

松墨天牛对云南松的分解作用分析

王健敏¹, 陈晓鸣^{*}, 刘娟¹, 杨子祥¹, 段兆尧², 和玉华¹, 陈飞¹

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南昆明 650224;
2. 云南省林业科学院, 云南昆明 650204)

摘要:为探索松墨天牛取食对林木的分解作用, 本文通过对松墨天牛幼虫及成虫取食量的测定, 寄主云南松韧皮组织及松墨天牛幼虫排泄物成分对比分析, 并与资源利用相同的木材微生物分解能力进行对比, 阐明了松墨天牛作为分解者的重要分解作用。研究表明, 松墨天牛幼虫期(约为55 d)取食分解林木生物量平均为12.42 g(24.40 cm³), 成虫期取食分解林木生物量平均为12.87 g(25.28 cm³); 松墨天牛幼虫对糖类物质的利用度很高, 具有较强的纤维分解利用能力, 取食分解后总糖减少83.58%, 粗纤维减少23.87%, 1头松墨天牛幼虫期分解的林木粗纤维质量为1.93 g, 分解利用率为0.008 g·d⁻¹。松墨天牛对林木的分解证明, 天牛作为一种重要的林木分解的先驱者, 可以分解林木, 更重要的是松墨天牛攻击亚健康林木, 为微生物分解林木提供了容易入侵的途径, 加速了亚健康林木的分解与循环, 在森林生态系统物质分解与循环中具有重要的促进作用。

关键词:松墨天牛; 云南松; 取食量; 分解; 物质循环

中图分类号: S718.7

文献标识码: A

Decomposition Effects of *Monochamus alternatus* on *Pinus yunnanensis*

WANG Jian-min¹, CHEN Xiao-ming¹, LIU Juan¹, YANG Zi-xiang¹, DUAN Zhao-yao², HE Yu-hua¹, CHEN Fei¹

(1. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Resource Insects of State Forestry Administration, Kunming 650224, Yunnan, China; 2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, Yunnan, China)

Abstract: In order to explore the effects of *Monochamus alternatus*' feeding on tree decomposition, the feeding amounts of larvae and adults *M. alternatus* were measured, the composition of phloem tissue of *Pinus yunnanensis* and the excrement of larvae *M. alternatus* were analyzed, and of the difference of decomposition abilities between *M. alternatus* and wood microorganisms were compared. The results indicated that the average tree biomass decomposed during larval phase of *M. alternatus* was 12.42 g (24.40 cm³), and 12.87 g (25.28 cm³) was decomposed in adulthood. The carbohydrate consuming was highly large for larva *M. alternatus*, so was the decomposition of fibre. The total sugar reduced by 83.58% and crude fibre decreased by 23.87% after feeding and digesting. One beetle could decompose 1.93 g of crude fibre during larval phase, and the decomposition rate was 0.008 g·d⁻¹. The results prove that *M. alternatus*, as an important pioneer of tree decomposing, can decompose trees. What's more, the progress that *M. alternatus* attacks sub-healthy trees will pave the way for microorganisms' infestation and decomposition; the beetle will quickens the decomposition and circulation of sub-healthy trees and plays an important role in material decomposition and circulation as decomposer in forest ecosystem.

Key words: *Monochamus alternatus*; *Pinus yunnanensis*; feeding; decomposition; circulation of materials

收稿日期: 2012-08-12

基金项目: 国家林业局948项目(2009-4-37); 国家林业公益性行业科研专项(200904052); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(rirical2012001Z)

作者简介: 王健敏(1982—), 男, 云南昆明人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向: 昆虫生态与森林健康. E-mail: jmwang21@tom.com

* 通讯作者

分解作用包括碎裂、混合、物理结构改变、摄食、排出和酶作用等过程。它是由很多种生物完成的,参加这个过程的生物都可称为分解者。昆虫作为分解者的角色常见于林下枯枝落叶层中的弹尾目、双翅目、等足目、端足目及鞘翅目的部分甲虫等,如白蚁和千足虫^[1]。次期性蛀干害虫主要攻击生长势衰退及濒死的林木,通过钻蛀取食加速林木的死亡和分解,部分蛀干害虫还同时携带作为分解者的伴生微生物,如小蠹伴生菌群,通过菌-虫协同对林木的分解具有重要作用^[2-4]。Schowalter 等通过对黄杉、冷杉等伐倒木的分解过程的研究发现,小蠹虫和天牛在杉木伐倒后 1~2 年内均有不同程度的定殖、取食分解和产卵,而分解细菌和真菌的作用仅限于从树皮外层开始,蛀干害虫的定殖加速了倒木分解和营养流动^[5]。蛀干害虫对树皮的穿刺攻击,把大量的共生分解菌群直接接种到韧皮和木质部层上^[2]。前人亦将纤维素分解细菌等从天牛体内分离鉴定出来^[6]。然而目前,小蠹和天牛作为分解者的分解作用及分解效率研究鲜见报道。

松墨天牛 (*Monochamus alternatus* Hope), 又名松褐天牛, 是松属树种上一种常见的重要蛀干害虫。幼虫主要在树干和枝条的韧皮部及木质部蛀食危害, 破坏、切断输导组织, 造成树木枯死。在松材线虫疫区, 它还是松材线虫病害的主要携带者和传播者^[7]。国内外学者对松墨天牛的分类及形态、分布危害情况、生物学和生态学特性以及防治技术等方面做了大量研究工作^[7-10]。松墨天牛取食量方面亦有相关报道^[11-13]。作者在前人研究基础上, 进一步细化了对松墨天牛幼虫及成虫日均取食量及总取食量的测定, 并对松墨天牛幼虫的食物及排泄物成分展开研究分析, 以期阐明松墨天牛对林木的分解利用情况(包括利用程度和利用率), 并试图结合植物矿质营养、土壤肥力以及资源利用相同的木材微生物对林木的分解利用情况等几方面进行简单比较, 评价以松墨天牛为代表的天牛作为分解者在林木分解方面的作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

寄主: 云南松 (*Pinus yunnanensis* Franch) 及松墨天牛幼虫取食的云南松韧皮组织均采自昆明市云南省林业科学院树木园;

昆虫: 松墨天牛采自云南省昆明市金殿林区;

松墨天牛幼虫排泄物: 收集自人工饲养过程中。

1.2 试验方法

1.2.1 松墨天牛的人工饲养 本研究在中国林科院资源昆虫研究所养虫室和实验室进行松墨天牛的室内人工饲养和取食量测定。

a. 采样 选取生长状况不良而萎蔫的云南松 5 株, 伐倒后将适合天牛取食、产卵的主干部分截取成 60 cm 左右定长的松段若干段, 作为室内饲养天牛的寄主; 伐倒有松墨天牛取食刻槽和产卵痕的云南松, 作为虫源。一并取回、作室内饲养。

b. 饲养前的预处理 将寄主松段两端截面去松脂后涂抹白乳胶, 用牛皮纸封口, 木段外表皮有损伤的或分枝截去的部位同样用牛皮纸或胶带纸封住伤口, 尽可能减少松段失水。虫源树可以放入养虫笼内以待成虫羽化再进行配对转接寄主; 也可以直接对虫源树进行解剖, 将树木中的幼虫或者成虫取出进行转接。

c. 成虫的饲养 将雌雄成虫配对后转移至选定的寄主木段上, 连同寄主新鲜嫩枝一起放入养虫笼内供成虫补充营养、交配产卵, 并定期更换枝条和木段, 保存有产卵痕的木段作为幼虫取食量测定来源之一。

d. 转接幼虫的饲养 在预处理好的松段表皮间隔打孔(孔的直径和深度以刚好能放入虫体为佳, 太大或太小都不利于虫的活动和钻蛀), 放入幼虫, 然后用玻璃纸覆盖孔口并用透明胶带纸封好即可, 24 h 后如果有天牛排泄物堆积在孔口即证明转接成功(如果打孔中分泌出松脂需另打新孔)。每段段木上转接幼虫 5 头, 定期转接更换新鲜寄主。

1.2.2 取食量的测定 按照松墨天牛取食后的坑道(幼虫)或斑块(成虫)体积进行测定。通过测定一定时期取食形成的坑道或斑块的长、宽和高等(长×宽×高), 来计算取食量, 总取食量除以坑道或斑块形成的历期即得昆虫日均取食量。测定幼虫取食量时, 用裁纸刀沿产卵痕或转接孔所在位置纵向或横向削开表皮见到坑道时用游标卡尺进行测量; 成虫取食斑块可直接用游标卡尺测量; 坑道或斑块形状不规则时, 则将其分解成多个规则形状分别进行测定。

取食量测定试验中松墨天牛 1~4 龄幼虫及成虫的实际样本数分别为: 16, 17, 15, 12, 7。取食量数据采用 SPSS 15.0 统计软件进行统计分析。

1.2.3 食物及排泄物成分分析 分别对天牛取食

部位的树木组织和天牛排泄物进行有机成分和无机矿质元素成分及含量的分析。成分分析委托农业部农产品质量监督检验测试中心(昆明)负责完成,其中矿质元素分析采用电感耦合等离子体发射光谱(ICP)法,其余指标(蛋白质、氮、粗脂肪、总糖、淀粉、粗纤维、灰分)分析均采用相关国家标准法。

2 结果与分析

2.1 松墨天牛的取食量

松墨天牛幼虫的饲养及取食量的测定从2006年5月开始,直至9月底幼虫陆续钻入木质部告结束,历时5个月,其间经历了从初孵幼虫直到4龄幼虫的变化,取食范围随着虫龄的增长由寄主韧皮部逐渐深入达形成层及木质部表皮,直至幼虫钻孔进入木质部。具体测定结果见表1,刚孵化的1龄幼虫日均取食量大致在 10 mm^3 左右,2龄幼虫期有近一半的虫体日均取食量突破了 30 mm^3 ,加速了对寄主的分解利用。从3龄开始食量大增,日平均为 $161.43 \text{ mm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,取食量增幅最大的是4龄幼虫,平均可达到 $913.66 \text{ mm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,占幼虫各龄期日均总取食量的81.27%,对寄主树木的分解造成的生物量损失很大。同时,多重比较得到:4龄幼虫日均取食量的平均值与其余各龄期幼虫及成虫(包括雌

虫和雄虫)日均取食量的平均值之间差异极显著($p < 0.01$),其余各龄间彼此差异均未达显著水平($p < 0.05$)。同一龄期内不同样本个体间的日均取食量数值变异程度较大(标准差已接近于平均值,特别是2龄期变异系数达96.7%),但仍然能反映出随着取食历期和虫龄的增长,幼虫生长发育对食物数量的需求也相应呈现出增长的趋势——近似指数增长,4龄虫骤增到最大食量。推测天牛幼虫为了保持其均匀的生长发育速度,特别是4龄虫为了快速积蓄食物和储存能量以供其后期钻蛀坚硬的木质部及预蛹期、蛹期的体质和能量所需,因此取食量必须不断增加,并呈现出近似指数增长的规律,这是昆虫为适应环境、维持生存而逐渐进化出的生态对策。实验通过对幼虫头宽变化的测定推算的各龄期平均历期结果见表2。从中得到松墨天牛1~4龄幼虫各龄期的头宽变化呈线性增长,各龄期平均历期分别为:7 d,12 d,12 d,24 d,结合表1的各龄期日均取食量的平均值相应得到松墨天牛1~4龄幼虫各龄期的总取食量分别为: 68.81 mm^3 , 470.88 mm^3 , $1\ 937.16 \text{ mm}^3$, $21\ 927.84 \text{ mm}^3$ 。因而可得,1头松墨天牛幼虫1~4龄的平均总取食量为 24.40 cm^3 ,以云南松材的基本密度 $0.509 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ [14]计算,则松墨天牛幼虫期取食分解的林木生物量平均为 12.42 g 。

表1 松墨天牛各虫态的日均取食量

mm^3

样本	幼 虫				成虫	雌虫	雄虫
	1 龄	2 龄	3 龄	4 龄			
1	13.56	38.97	42.21	2 597.72	296.59	301.74	298.23
2	9.71	34.61	97.32	132.38	332.17	306.12	296.59
3	8.68	35.11	91.35	1 681.17	308.77	-	-
4	8.54	15.22	251.62	616.46	298.23	-	-
5	7.37	13.67	306.42	1 971.97	296.59	-	-
6	2.55	36.86	207.29	335.27	301.74	-	-
7	9.12	24.91	52.46	342.17	306.12	-	-
8	10.66	18.09	251.30	483.08	-	-	-
9	4.72	15.98	226.39	694.79	-	-	-
10	7.99	39.16	82.86	506.99	-	-	-
11	6.21	19.67	52.03	648.21	-	-	-
12	17.61	22.46	44.33	953.71	-	-	-
13	11.87	22.70	220.01	-	-	-	-
14	12.77	27.98	326.95	-	-	-	-
15	7.99	135.45	168.96	-	-	-	-
16	17.92	26.46	-	-	-	-	-
17	-	139.77	-	-	-	-	-
\sum	157.27	667.07	2 421.50	10 963.92	2 140.21	607.86	594.82
\bar{x}	9.83 ± 4.18b	39.24 ± 37.96b	161.43 ± 100.50b	913.66 ± 761.32a	305.74 ± 12.57b	303.93 ± 3.10b	297.41 ± 1.16b

注:表中标准差后字母不同的表示二者差异极显著, $p < 0.01$,方差分析采用S-N-K法。

表2 松墨天牛幼虫根据头宽变化推算的各龄期历期及总取食量

头宽/mm	龄期	各龄期平均历期/d	各龄期总取食量/mm ³
0.5~1.4	1	7	68.81
1.5~2.5	2	12	470.88
2.3~3.2	3	12	1 937.16
3.3~4.4	4	24	21 927.84

注:各龄期总取食量=各龄期日均取食量×各龄期历期。

松墨天牛成虫取食量测定分为成虫单虫饲养测定和雌雄配对一对饲养测定两种,具体试验结果见表1。单虫饲养中雌虫的日均取食量(303.93 mm³)大于雄虫(297.41 mm³),这可能是雌虫个体一般要大于雄虫个体的原因,同时雌虫要完成产卵任务也需要补充更多的营养。雌雄配对饲养单虫日均取食量的平均值为305.74 mm³(不计雌雄),与幼虫相比,成虫日均取食量相当于3龄末4龄初幼虫的日均取食量,对寄主的分解利用仍然较大。日均取食量平均值的标准差(±12.57)较小,说明松墨天牛成虫个体间的取食量差异不大,比较稳定,可能因为成虫相比幼虫对于复杂多变的取食环境的缓冲能力和适应性更强。试验中天牛成虫期历期的个体差异性很大:短则几天,长的可存活数月,根据赵锦年等做过的小样本(10头成虫)研究报道称:松墨天牛成虫的平均寿命为82.7 d^[11]。若依此计算,则1头松墨天牛成虫的平均总取食量为25.28 cm³,折算为成虫期取食分解的林木生物量为12.87 g。

2.2 松墨天牛幼虫对林木的分解作用

从表3成分分析结果中可以看到,松墨天牛幼虫取食云南松韧皮组织后,相应在其排泄物中同样富含云南松韧皮组织所含有的矿质养分和有机成分,且排泄物中各种元素含量大小排序与云南松韧皮组织中的基本一致,矿质养分中速效钾、速效磷、锰、铁、锌等和有机成分中粗纤维等的含量同样相对较大。松墨天牛幼虫排泄物的成分含量与其食物云南松韧皮组织的成分含量相比,有些成分含量增加了,有些成分含量减少了(表3)。排泄物中成分含量百分比增加的有:矿质元素中的硫、磷、钙、镁、锌和灰分,以及有机成分中的蛋白质和氮。排泄物中成分含量减少的有:矿质元素中的钾、速效钾、铁、铜、锰、速效磷和硼,以及有机成分中的淀粉、总糖、粗脂肪和粗纤维,这些成分都是天牛幼虫分解利用的有效成分。排泄物中有机成分含量减少最多的是粗纤维(包括纤维素、半纤维素和木质素等),减少了3.7%(从15.5%到11.8%),以云南松韧皮组织中原有粗纤维为100%,换算成粗纤维减少百分率为23.87%,其次是总糖(减少了1.12%),换算成

减少百分率为83.58%,说明松墨天牛幼虫对糖类物质的利用度很高,具有较强的纤维分解利用能力,这些物质是寄主中被分解消耗的主要部分。根据“1头松墨天牛幼虫1~4龄取食分解的林木生物量平均为12.42 g”的结果,可得1头天牛幼虫期(平均约为55 d)分解的林木粗纤维(包括纤维素、半纤维素和木质素等)质量为:12.42×15.5%=1.93 g,实际分解利用量为:12.42×3.7%=0.46 g,分解利用率为:0.46÷55=0.008 g·d⁻¹。排泄物中残存未利用的粗纤维与植物组织中的原状态相比,已经过了天牛咀嚼破碎、消化酶及肠道共生微生物作用等一系列理化分解过程,加速了林木纤维自然分解的速度。总糖实际分解利用量为0.14 g,分解利用率为0.003 g·d⁻¹。

表3 松墨天牛幼虫食物及排泄物成分对比

分析项目	云南松韧皮组织	松墨天牛幼虫排泄物
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	275	150
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	1 587	1 191
磷/%	0.08	0.11
钾/%	0.31	0.29
钙/%	0.43	0.50
镁/%	0.16	0.17
铁/(mg·kg ⁻¹)	57.0	27.9
锌/(mg·kg ⁻¹)	55.2	62.6
铜/(mg·kg ⁻¹)	10.0	4.15
锰/(mg·kg ⁻¹)	780	637
硫/%	0.072	0.073
硼/(mg·kg ⁻¹)	8.87	8.40
氮/%	0.35	0.67
蛋白质/%	2.21	4.20
粗脂肪/%	2.49	1.95
总糖/%	1.34	0.22
淀粉/%	3.86	3.23
粗纤维/%	15.5	11.8
灰分/%	1.3	2.6

3 讨论

在森林生态系统中,微生物是最重要的分解者,将枯死的林木分解,使之进入再次的物质循环。微生物分解利用林木和木材方面主要是以真菌为主,而细菌主要是使木质素在一定程度上发生变性,成为水溶性的聚合物。对木质素有降解作用的细菌主要有厌氧梭菌、不动杆菌、黄杆菌、微球菌、假单胞菌、双芽孢杆菌、黄单胞菌、枝动杆菌等。真菌主要有3种:白腐菌、褐腐菌、软腐菌。其中白腐真菌的降解能力最强^[15]。对于亚健康 and 衰弱林木,生长在立木和木材上的腐朽菌种类很多,由于不同的木材腐朽菌生理特性不同,所分泌的酶及酶的活性各不相同,因此,不同的腐朽菌所分解木材的各种成分及

相对速度各不相同^[16]。根据池玉杰等^[17]对6种木材白腐菌木质素分解能力的研究发现,白腐菌侵染40 d后,6种白腐菌导致的山杨材木质素减少百分率最低为火木层孔菌(*Phellius igniarius* (L.) Quélet) 7.23%,最高为血红密孔菌(*Pycnoporus sanguineus* L. ex Fr.) 30.63%;综纤维素减少百分率最低为冬拟多孔菌(*Polyporellus brumalis* Pers.: Fr.) 6.39%,最高为粗毛盖菌(*Funalia gallica* (Fr.) Bondartsev & Singer) 10.91%。程煜^[18]等研究了不同坡向马尾松凋落物的微生物分解速率,得到:40 g 马尾松新凋落枝条经过1a的自然分解后,残留量最少的样品还剩20.210 g,分解样品量19.790 g,分解率为 $0.054 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[18]。吴志显^[19]测定了8种木材腐朽菌对旱垂柳的分解能力,得到:4 cm³的木材样品在分解能力最强的腐朽菌毛革盖(*Coriolus hirsutus* (Wulf.: Fr.) Quel)作用下,100 d后完全腐烂分解^[19]。而松墨天牛幼虫取食云南松组织后分解利用粗纤维达23.87%(即排泄物中粗纤维减少百分率)。1头松墨天牛幼虫期(约55 d)取食分解的林木生物量平均为12.42 g(即24.40 cm³),分解率为 $0.226 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。从松墨天牛的分析可以看出,天牛等蛀干昆虫对林木分解具有重要的作用。

在森林生态系统中,天牛作为分解的先驱者,首先攻击亚健康 and 枯死林木,松墨天牛通过取食、定殖并携带分解菌群对林木进行协同分解,天牛取食、体内消化酶及肠道共生微生物作用等一系列理化分解后,剩余的富含矿质养分和有机成分的天牛排泄物经雨水冲刷淋溶、风力作用或者自然散落到地表土壤中,在土壤微生物的分解作用下异化分解为土壤养分,增加了土壤肥力;回补到土壤中的氮、磷、钾、速效磷、速效钾及其它矿质养分又再次被植物体吸收利用。除天牛幼虫对寄主直接取食分解外,还有天牛幼虫伴生菌、肠道内共生菌等参与林木的分解过程,如枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis* (Ehrenberg) Cohn)^[15]、溶血葡萄球菌(*Staphylococcus haemolyticus* Schleifer & Kloos)、人葡萄球菌(*Staphylococcus hominis* (S. aureus))^[20]、产酸克雷伯氏菌(*Klebsiella oxytoca* Flüge)、大肠埃希氏菌(*Escherichia coli* T. Escherich)、荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens* Flüge)^[21]等。天牛攻击为微生物提供了容易入侵的途径,病原微生物通过天牛等蛀干昆虫攻击后的创伤口入侵加速亚健康林木死亡分解,而后大量的微生物对致死的林木进行分解,完成分解和循环。天牛等蛀干昆虫在这个物质分解和循环过程中发挥了不可或缺的重要作用,促进了衰弱、濒死树木的分

解与循环,加速了森林的新陈代谢效率和自然更新速度,缩短了森林物质循环的周期。

参考文献:

- [1] 尚玉昌. 普通生态学(第三版)[M]. 北京:北京大学出版社, 2010, 420-424
- [2] Carpenter S E, Harmon M E, Ingham E R, et al. Early Patterns of Heterotroph Activity in Conifer Logs[J]. Proc Royal Soc Edinburgh, 1988, 94B, 33-43
- [3] Edmonds R L, Eglitis A. The role of the Douglas-fir beetle and wood borers in the decomposition of and nutrient release from Douglas-fir logs[J]. Can J For Res, 1989, 19, 853-859
- [4] Martikainen P, Siitonen J, Kaila L, et al. Bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) and associated beetle species in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 116, 233-245
- [5] Schowalter T D, Caldwell B A, Carpenter S E, et al. Decomposition of fallen trees: effects of initial conditions and heterotroph colonization rates[M]// Singh K P, Singh I S. "Tropical Ecosystems: Ecology and Management", Wiley Eastern Ltd., New Delhi, 1992, 373-383
- [6] 曹月青,殷幼平,董亚敏,等. 桑粒肩天牛肠道纤维素分解细菌的分离和鉴定[J]. 微生物学通报, 2001, 28(1): 9-11
- [7] 杨宝君,朱克恭,周元生. 中国松材线虫病的流行与治理[M]. 北京:中国林业出版社, 1995
- [8] 朱克恭. 松材线虫病研究综述[J]. 世界林业研究, 1995, 8(4): 28-33
- [9] 孙绪良,崔为友. 松材线虫病与松墨天牛研究概况[J]. 山东林业科技, 2001(1): 44-47
- [10] 黄金水,何学友. 我国松材线虫病研究现状及福建省防范对策的探讨[J]. 福建林业科技, 2001, 28(4): 12-17
- [11] 赵锦年,应杰. 松墨天牛取食为害与松树枯死关系的研究[J]. 林业科学, 1989, 25(5): 432-438
- [12] 张世渊,来燕学,周成枚,等. 松褐天牛成虫补充营养取食研究[J]. 浙江林业科技, 1998, 18(2): 44-48
- [13] 柴希民,蒋平,崔鹏程,等. 松褐天牛成虫补充营养特性研究[J]. 浙江林业科技, 2001, 21(1): 9-12
- [14] 曾黄元,杜官本,王昌命,等. 几种木材处理方式对云南松人工林的云南松材剖面密度影响的研究[J]. 西部林业科学, 2006, 35(3): 68-71
- [15] 刘晨娟,蔡皓,李庆,等. 桑粒肩天牛肠道木质纤维素分解细菌的分离和鉴定[J]. 化学与生物工程, 2010, 27(7): 66-68
- [16] Buswell J A, Odier E. Lignin biodegradation. CRC Crit[J]. Rev Biotechnol, 1987, 6: 1-60
- [17] 池玉杰,于钢. 6种木材白腐菌对山杨材木质素分解能力的研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 115-120
- [18] 程煜,陈灿,范海兰,等. 不同坡向对木荷马尾松凋落物分解及养分释放速率的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(31): 6-17
- [19] 吴志显. 八种城市旱垂柳林木腐朽菌分解能力的测定[J]. 中国森林病虫, 2009, 28(2): 4-6
- [20] 何伟,王中康,陈金华,等. Bt杀虫基因在桑粒肩天牛幼虫肠道内生优势菌中的转化研究[J]. 氨基酸和生物资源, 2008, 30(3): 5-10
- [21] 袁秀洁,唐秀光,李会平,等. 几株桑天牛成虫肠道优势细菌的分离与鉴定[J]. 蚕业科学, 2011, 37(2): 181-186