

# 不同林分类型的油松针叶对两种色型油松毛虫生长发育的影响\*

陈晨<sup>1</sup> 周国娜<sup>1</sup> 刘巧红<sup>1</sup> 高宝嘉<sup>1,2\*\*</sup>

(<sup>1</sup>河北农业大学林学院, 河北保定 071000; <sup>2</sup>河北北方学院, 河北张家口 075000)

**摘要** 通过室内饲养的方法,研究了油松两种林分类型针叶对不同色型油松毛虫生长发育的影响。结果表明:与黄色型幼虫相比,黑色型幼虫体重增长较快,雌蛹较重,怀卵量较大,存活率较高;与纯林油松针叶相比,混交林油松针叶延长了油松毛虫的发育历期、抑制了油松毛虫的生长发育,表明油松混交林针叶内可能含有不利于两种色型的油松毛虫幼虫生长发育的物质。

**关键词** 林分类型; 油松毛虫; 色型; 混交林; 纯林

中图分类号 Q948 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2012)10-2573-06

**Effects of *Pinus tabulaeformis* needles from different stand types on the growth and development of *Dendrolimus tabulaeformis* with two different-colored morphs.** CHEN Chen<sup>1</sup>, ZHOU Guo-na<sup>1</sup>, LIU Qiao-hong<sup>1</sup>, GAO Bao-jia<sup>1,2\*\*</sup> (<sup>1</sup>College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, Hebei, China; <sup>2</sup>Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(10): 2573-2578.

**Abstract:** A laboratory experiment was conducted to study the effects of breeding with the *Pinus tabulaeformis* needles from different stand types on the growth and development of *Dendrolimus tabulaeformis* with different-colored morphs. Compared with yellow morph larvae, black morph larvae had the characteristics of fast body weight growth, heavier female pupa, larger fertility, and higher survival rate. Breeding with the *P. tabulaeformis* needles from mixed stand prolonged the larvae development duration and restrained the larvae growth and development, as compared to the breeding with the needles from pure stand. It was suggested that the *P. tabulaeformis* needles from mixed stand could contain unfavorable substances for the development of *D. tabulaeformis* larvae.

**Key words:** stand type; *Dendrolimus tabuladineformis*; colored morph; mixed forest; pure forest.

油松 (*Pinus tabulaeformis*) 属松科松属, 高大乔木, 材质优良, 富含松脂, 良好的用材和经济树种。同时, 油松根系发达, 具有耐土壤脊薄、耐寒、耐干旱的特点, 是我国西北地区重要的水土保持和防风固沙树种 (张新波, 1987)。它是我国特有树种, 是北方地区主要造林用材树种之一 (薛崇伯等, 1985; 沈熙环等, 2000)。油松毛虫 (*Dendrolimus tabulaeformis*) 是危害油松林的主要害虫, 长期以来对油松林造成严重破坏, 给林业生产造成重大经济损失, 因此, 对油松毛虫的防治成为松林管理的主要任务

(陈昌洁, 1992)。

近年来许多学者从植物-植食者关系的角度研究了松毛虫的发生机理, 表明油松受松毛虫为害后, 油松的诱导抗性对松毛虫幼虫的生长发育能产生不良影响, 进而引起种群参数的变动 (李镇宇等, 1998; 张丽丽, 2005); 环境条件的变化也会引起油松自身生理特性的变化, 进而对松毛虫生长发育产生影响 (庞正轰, 1990)。另外, 有些学者从环境的角度研究了环境条件对松毛虫种群动态变化的影响, 认为环境因素是影响松毛虫种群数量的重要因素 (Levins, 1968), 其中林分类型是油松毛虫生存环境中重要的环境因素, 气候因子影响油松毛虫的生长

\* 河北省自然科学基金项目 (C200800231) 资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: baojiagao@163.com

收稿日期: 2012-03-12 接受日期: 2012-06-25

发育,立地类型影响油松毛虫的密度(张丽丽等,2005;袁一杨等,2008)。松毛虫种群参数的变动虽然受到植物和环境条件的影响,但在林分中虫口数的大小还与越冬幼虫的色型比有关(庞正轰,1989)。在众多影响松毛虫种群数量变动的因素中,林分类型是可以人为改变的因素之一,也是重要的环境因素,林分类型对两种色型油松毛虫生长发育的影响研究,可以为有效控制油松毛虫种群的数量提供理论依据。

本文通过室内饲养的方法,分析混交松林及纯松林对两种色型油松毛虫种群参数的影响,以及油松毛虫对不同类型油松针叶的利用与消耗特征,旨在说明混交林对油松毛虫的生态防御作用,为进一步研究和分析油松毛虫的发生机理及对松毛虫的生态调控提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 油松样地及油松针叶采集地的选择

在河北省承德市平泉县油松林区,选择树龄、海拔、坡向及坡度相同的立地条件,管理水平相似,林分组成不同的两块油松林(油松纯林和山杏-油松混交林)作为油松针叶采集地,山杏-油松混交林混交比例接近2:3。

### 1.2 油松毛虫幼虫的来源及饲养

采集未进行防治的油松林区(即油松毛虫大发生区)的油松毛虫虫卵。在室内自然温度、光照、保湿条件下,在洁净的500 mL广口瓶内饲养油松毛虫。将上述油松毛虫卵块放入广口瓶中,待孵出幼虫后,每个广口瓶放入20头幼虫开始饲养,每隔2 d换入从上述不同林分类型的油松林中采集新鲜的一年生油松针叶饲养油松毛虫初孵幼虫。

当野外油松毛虫开始下树时,根据油松毛虫的越冬方式将装有油松毛虫的瓶子埋于地下,第2年油松毛虫上树时(即2011年4月中下旬),将人工越冬的油松毛虫置于实验室继续饲养。同时,按庞正轰(1989)划分油松毛虫色型的标准来分油松毛虫的色型,在室内对不同处理的油松毛虫分别饲养黄色型及黑色型幼虫,每个广口瓶放入5头幼虫开始饲养(每4个广口瓶中总计20头的油松毛虫幼虫为一组),每3 d换入从上述不同林分类型的油松林中采集足量的2年生油松针叶作为各处理油松毛虫的食物来源,定期观察记录各广口瓶内油松毛虫的取食量、排粪量、死亡数及耐饥饿能力,直至其化蛹。

每个处理设20个重复。

油松毛虫幼虫结茧后的第5天剪开丝茧,称蛹重,然后放入养虫笼内。在成虫羽化期,每天检查雌雄蛾羽化情况,并及时将刚羽化的雌雄蛾放入同一养虫笼内,任其交配。雌蛾产卵结束后或死亡后,剖腹数卵,统计各雌蛾的总卵量。卵孵化率测定:分别取各种色型幼虫发育成的雌蛾所产卵100粒为一组,放在玻璃瓶内,用湿棉保湿并在饲养室内定时泼水以保持室内湿度,逐天统计卵孵化数,每次试验设8个重复。试验时间为2010—2011年,地点设在河北省承德市油松毛虫发生区。

### 1.3 幼虫体重

用浙江省HX型号、精度为万分之一的电子天平称取各处理幼虫、幼虫取食前后的针叶的重量及粪便的干重(粪便采用75℃、48 h烘干处理),并统计死亡率,直至幼虫开始化蛹。

### 1.4 指标计算

根据对照(未放油松毛虫)广口瓶内油松针叶前后重量的变化,估算针叶失水率( $E, \%$ ):

$$E = (\text{本次对照组松针重} - \text{前一次对照组松针重}) / \text{本次对照组松针重} \times 100\%$$

幼虫取食量的计算采用李镇宇等(1998)的方法:

$$Y = (A - B) / (1 + E)$$

式中: $Y$ 为试虫取食量; $A$ 为试虫取食前投食量, $B$ 为试虫取食后残留剩余量; $E$ 为失水率( $\%$ )。

幼虫对食物的消耗和利用指标的计算采用Waldbauer公式(Soo Hoo & Fraenkel, 1966; 钦俊德, 1987)计算消化率、利用率、转化率:

$$\text{消化率} = (\text{取食量} - \text{排泄量}) / \text{取食量} \times 100\%$$

$$\text{利用率} = \text{体重增加量} / \text{取食量} \times 100\%$$

$$\text{转化率} = \text{体重增加量} / (\text{取食量} - \text{排泄量}) \times 100\%$$

### 1.5 数据处理

用两因素方差分析(two-way ANOVA)检验不同林分类型对油松毛虫生长发育各项指标的影响及其交互作用,对油松毛虫的幼虫平均体重、取食量及其消化系数达到差异显著的结果进行Duncan新复极差多重比较( $\alpha = 0.05$ )。所有数据用SPSS(11.5 version)软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 油松毛虫幼虫的体重增长

由表1可以看出,室内用不同林分类型的油松

表1 两种色型油松毛虫幼虫体重增长率

Table 1 Changes of weight growth rate of two kinds of color morph pine caterpillar larvae

针叶	色型	始养幼虫 (4月25日)	终养幼虫 (7月6日)	存活率 (%)	始养幼虫重 (g·头 <sup>-1</sup> )	终养幼虫 (g·头 <sup>-1</sup> )	体重增长率 (%)
纯林针叶	黑色	80	70.00±2.24	87.50±1.32	0.04±0.00	4.46±0.27	13954.04±0.44
	黄色	80	59.00±2.30	73.75±1.77	0.04±0.00	3.46±0.28	8471.43±0.56
混交林 针叶	黑色	80	48.00±2.71	60.00±2.92	0.03±0.00	3.07±0.28	6517.69±0.81
	黄色	80	37.00±2.82	46.25±1.35	0.03±0.01	2.68±0.30	4931.06±0.92

数值为平均值±标准差。下同。

针叶饲养的两种色型的油松毛虫存活率、体重增长率变化趋势一致,依次为:取食纯林针叶的黑色型幼虫的存活率和体重增长率>取食纯林针叶的黄色型幼虫的存活率和体重增长率>取食混交林针叶的黑色型幼虫的存活率和体重增长率>取食混交林针叶的黄色型幼虫的存活率和体重增长率。方差分析表明,油松-山杏混交林的油松针叶影响油松毛虫幼虫的生长发育,而油松纯林针叶对油松毛虫幼虫的生长发育影响较弱(表2)。

## 2.2 油松毛虫的取食量

两种色型的油松毛虫对油松纯林和油松混交林油松针叶的取食,随着饲养时间的延长、体重的增加均呈逐渐增加的趋势(图1)。

方差分析显示,同一林分类型的油松针叶饲养的油松毛虫幼虫,黑色型幼虫体重、取食量均比黄色

型的高,差异显著,说明了油松毛虫黑色型与黄色型相比,具有较强的适应能力。纯林针叶饲养的油松毛虫幼虫体重、取食量均比混交林油松针叶饲养幼虫的高,差异极显著,说明混交林油松针叶对油松毛虫幼虫的体重、取食量有影响(表2)。

## 2.3 油松毛虫的消化系数

**2.3.1 消化率** 不同林分类型的油松针叶饲养的两种色型的油松毛虫幼虫的消化率均呈现先略增加后降低的趋势(图2)。方差分析表明,同种色型的幼虫在取食油松纯林针叶和混交林针叶的消化率差异显著;两种色型的幼虫在取食同一林分的油松针叶时,两种色型幼虫的消化率差异显著(表3)。说明油松-山杏混交林的油松针叶对两种色型油松毛虫的消化率有明显副作用,而油松纯林的油松针叶对油松毛虫的消化率副作用相对较小。

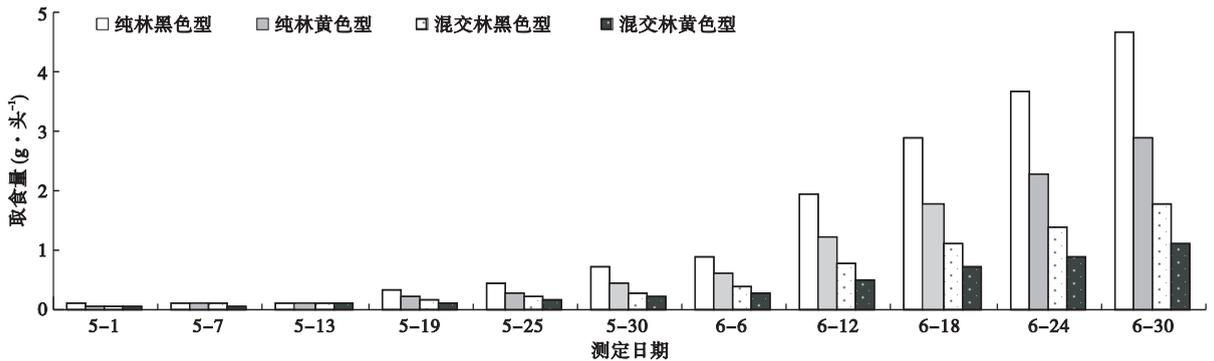


图1 两种色型油松毛虫幼虫取食量的变化

Fig. 1 Changes of food intakes of two kinds of color morph pine caterpillar larvae

表2 油松毛虫幼虫的体重、取食量的显著性分析

Table 2 Significant analysis of pine caterpillar larvae weight and food intake

处理	幼虫平均体重 (g)	取食量 (g·头 <sup>-1</sup> )
纯林黑色型	0.85±0.09 aA	1.44±0.63 aA
纯林黄色型	0.58±0.06 bAB	0.91±0.39 bBC
混交林黑色型	0.49±0.04 bcAB	0.58±0.23 cC
混交林黄色型	0.38±0.03 dB	0.37±0.14 dC

Duncan 新复极差多重比较,同列不同小写字母差异显著,同列不同大写字母差异极显著。下同。

**2.3.2 转化率** 同种色型的幼虫在取食油松纯林针叶和混交林针叶的转化率差异显著;两种色型的幼虫在取食同一林分的油松针叶时,两种色型幼虫的转化率差异显著(图3、表3)。

**2.3.3 利用率** 同种色型的幼虫在取食油松纯林针叶和混交林针叶的转化率差异不显著;两种色型的幼虫在取食同一林分的油松针叶时,两种色型幼虫的转化率差异显著(表3)。说明两种色型的油松

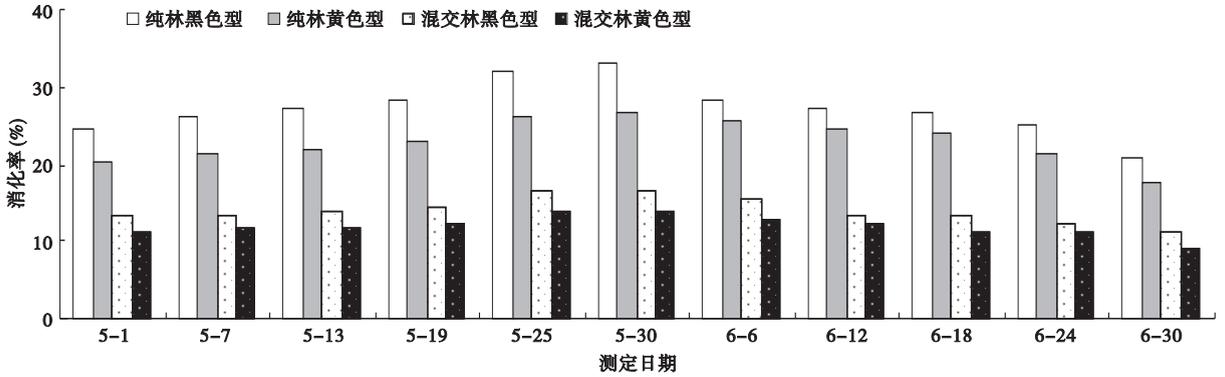


图2 两种色型油松毛虫消化率的变化

Fig. 2 Changes of digestion rate of two kinds of color morph pine caterpillar larvae.

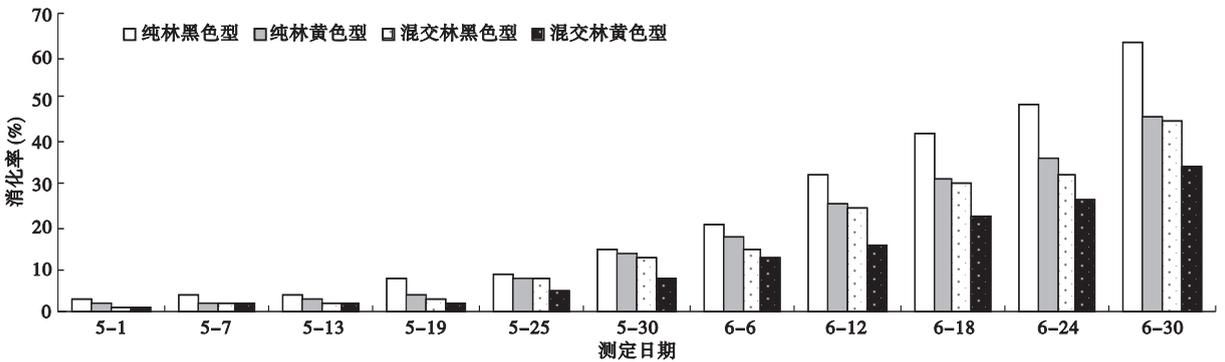


图3 两种色型油松毛虫转化率的变化

Fig. 3 Changes of transformation rate of two kinds of color morph pine caterpillar larvae

毛虫能有效地利用和转化纯林油松松针,以取食纯林油松针叶作食物有利,在山杏-油松混交林上取食,对两种色型松毛虫取食的消化、转化、利用率均不利。

#### 2.4 油松毛虫的蛹重、产卵量及孵化率

不同林分类型的油松针叶饲养的两种色型的油松毛虫化蛹后,其蛹期、蛹重、雌雄比羽化率、怀卵量以及孵化率等均有所变化(表4)。

取食同一林分的油松针叶的两种色型的油松毛虫,黑色型均比黄色型提早2~3 d结茧化蛹;黑色型的化蛹总数、松毛虫蛾的雌雄比、羽化率、产卵量以及卵孵化率均比黄色型的略高,但没有明显差异;

表3 油松毛虫幼虫的食物消化率、转化率和利用率的显著性分析(%)

Table 3 Significant analysis of pine caterpillar larvae on digestion rate, conversion rate and utilization rate of foods

处理	消化率	转化率	利用率
纯林黑色型	27.19±3.37 aA	22.76±2.52 aA	11.11±1.54 aA
纯林黄色型	22.92±2.76 bcA	17.14±2.39 bcA	10.30±1.43 abA
混交林黑色型	13.91±1.65 cA	15.94±2.34 cAB	8.00±0.65 bA
混交林黄色型	11.85±1.32 dA	11.90±1.52 dB	6.89±0.48 bA

黑色型的蛹重比黄色型的高,经方差分析差异显著( $P<0.05$ ),蛹重和产卵量有着密切的关系,蛹的重量较重,产卵量较大,生殖力较高,反之就小(陈吉昌,1992),蛹重较轻,必然导致怀卵量减少,生殖力下降,松毛虫种群数量也随之下落。取食纯林针叶的黑色型幼虫发育成的雌蛾平均怀卵量分别为501粒,黄色型的平均怀卵量为449粒,前者比后者多52粒;取食山杏-油松混交林针叶的黑色型幼虫发育成的雌蛾平均怀卵量为407粒,黄色型的平均怀卵量为373粒,前者比后者多34粒。

取食油松纯林针叶的同种色型的油松毛虫各项指标均比取食混交林针叶同种色型油松毛虫的各项指标较高,表明山杏-油松混交林延长了油松毛虫的发育历期,抑制了油松毛虫的生长发育。

#### 2.5 油松毛虫幼虫的耐饥饿能力

取不同林分类型的油松针叶饲养的黑色型和黄色型油松毛虫幼虫各20头(分4组,每组5头),断食后观察其幼虫死亡情况,统计各龄级幼虫断食后的平均死亡天数(表5)。结果表明,虫龄愈大,幼虫耐饥饿能力愈强,平均死亡天数愈多。3龄幼虫断

表4 两种色型油松毛虫蛹重、羽化率、产卵量及孵化率的变化

Table 4 Changes of pupal weigh, emergence rate, oviposition quantity and hatching rate of two kinds of color morph pine caterpillar

林分类型 针叶	幼虫色型	蛹期 (d)	蛹数(头)		蛹重(g·头 <sup>-1</sup> )		羽化率 (%)	怀卵量 (粒·头 <sup>-1</sup> )	孵化率 (%)
			♀	♂	♀	♂			
纯林针叶	黑色型	5.50±2.03	28.00±2.26	16.00±2.21	3.61±0.21	2.03±0.21	89.29±0.29	501.00±2.78	96.25±0.32
	黄色型	7.00±2.40	11.00±2.02	17.00±2.06	3.13±0.20	1.89±0.20	72.73±0.28	449.00±2.46	94.12±0.23
混交林 针叶	黑色型	7.75±2.65	22.00±1.99	14.00±1.87	3.01±0.20	1.87±0.19	68.19±0.27	407.00±2.17	84.27±0.21
	黄色型	9.50±3.04	11.00±2.01	19.00±2.02	2.72±0.19	1.73±0.16	54.54±0.21	373.00±2.12	80.65±0.21

表5 两种色型油松毛虫幼虫断食后的平均死亡天数

Table 5 Average death time after jejunitas of two kinds of color morph pine caterpillar larva

林分类型 油松针叶	幼虫 色型	供试各 龄幼虫 数(头)	断食后平均死亡天数(d)			
			3龄	4龄	5龄	6龄
纯林针叶	黄色型	50	5	9	13	18
	黑色型	50	3	7	10	14
混交林 针叶	黄色型	50	4	8	11	15
	黑色型	50	3	6	8	11

食后3~5 d就死亡,而6龄幼虫可达11~18 d。两种色型幼虫耐饥饿能力在3龄差别较小。4龄以上,黄色型幼虫的耐饥饿能力明显高于黑色型。6龄幼虫断食后有大部分能提前结茧化蛹,但蛹体较小、蛹重较轻。5龄幼虫在断食后1周内又喂针叶仍有部分能继续取食,断食9 d后再喂针叶则不能再取食(表5)。

### 3 讨论

山杏-油松混交林油松针叶饲养的油松毛虫,取食量下降,死亡率增加,体重增长率下降,对食物的消化率、转化率、利用率等减小以及蛹重、羽化率、怀卵量、孵化率以及耐饥饿能力等降低。说明山杏-油松混交林油松防御能力强,延长油松毛虫的发育历期,对油松毛虫的生长发育影响较大。

黑色型的油松毛虫的取食量、体重增长率、蛹重、羽化率、怀卵量、孵化率以及对食物的消化系数均高于黄色型,而死亡率则低于黄色型。说明黑色型油松毛虫幼虫本身具有较强的消化、吸收功能,取食量较大,在体内积累的营养物质较多。

不同林分类型的油松针叶饲养的两种色型的油松毛虫幼虫的消化率呈现不同的趋势,这可能是越冬后的油松在雨季,2年生油松针叶的含水量、营养物等有所增加,有利于油松毛虫的生长发育,进而油松毛虫的消化率增加。随着油松针叶的成熟度也逐渐增加,使针叶日益老化、含水量减少、粗纤维与粗

灰分增多、食物质量变差(陈吉昌,1992),咀嚼口器昆虫的老龄幼虫食下较多的纤维素,故引起消化率的下降(钦俊德,1987)。黑色型幼虫与黄色型幼虫相比,其繁殖能力较强,原因之一可能是幼虫的存活率及蛹的怀卵量不同所致,而与卵的孵化率无关,因为其卵的孵化率基本一致。而黄色型幼虫耐饥饿能力强于黑色型,这可能是油松毛虫种群的野外保存与延续的原因。

不同林分类型的油松针叶饲养的两种色型油松毛虫幼虫在生理、消化系数等方面存在的差异,可能是油松针叶内化学物质的变化引起的。植物对昆虫的防御机制最主要因素是化学因素(张瑛和严福顺,1998)。植物受植食性昆虫为害后生物物质的组成和含量发生明显变化,生物碱、酚类化合物、单宁等次生性化学物质含量增加(Schultz & Baldwin, 1982; Agrawal, 1988, 1999; 李镇宇等, 1998, 2000; 王燕等, 2001)。而山杏-油松混交林不利于油松毛虫的生长发育,这可能与油松混交林的环境条件有关。相同立地条件,管理条件下,油松纯林和山杏-油松混交林油松针叶内化学物质是否变化有待进一步研究。

油松的生理生化反应是异常复杂的,不同油松植株在不同环境下有不同的反应,并且油松体内的生理生化反应是有机联系的整体,代谢途径繁多,代谢产物之间的关系复杂。油松本身就处于一种动态变化过程中,即基础代谢和次生代谢的交替进行,而油松的抗性功能正是存在于这种动态的变化过程中。同时,油松的营养物质变化亦可以起到防御昆虫取食的作用,且化学物质和营养物质往往是协同作用,共同对油松毛虫起着防御的作用。而且油松与油松毛虫二者之间又是不断相互选择、协同进化的。因此,油松体内的各种物质在防御中的地位及其协调作用还有待于进一步的探讨。

## 参考文献

- 陈昌洁. 1992. 松毛虫综合管理. 北京: 中国林业出版社.
- 李镇宇, 陈华盛, 袁小环, 等. 1998. 油松对赤松毛虫的诱导化学防御. 林业科学, **34**(2): 43-48.
- 李镇宇, 王燕, 陈华盛, 等. 2000. 油松对赤松毛虫的诱导化学防御及滞后诱导抗性. 林业科学, **36**(1): 66-70.
- 庞正轰. 1989. 油松毛虫的两种色型幼虫的初步研究. 北京林业大学学报, **11**(3): 66-70.
- 庞正轰. 1990. 封山林分针叶在生理特性上对赤松毛虫抗虫效应的研究. 北京林业大学学报, **12**(2): 6-12.
- 钦俊德. 1987. 昆虫与植物的关系. 北京: 科学出版社.
- 沈熙环. 2000. 林木育种学. 北京: 中国林业出版社.
- 王燕, 戈峰, 李镇宇. 2001. 马尾松诱导化学物质变化的时空动态. 生态学报, **21**(8): 1256-1261.
- 薛崇伯, 王亚峰, 毋宇佳, 等. 1985. 油松自然变异观察与形态类型划分. 陕西林业科技, **18**(3): 1-4.
- 袁一杨, 高宝嘉, 李明, 等. 2008. 不同林分类型下油松毛虫种群遗传多样性. 生态学报, **28**(5): 2099-2106.
- 张瑛, 严福顺. 1998. 虫害诱导的植物挥发性次生物质及其在植物防御中的作用. 昆虫学报, **41**(2): 204-213.
- 张丽丽, 李镇宇, 李海林, 等. 2005. 不同受害油松对油松毛虫幼虫生长发育的影响. 北京林业大学学报, **27**(6): 83-88.
- 张丽丽. 2005. 影响油松毛虫生长发育的几个因素的探讨(硕士学位论文). 北京: 北京林业大学.
- 张新波. 1998. 油松自然类型的初步划分. 河北林业科技, **16**(2): 22-28.
- Agrawal AA. 1988. Induced responses to herbivory and increased plant performance. *Science*, **279**: 1201-1202.
- Agrawal AA. 1999. Induced responses to herbivory in wild radish: Effect on several herbivores and plant fitness. *Ecology*, **80**: 1713-1723.
- Levins R. 1968. *Evolution in Changing Environments*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Schultz JC, Baldwin IT. 1982. Oak leaf quality declines in response to defoliation by Gypsy moth larva. *Science*, **217**: 149-151.
- Soo Hoo CF, Fraenkel G. 1966. The consumption, digestion, and utilization of food plants by a polyphagous insect, *Prodenia eridania* (Cramer). *Journal of Insect Physiology*, **12**: 711-730.

---

作者简介 陈晨,女,1984年生,硕士研究生,主要从事野生动植物生态学研究。E-mail: chenchen0999@126.com

责任编辑 刘丽娟

---