

松树受害后一些化学物质含量的变化及其 对马尾松毛虫种群参数的影响*

戈 峰 李典谟

(中国科学院动物研究所 北京 100080)

邱业先 王国红

(江西农业大学 南昌 330045)

摘要 通过探讨松树受害后松针的一些化学物质变化与马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 种群参数的相互作用关系。结果表明: 松针被马尾松毛虫为害后, 针叶的氨基酸含量减少、单宁和总酚含量增加; 马尾松毛虫取食被害松针后, 体内的 2 种解毒酶 (过氧化氢酶、羧酸酯酶) 活性增加, 其种群参数表现出发育历期延长、体重减轻、死亡率增加、生殖力下降的变化。

关键词 被害松针, 马尾松毛虫, 相互作用

已有的研究表明, 在长期协同进化的过程中, 植物与昆虫之间的相互作用关系复杂而又微妙。植物受到害虫的胁迫作用后, 其体内某些化学物质的含量将会发生变化, 某些次生代谢物质 (酚、单宁、生物碱、萜烯等) 会被诱导产生, 以防御虫害^[1]。害虫取食被害的植物后, 生长发育缓慢、蛹重减轻、生殖力下降^[2]。这种植物体内诱发的化学防御作用可分为短期和长期反应两种类型。短期反应较为迅速, 主要影响本代昆虫种群动态; 而长期反应则持续时间长, 可影响几个世代昆虫种群动态。该现象在森林与害虫相互作用关系中尤为明显。Schultz^[3]的研究表明, 在 1980 年舞毒蛾 *Lymantria dispar* 严重发生的区域内, 当 1981 年再度大发生时却为害轻, 其原因在于被害后松树中的单宁酸显著增加。Benz^[4]还观察到, 落叶松被灰线小卷蛾 *Zeiraphera griseana* 为害后, 其被诱导产生的抗虫作用可持续 5 年左右。这为解释某些林虫周期性暴发提供了一个新的证据。

马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 是我国森林的一大害虫。业已发现, 该虫的发生具有周期性规律, 且在暴发后的翌年种群数量骤减^[5]。至于其形成的机理, 研究较少。本文根据松针内化学物质与马尾松毛虫的相互作用关系, 一方面研究马尾松 *Pinus massoniana* 的针叶在马尾松毛虫的胁迫作用下, 其内一些化学物质 (营养物质与次生代谢物质) 变化的特点; 另一方面研究马尾松毛虫取食不同被害程度松树的松针后, 其种群参数变化的特征, 以期从昆虫营养学上, 揭示马尾松毛虫周期性暴发的机理。

* 国家自然科学基金重点项目 (批准号 39230290) 及农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室资助项目内容
1996-04-01 收稿, 1997-06-10 收修改稿

1 材料与方法

1.1 试验处理

1994年5月下旬在江西省高安县大城林场,选择前一年(1993年)第2代马尾松毛虫对马尾松造成不同伤害程度的3种类型松树:即受害严重松树(针叶损失80%以上),受害中等松树(针叶损失50%左右)和未受害松树(针叶损失0%)进行试验。

1.2 马尾松毛虫幼虫室内饲养

在室内自然温度、光照、保湿条件下,在3 cm×25 cm 试管内用上述不同受害类型松树的新鲜新叶和老叶单头饲养第1代马尾松毛虫幼虫。共设受害老叶、受害新叶、未受害老叶和未受害新叶饲养4个处理。每个处理均同时放入1 000头初孵幼虫开始饲养,逐日观察记载各处理内马尾松毛虫的发育历期、死亡率及成虫产卵量;每3 d从各处理内随机抽取20头幼虫或蛹在 TG-328B 光电分析天平上称重。同时根据它们取食前后针叶重量(干重)的变化,减去对照(无虫)试管内针叶水分的变化,估算幼虫的取食量。

1.3 幼虫体内酶的测定

供试幼虫的取样是在上述饲养过程中,每隔10 d 随机取出进行的。每处理取3头幼虫,重复3次,将幼虫在冰浴中匀浆后,于3 500 r/min 离心机上离心10 min,取上清液作群体平均酶活力测定。羧酸酯酶测定,是以 α -乙酸萘酯(α -NA)和 β -乙酸萘酯(β -NA)为底物,参照 Van Asperen^[6]方法测定;过氧化氢酶的测定参照杨肇驯等^[7]方法进行。

1.4 松针内化学物质的测定

松针的取样与上述喂养马尾松毛虫松针的采摘是同步的。对各处理松针立即杀青并烘干。将定量烘干的松针,在日产835-50型氨基酸自动分析仪上测定氨基酸含量;采用磷钼酸-钨酸钠法,参照王朝生^[8]方法测定单宁;采用苯胺法,参照朱广廉^[9]方法测定总酚含量。

表1 不同受害程度松树的松针饲养的第1代马尾松毛虫幼虫发育历期(d)

	平均值	方差	最大值	最小值
未受害老叶	61.47	10.48	77	50
未受害新叶	70.40	8.85	77	61
受害新叶	72.08	3.03	80	65
受害老叶	72.33	4.45	83	71

(1994年,江西高安)

2 结果分析

2.1 不同受害程度松针饲养的马尾松毛虫种群参数特征

2.1.1 幼虫发育历期变化:室内饲养结果

(表1)表明,第1代马尾松毛虫取食不同受害程度松树的松针后,其幼虫的发育历期不同,以取食未受害老叶的幼虫历期最短,为61.47 d;其它依次为:取食未受害的新叶

(70.4 d) < 取食受害新叶72.08 d < 取食受害老叶72.3 d, 后三者之间差异相对较小。

2.1.2 幼虫体重与蛹重的变化:用不同受害程度松树的松针喂养的马尾松毛虫,其幼虫

的体重和蛹重不同, 均表现为: 取食未受害老叶的幼虫体重与蛹重 > 取食未受害新叶 > 取食受害新叶 > 取食受害老叶; 其中, 取食未受害老叶的蛹重 (0.924 g/头) 为取食受害老叶的蛹重 (0.5909 g/头) 的1.56倍 (表2)。

表2 不同受害程度松树的松针饲养的第1代马尾松毛虫幼虫体重与蛹重 (g/头)

(1994年, 江西高安)

	不同测定日期的幼虫体重					蛹重
	6月15日	7月5日	7月15日	8月4日	老熟幼虫	
未受害老叶	0.09	0.42	0.908	0.943	1.02	0.924
未受害新叶	0.038	0.16	0.28	0.658	0.996	0.6901
受害新叶	0.033	0.14	0.26	0.53	0.2446	0.6490
受害老叶	0.028	0.13	0.25	0.52	0.7688	0.5909

表3 不同受害程度松树的松针饲养的第1代马尾松毛虫幼虫平均取食量 (g/头)

(1994年, 江西高安)

	不同测定日期的幼虫取食量			幼虫平均取食量
	6月15日	7月5日	8月4日	
未受害老叶	0.181	0.585	0.768	9.61
未受害新叶	0.0755	0.285	0.613	9.52
受害新叶	0.063	0.271	0.574	9.17
受害老叶	0.059	0.267	0.554	9.03

2.1.3 幼虫取食量的变化: 马尾松毛虫幼虫对不同受害程度松树的松针取食量也不相同, 其变化趋势与上述幼虫发育历期及体重的变化一致 (表3)。但就其平均每头幼虫的总取食量来看差异较小, 这可能与它们的能量利用率不同有关。

2.1.4 马尾松毛虫平均死亡率、化蛹率与生殖力的变化: 用不同受害程度松树的松针饲养的马尾松毛虫, 其平均死亡率、化蛹率和生殖力结果 (表4) 表明, 取食不同

受害程度松树的松针的幼虫死亡率不同, 与上述幼虫发育历期、体重、取食量变化刚好相反, 依次为: 取食受害老叶的死亡率为 (21.23%) > 取食受害新叶 (18.59%) > 取食未受害新叶 (13.21%) > 取食未受害老叶 (11.59%), 即取食受害老叶的死亡率高于取食未受害老叶的1.83倍。

取食不同受害程度松树的松针的第1代幼虫化蛹率也不相同。其中, 取食未受害老叶的幼虫均可化蛹 (即化蛹率100%), 而取食未受害新叶的化蛹率为65%, 取食受害老叶与新叶的化蛹率均仅有50%。

用不同受害程度松树的松针喂养的幼虫化蛹羽化成成虫后, 其生殖力差异很大, 依次为: 取食未受害老叶的生殖力 (288粒/蛾) > 取食未受害新叶 (110粒/蛾) > 取食受害新叶 (78粒/蛾) > 取食受害老叶 (24粒/蛾)。即取食未受害老叶的生殖力为取食受害老叶的12倍。

表4 不同受害程度松树的松针饲养的马尾松毛虫平均死亡率、化蛹率、生殖力

(1994年, 江西高安)

	死亡率 (%)	化蛹率 (%)	生殖力 (粒/蛾)
未受害老叶	11.59	100	288
未受害新叶	13.21	65	110
受害新叶	18.59	50	78
受害老叶	21.23	50	24

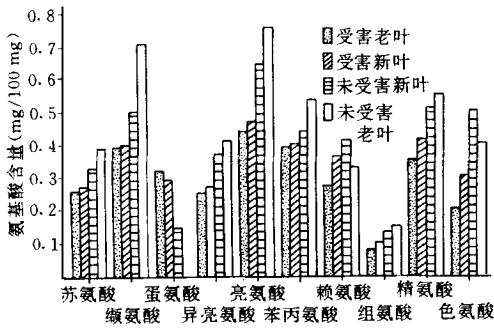


图1 不同受害程度松树的松针内昆虫10种必需氨基酸测定值 (mg/100mg)

趋势一致,其总和值如表5所示,依次为:未受害老叶>未受害新叶>受害新叶>受害老叶。

2.2.2 松针内单宁含量与总酚含量的变化:通过对不同受害程度松树的松针内2种次生物质(单宁与总酚)含量的测定(表6)表明,松针受害后,其内的单宁和总酚有增加趋势,且各类松针单宁量和总酚量均以受害中等的值最高;无论受害或未被受害,松针老叶的单宁量和总酚量均高于新叶。

表5 不同受害程度松树的松针内氨基酸含量值 (mg/100 mg)

	10种必需氨基酸总和值	18种氨基酸总和值
未受害老叶	4.24	7.79
未受害新叶	3.99	7.01
受害新叶	3.27	6.02
受害老叶	2.95	5.65

表6 不同受害程度松树的松针内单宁含量和总酚含量 (mg/g)

	单宁含量		总酚含量	
	新叶	老叶	新叶	老叶
未受害	15.48	32.84	12.37	23.30
受害中等	19.54	33.49	17.80	24.13
受害严重	17.17	28.62	12.46	23.47

2.3 马尾松毛虫的2种解毒酶活性的变化

2.3.1 幼虫体内过氧化氢酶活性的变化:过氧化氢酶与羧酸酯酶是昆虫体内2种重要的解毒酶。取食不同受害程度松树的松针后,幼虫体内过氧化氢酶活性的变化如图2所示,随着幼虫生长发育历期拉长,幼虫体内过氧化氢酶活性降低。它们之间的值差异很大,其中取食受害新叶的幼虫体内过氧化氢酶活性4次测定的平均值(45.09 mg/(g·s))为取食未受害老叶(18.98 mg/(g·s))的2.38倍。

2.3.2 幼虫体内羧酸酯酶活性的变化:随着幼虫生长发育历期拉长,幼虫体内羧酸酯酶活性逐渐增加,之后又逐渐下降;取食不同受害程度松树的松针的幼虫体内羧酸酯酶的值依次为:取食受害新叶的平均值 $167.20 \times 10^2 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot 30 \text{ min})$ > 取食受害老叶($136.23 \times 10^2 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot 30 \text{ min})$) > 取食未受害新叶($134.37 \times 10^2 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot 30$

2.2 不同受害程度松树的松针内一些化学物质的变化

2.2.1 松针内昆虫10种必需氨基酸和18种水解氨基酸含量变化:苏氨酸等10种氨基酸是昆虫必需氨基酸。不同受害程度松树的松针内昆虫10种必需氨基酸(水解蛋白氨基酸)测定结果如图1所示,除蛋氨酸外,其它各氨基酸的值都呈现出:未受害老叶>未受害新叶>受害新叶>受害老叶。其含量分别为4.24%, 3.99%, 3.27%和2.95%,最高值为最低值的1.44倍(表5)。

不同受害程度松树的松针内18种水解氨基酸的变化与昆虫10种必需氨基酸的变化趋势一致,

min)) > 取食未受害老叶 ($76.81 \times 10^2 \mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot 30 \text{ min})$)。该值的变化与过氧化氢酶活性的变化一致。

3 小结与讨论

昆虫与植物的相互作用关系的研究, 无论在昆虫生态学理论上, 还是在害虫管理实践中, 均有非常重要的意义, 因而受到了极大的关注^[1,10]。但从目前国内有关昆虫与植物相互作用关系的研究报告来看, 主要集中于研究短期反应, 着重于从生理学的角度探讨植物受害后化学物质的迅速反应变化; 而对长期反应, 分析这种诱导作用对昆虫下个

世代的影响研究较少^[11]。本文通过对松树受害后松针的一些化学物质变化与马尾松毛虫种群参数的相互作用关系分析, 发现松树被马尾松毛虫为害后, 松针内的氨基酸含量减少, 而单宁与总酚含量增加; 当马尾松毛虫取食这种受害松树的松针后, 体内的2种解毒酶(过氧化氢酶、羧酸酯酶)活性增加, 其种群参数则表现出发育历期延长、体重减轻、死亡率增加、生殖力下降的变化, 从而为揭示马尾松毛虫周期性暴发在昆虫营养学上提供了一个证据。

Masttsten 和 Scriber^[12]认为, 寄主植物中某些营养物质和次生代谢物质的质与量的变化对害虫生长发育及代谢有相当大的影响。本试验结果初步证明了这一点。从本文试验结果来看, 马尾松毛虫取食不同受害程度松树的松针后, 其生长发育历期、死亡率及体重的差异都很明显, 且趋势一致。作者认为, 产生上述差异的重要原因与受害松树的松针内营养物质(氨基酸)、次生物质(单宁和总酚)等化学物质的变化有关。但是否还存在着其它的化学物质作用因子, 以及哪一个是主要因子, 尚值得深入研究。

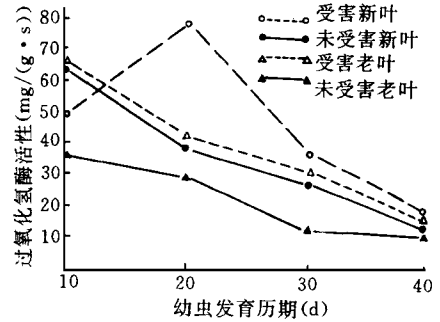


图2 取食不同受害程度松树的松针后幼虫体内过氧化氢酶活性的变化

参 考 文 献

- 1 戈 峰. 害虫对植物的胁迫作用. 见: 万方浩主编 昆虫生态学研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 87~91
- 2 Hartleys S E, Lawton J H. Effects of different types of damages on chemistry of birch foliage and the response of birch feeding insects. *Oecologia*, 1987, **74**: 432~437
- 3 Schultz J C, Baldwin I T. Oak leaf quality declines in response to defoliation by Gypsy moth larva. *Science*, 1982, **217**: 149~151
- 4 Benz G. Negative ruckkoppelung Dutch arum-and nahrugkonkurrenz sowie xyklische veränderung der nahrungsgrundlage aks regelprinzip in der population dynamic des grauen larchenwicklers, *Zeiraphera diniana*. *Z. Anger. Ent.*, 1974, **76**: 196~228
- 5 陈昌洁, 松毛虫综合管理. 北京: 中国林业出版社, 1990, 26~132
- 6 Van Asperen K. A study of housefly esterase by means of a sensitive calorimetric method. *J. Insect Physiol.*, 1962, **8**: 401

- 7 杨肇驯, 王文宏, 谭克辉. 冬小麦幼苗春化期间过氧化物酶的变化. 植物生理学报, 1981, 7: 311~316
- 8 王朝生. 几组棉花抗虫品系单宁含量分析. 中国棉花, 1987, 2: 22~24
- 9 朱广廉. 植物生理学实验. 北京: 北京大学出版社, 1990, 76~124
- 10 钦俊德. 昆虫与植物的关系. 北京: 科学出版社, 1987, 4~88
- 11 Baldwin I T, Schmelz E A. Constraints on an induced defense: the role of leaf area. *Oecologia*, 1994, 97: 424~430
- 12 Masttsten W J, Sciber J M. Nutritional ecology of insect folivores of woody plants: nitrogen, water, fiber, and mineral considerations. In: Slansky Jr F, Rodriguez J G eds. *Nutritional Ecology of Insects, Mites and Spiders*. New York: Wiley Press, 1987, 105~146

STUDIES ON THE CHANGES OF SOME CHEMICALS IN DAMAGED PINE NEEDLES AND THEIR EFFECTS ON POPULATION PARAMETERS OF PINE CATERPILLAR

Ge Feng Li Dianmo

(Institute of Zoology, Academia Sinica Beijing 100080)

Qiu Yexian Wang Guohong

(Jiangxi Agricultural University Nanchang 330045)

Abstract The interaction between the changes of some chemicals (amino acids and secondary metabolites) in damaged pine needles and the population parameters of pine caterpillars, *Dendrolimus punctatus* Walker, was explored in this paper. The results showed that: (1) less amino acids and more tannins and phenolics were detected to change in pine needles after fed by pine caterpillar; (2) slower development, lighter weight, less fecundity, high mortality and higher activity of detoxification enzymes (peroxidase and carboxylesterase activity) were found in pine caterpillar population as fed on damaged pine needles.

Key words damaged pine needles, *Dendrolimus punctatus*, interaction