entry holes/%
轻度 A Mild level A	带菌 <i>carrying fungi</i>	<i>O. canum</i>	28	14	50	10	71.43
	不带菌 <i>No fungi</i>			14	50	8	57.14
中度 B Middle level B	带菌 <i>Carrying fungi</i>	<i>O. canum</i>	28	11	39.29	7	63.64
	不带菌 <i>No fungi</i>			17	60.71	7	41.18
重度 C Severe level C	带菌 <i>Carrying fungi</i>	<i>O. canum</i>	33	22	66.67	17	77.27
	不带菌 <i>No fungi</i>			11	33.33	3	27.27

(云南 陆良; Luliang, Yunnan)

### 3 讨论

小蠹虫伴生菌被认为是小蠹虫形成严重灾害的重要原因，然而由于小蠹与其伴生菌的共生关系，给

专门的伴生菌研究带来了一定的困难。在本试验过程中，我们将虫体直接放入培养皿中，看是否能长出伴生菌的菌落，以此来检测带菌率，实验发现，由于小蠹虫的体表携带了大量的细菌和其他真菌等微生物

表5 野外云南切梢小蠹与伴生菌带菌调查情况

Table 5 Carrying rate of associated fungi by *Tomicus yunnanensis* in Yunnan pine trunks in forests

危害类型 Damage types	处理 Treatments	带菌种类 Fungi species	统计坑道数量 No. of survey galleries	入侵孔数 No. of entry holes	带菌率 Carrying rate of fungi/%	有效侵入孔数 No. of successful entry holes	有效坑道率 percent of successful entry holes/%
轻度 A Mild level A	带菌 Carrying fungi	<i>O. canum</i>	22	15	68.18	10	66.67
	不带菌 No fungi			7	31.82	3	42.86
中度 B Middle level B	带菌 Carrying fungi	<i>O. canum</i>	22	19	86.36	10	52.63
	不带菌 No fungi			3	13.64	1	33.33
重度 C Severe level C	带菌 Carrying fungi	<i>O. canum</i>	17	4	23.53	3	75.00
	不带菌 No fungi			13	76.47	3	23.08

(云南 陆良; Luliang, Yunnan)

物,因此这种方法比较难检测到并分离伴生菌。本研究根据伴生菌的侵入特点,病原真菌通过小蠹虫的蛀害过程被携带进入寄主树木组织内,病原真菌在寄主树木组织内生长使韧皮组织坏死,并在韧皮上形成一个棕褐色的韧皮反映区,同时在树体内大量繁殖,并在木质部横截面上表现出蓝色菌斑、松脂斑和失水斑症状,从而使组织丧失正常的物质运输功能,最终导致寄主树木枯萎,甚至干枯死亡<sup>[9-12]</sup>。利用切梢小蠹伴生菌侵入寄主后会使得木质部蓝变的现象,采用间接接种到木段的方式,将不同虫态切梢小蠹,以及成虫的头、足、翅3个重要器官部件,分别接入木段中,一段时间后,通过检测木质部是否蓝变,判断切梢小蠹带菌情况,通过统计蓝变数量,计算切梢小蠹试验材料的带菌率,从而判断试验材料是否带菌,取得了较好的试验检测效果。

采用上述方法,本研究首次分析比较了在云南分布的4种切梢小蠹成虫伴生菌带菌率的差异,结果表明,云南切梢小蠹成虫带菌率明显高于其它3种小蠹成虫的带菌率,这也印证了多年以来云南切梢小蠹在云南严重危害,其危害程度明显高于横坑切梢小蠹等其它3种小蠹的事实。已有研究证实,云南切梢小蠹对云南松的攻击力(蛀干能力)显著的高于横坑切梢小蠹<sup>[19-24]</sup>,基于本研究结果,云南切梢小蠹的带菌率明显高于其它3种切梢小蠹,在云南的云南切梢小蠹的危害程度明显高于其它3种小蠹,这其中与小蠹虫带菌率的高低存在一定的关系。本项试验结果表明,切梢小蠹不同发育阶段,幼虫的带菌率最高,其次是蛹的带菌率,新成虫的带菌率最低,其中,云南切梢小蠹幼虫的带菌率高达100%。分析认为,幼虫在寄主树皮内生活,即在伴生菌最适生长区域内生长,极容易携带伴生菌,这可能是切梢小蠹幼虫的带菌率相对较高的主要原因;此外,伴生菌的菌丝或孢子很可能是切梢小

蠹幼虫的食物之一<sup>[8-9]</sup>,或是参与了幼虫对木质素的消化和分解<sup>[8-9]</sup>,便于幼虫的取食,这也是幼虫带菌明显高于其它虫态的原因。对蛹来说,幼虫逐渐蜕皮变蛹,伴生菌会随表皮的蜕去而使蛹的带菌率降低;新成虫带菌率再次降低,可能也以新成虫从蛹壳中羽化蜕壳,蜕去携带大量伴生菌的蛹壳,使新成虫带菌率又随之下降。因此造成了切梢小蠹不同发育阶段带菌率的差异。

国外研究发现,有的小蠹虫,如材小蠹科 Scolytidae,有专门携带伴生菌的贮菌器(mycangia),贮菌器是与小蠹虫分泌细胞相联系的角质层结构,因其所在位置不同分为胸贮菌器、颞贮菌器、上颌骨贮菌器和外部凹陷贮菌器等<sup>[8-9]</sup>。根据小蠹虫是否有贮菌器,还可以把伴生菌分为由贮菌器携带的伴生菌和不由贮菌器携带的伴生菌,贮菌器可以帮助小蠹虫携带伴生真菌的孢子和菌丝,还有助于小蠹虫的化学通讯,有贮菌器的小蠹虫依靠贮菌器携带伴生菌,而不具有贮菌器的小蠹虫是通过小蠹虫体表携带伴生菌<sup>[7-10]</sup>。通过本项研究,切梢小蠹头、足和翅3个重要器官带菌率近似,差异不明显,揭示了切梢小蠹伴生菌在切梢小蠹体表均匀带菌的结果,对于切梢小蠹体内是否有贮菌器的生理结构,伴生菌又是否为由贮菌器携带的伴生菌,还有待深入研究。

通过野外调查,揭示了切梢小蠹危害程度与切梢小蠹带菌率的关系。从调查分析结果来看(表4,表5),表观上,切梢小蠹的带菌率与林分的蠹害程度存在一定的随机性,轻度危害的蠹害林分,小蠹在树干内的带菌率高达68%,而即使是重度危害的蠹害林分,小蠹在树干内的带菌率也仅有23.5%。但研究发现一个普遍的现象,即只要切梢小蠹携带了伴生菌,其蛀干繁殖的成功率一定高于不携带伴生菌的切梢小蠹的蛀干繁殖的成功率,即具体到每一株受害松树,伴生菌的存在能使切梢小蠹快速形成

其有效的繁殖坑道,导致受害松树的营养供给被切断,也就加速了受害木的死亡进程。如表5所示,陆良县蠹害重度发生林分,在随机调查的17个云南切梢小蠹的坑道中,有4个坑道检测出伴生菌 *O. canum*,其它的13个坑道未检测出,云南切梢小蠹带菌率仅有23.5%,进一步解析木段坑道发现,携带了 *O. canum* 的坑道,有3个坑道为有效侵入坑道(坑道完整,有交配室、母坑道、子坑道等),仅有1个无效侵入坑道(仅有侵入孔,未形成有交配室、母坑道、子坑道等),有效坑道率为75%;而相对应的13个无伴生菌坑道,仅有3个坑道成功发展为有效侵入坑道,有效坑道率仅为23%。因此,基于本次野外调查结果,可以看出,切梢小蠹伴生菌在小蠹成功蛀干繁殖的过程中扮演着重要的正向作用,在有伴生菌的参与情况下,切梢小蠹的蛀干成功率均明显高于无伴生菌小蠹虫的蛀干成功率,伴生菌的存在加速了受害松树的死亡进程。

#### 4 结论

本研究首次分析比较了中国云南分布的4种切梢小蠹成虫伴生菌带菌率的差异。在中国云南,云南切梢小蠹成虫伴生菌的带菌率为80%,明显高于横坑切梢小蠹、松芽小蠹、华山松切梢小蠹等3种切梢小蠹成虫的带菌率,3者的带菌率值分别为63%、53%、56%。切梢小蠹不同虫态伴生菌的带菌率种间存在差异,其中,云南切梢小蠹幼虫的带菌率高达100%,明显高于横坑切梢小蠹、松芽小蠹、华山松切梢小蠹3种切梢小蠹幼虫的带菌率。虫态间,切梢小蠹幼虫的带菌率明显高于蛹和新成虫,3者的带菌率分别为90%、78%、58%。切梢小蠹成虫的头、足和翅不同部位伴生菌的带菌率差异不明显,未发现切梢小蠹特异的带菌器官,头、足、翅的带菌率分别为33%、30%、32%。野外调查表明,切梢小蠹伴生菌在小蠹成功蛀干繁殖的过程中扮演着重要的正向作用,在有伴生菌的参与情况下,切梢小蠹的蛀干成功率均明显高于无伴生菌小蠹虫的蛀干成功率,伴生菌的存在加速了受害松树的死亡进程。研究结果为揭示切梢小蠹成灾机制及探索切梢小蠹有效防控新途径提供了科学数据支持。

#### 参考文献:

[1] 王向东,赵 芊. 凉山州纵坑切梢小蠹虫发生情况及防治对策研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 276-278.  
[2] 刘正忠,郑红军,曾宪勤,等. 毕节地区林业有害生的普查[J].

贵州林业科技, 2007, 35(3): 57-64.  
[3] 刘宏屏. 云南省松纵坑切梢小蠹综合防治技术[OL]. 2008, http://www.ynsf.net/.  
[4] Siemaszko W. Fungi associated with bark beetle in Poland [J]. *Planta Polonica*, 1939, 7:1-54.  
[5] 叶 辉. 小蠹虫伴生菌研究概况[J]. *世界林业研究*, 1997, 10(1): 30-35.  
[6] Franois Lieutier, Annie Yart, Aurélien Salle. Stimulation of tree defenses by Ophiostomatoid Fungi can explain attack success of bark beetles on conifers [J]. *Annals of Forest Science*, 2009, 66(8): 801-823.  
[7] Zhou X D, De Beer Z W. DNA sequence comparisons 490 of *Ophiostoma* spp., including *Ophiostoma aurorae* sp. nov., associated with pine bark beetles in South Africa [J]. *Studies in Mycology*, 2006, 55: 269-277.  
[8] Harrington T C, Aghayeva D N, Fraedrich S W. New combinations in *Raffaëlea*, *Ambrosiella*, and *Hyalorhinocladiella*, and four new species from the redbay ambrosia beetle, *Xyleborus glabratus* [J]. *Mycotaxon*, 2010, 111: 337-361.  
[9] Alamouti S M, Tsui C K M, Breuil C. Multigene phylogeny of filamentous ambrosia fungi associated with ambrosia and bark beetles [J]. *Mycological Research*, 2009, 113: 822-835.  
[10] Zhou X D, De Beer. Ophiostomatoid fungi associated with conifer-infesting bark beetles in China[M]// Seifert K A, De Beer, et al.: *The Ophiostomatoid Fungi: Expanding Frontiers* Utrecht, CBS Biodiversity Series, Utrecht, The Netherlands, 2013: 91-98.  
[11] 廖周瑜,叶 辉,吕 军. 温度对纵坑切梢小蠹伴生菌——云南半带孢生长的影响[J]. *林业科学研究*, 2002, 15(3): 338-342.  
[12] 叶 辉,吕 军,陈 鹏,等. 云南切梢小蠹[M]. 昆明:云南科技出版社,云南出版集团公司,2011: 110-111.  
[13] CHEN Peng, LI Li-sha, LIU Hong-ping. Interspecific competition between *Tomicus yunnanensis* and *T. minor* (Col Scolytidae) during short-feeding period in Yunnan of China[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2009, 38(3): 52-58.  
[14] CHEN Peng, LI Li-sha, LIU Hong-ping. Host preference and competition in bark beetles *Tomicus yunnanensis* and *T. minor* in breeding period[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2010, 39(1):15-20.  
[15] Lawrence Kirkendall, Massimo Faccoli, YE Hui. Description of the yunnan shoot borer, *Tomicus yunnanensis* Kirkendall & Faccoli Sp. N. (Curculionidae, Scolytinae), an unusually aggressive pine shoot beetle from southern China, with a key to the species of *Tomicus* [J]. *Zootaxa* 2008, 1819: 25-39.  
[16] LI Xia, ZHANG Zhen, WANG Hong-bin., et al. *Tomicus armandii* Li & Zhang (Curculionidae, Scolytinae), a new pine shoot borer from China[J]. *Zootaxa*, 2010, 2572: 57-64.  
[17] LU Jun, ZHAO Tao, YE Hui. The short-feeding ecology of three *Tomicus* Species in yunnan province, southwestern[J]. *Journal of Insect Science*, 2014, 14(37): 1-10.  
[18] CHEN Min, CHEN Peng, YE Hui, et al. Flight capacity of bactrocera dorsalis (Diptera: Tephritidae) adult females based on flight mill studies and flight muscle ultrastructure[J]. *Journal of Insect*

Science, 2015, 15(1): 1-7.

- [19] YE Hui, DING Xue-song. Impacts of *Tomicus minor* on distribution and reproduction of *Tomicus piniperda* (Col., Scolytidae) on the trunk of the living *Pinus yunnanensis* trees[J]. Journal of Applied Entomology, 1999, 123(6): 329-333.
- [20] HornftvedtR., ChristiansenE., Halvor Solheim, et al. Artificial inoculation with ips typographies-associated blue-strain fungi can kill health norway spruce trees[J]. Reports of the Norwegian Forest Research Institute, 1983, 38(4): 1-20.
- [21] 鲁敏, 孙江华. 危害松树的小蠹虫与其伴生菌的相互关系[J]. 昆虫知识, 2008, 45(4): 518-527.
- [22] 王晓渭, 袁瑞玲, 焦晓旭, 等. 云南切梢小蠹及其伴生真菌的研究进展[J]. 西部林业科学, 2014, 43(5): 154-159.
- [23] 李巧, 王海林. 云南松蠹害林分动态变化研究[J]. 西南林学院学报, 2004, 24(4): 33-37.
- [24] Peng Chen, Hui Ye, Xiaowei Wang, et al. Species diversity and invasiveness study of fungal associates of *Tomicus* species in south-western China[C]. IUFRO Regional Congress for Asia and Oceania, 2016, 399.
- [21] 鲁敏, 孙江华. 危害松树的小蠹虫与其伴生菌的相互关系

## Carrying Rates and Differences of Fungi Associated with Four *Tomicus* Species in Yunnan

WANG Yi-xuan<sup>1,3</sup>, WANG Xiao-wei<sup>1</sup>, CHEN Peng<sup>1,3</sup>, YUAN Rui-ling<sup>1,3</sup>,  
FENG Dan<sup>1,3</sup>, DU Chun-hua<sup>1</sup>, YE Hui<sup>2</sup>, PAN Yue<sup>2</sup>, LV Jun<sup>3</sup>

(1. Forest Protection Institute, Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650201, Yunnan, China;

2. School of Agriculture, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China;

3. Yunnan Biotechnology Research Center for Prevention and Control Technology of Crop Pest, Kunming 650091, Yunnan, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose of the study is to clarify the carrying rates and the differences of fungi associated with four *Tomicus* species in Yunnan, China and understand the relationships between the beetles and these fungi during *Tomicus* attacking process. [Method] Fungal carrying rate was analyzed by detecting stained phloem based on artificial inoculation and field survey. [Result] The fungal carrying rate of *Tomicus yunnanensis* (80%) was distinctly higher than that of the other three *Tomicus* species: *T. minor* (63%), *T. armandii* (56%), and *T. brevipilosus* (53%); the fungal carrying rate of *Tomicus*-larva (90%) was higher than its pupae (78%) and new adult (58%); No significant difference in fungal carrying rate was observed among heads (33%), wings (32%) and legs (30%) of *Tomicus*-adults. According to field survey, the associated fungi significantly improved the breeding success rate of *Tomicus* on the trunk. [Conclusion] This is the first report on the carrying rates and the differences of fungi associated with four *Tomicus* species in Yunnan, China. The results provide new data for reveal outbreak mechanism of *Tomicus* species in Yunnan, China.

**Keywords:** *Tomicus*; fungi associated with *Tomicus*; fungal carrying rate; damage level

(责任编辑:崔 贝)