

虫害诱导黑杨对分月扇舟蛾生长发育的影响^{*}

周艳琼¹ 钱 为¹ 郝德君^{1**} 王 焱² 马凤林²

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037; 2. 上海市林业总站 上海 200072)

Effects of herbivore insect induced poplar resisitance on the growth and development of *Clostera anastomosis*. ZHOU Yan-Qiong¹, QIAN Wei¹, HAO De-Jun^{1**}, WANG Yan², MA Feng-Lin² (1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Forest Station of Shanghai, Shanghai 200072, China)

Abstract Herbivore-induced resistance in the plant *Populus deltoids* and its effect on the moth *Clostera anastomosis* was investigated under laboratory conditions. Choice experiments indicated that *C. anastomosis* larvae prefer unbrowsed to browsed leaves. Feeding larvae browsed leaves prolonged their development, greatly increased their mortality rate and significantly reduced their relative growth rate (RGR). Larvae's efficiency of conversion of digested food (ECD), efficiency of conversion of ingested food (ECI) and relative consumption rate (RCR) also decreased although the difference between browsed and unbrowsed leaves was not significant. Furthermore, browsed leaves also adversely affected the development of pupae and adults, reducing pupal weight, emergence rate and egg production. This study indicates that browsing by *C. anastomosis* can induce changes in the chemical composition of the leaves of *P. deltoide* that adversely affect the digestive metabolism and development of *C. anastomosis*.

Key words *Populus deltoids*, *Clostera anastomosis*, induced resistance, nutrition metabolism, growth and development

摘 要 在实验室条件下,通过人工饲养研究了虫害处理的 69 杨和 895 杨对分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* 幼虫、蛹及成虫的生长发育的影响。结果表明:虫害处理的叶片对分月扇舟蛾幼虫表现为驱避作用;取食虫害处理的叶片,使得幼虫的发育历期延长,死亡率增加,对食物的利用和转化效率下降;蛹重减轻,蛹期延长;成虫的羽化率降低,产卵量减少。说明昆虫取食危害能够诱导杨树对分月扇舟蛾产生抗虫性。

关键词 美洲黑杨,分月扇舟蛾,诱导抗性,营养代谢,生长发育

植物在与植食性昆虫漫长的协同进化过程中,已形成了多种多样的防御机制来抵抗昆虫的危害^[1]。昆虫的取食促进了植物的演化,而植物的防御提高了昆虫的生存能力,二者协调发展,协同进化^[2]。已有研究表明:植物被昆虫取食后会在形态特征、营养成分、次生代谢物质、个体发育、生理状况等多个方面发生变化,不但影响昆虫的食物营养与可消化性,而且影响昆虫的生长发育、繁殖、取食定向性、栖居和产卵^[3]。分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* 属鳞翅目舟蛾科,是危害杨树最为严重的害虫之一,由于其繁殖力强,幼虫食量大,容易爆发成灾,

能在短时间内将大面积杨树叶片吃光,严重影响杨树的生长。国内曾有美洲黑杨不同无性系对分月扇舟蛾的抗性研究^[4],而关于分月扇舟蛾取食诱导寄主植物抗性的研究报道不多,本实验通过研究虫害诱导杨树对分月扇舟蛾的消化生理以及生长发育影响,为深入研究分月扇舟蛾对寄主植物选择的化学生态机制和虫害诱

^{*} 资助项目:国家自然科学基金资助项目(30500392)、上海市绿化管理局科技资助项目(ZX061210)。

^{**} 通讯作者:E-mail: dejunhao@163.com

收稿日期:2010-05-07,修回日期:2010-06-07

导的化学防御机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试苗木

杨树插穗由南京林业大学林木遗传育种实验室提供。将采来的 895、69 杨树插条剪成 20 ~ 30 cm 左右的插穗小段,在水中浸泡 2 d 后,扦插于直径 28 cm、高 25 cm 盛有果园土的塑料花盆中,定期浇水、施肥,每天记录杨树幼苗生长情况。

1.2 供试虫源

分月扇舟蛾幼虫采集于江苏省镇江林场农林防护林网,带回实验室后放置直径 24 cm、高 9 cm 的养虫缸内,放入人工气候箱中,在温度为 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、湿度 70% ~ 75%、光照周期 L:D = 14:10 条件下饲养,喂以新鲜杨树叶片,每天更换一次,取室内人工饲养的第 2 代 3 龄幼虫为供试昆虫。

1.3 营养效应测定

当杨树苗长到 50 cm 左右,按照 5 头/株将 2 龄分月扇舟蛾幼虫分别接于 69、895 杨树叶的背面,套上纱网让其分别取食 2 d 后,将幼虫移走,以其为处理苗木,选取生长一致的健康苗木为对照苗木,分别采集不同类型苗木上的叶片带回实验室冷藏备用,不定期按照上述方法处理苗木,以满足实验室饲喂幼虫之用。每种叶片饲喂 3 龄分月扇舟蛾幼虫各 20 头,重复 3 次;每天更换叶片,连续饲喂上述试虫 3 d。根据试前叶片干重(A, g)、试后叶片干重(B, g)、试前幼虫干重(C, g)、试后幼虫干重(D, g)和粪便干重(E, g),参照 Waldbauer(1968)^[4]的方法计算以下营养指标:

相对生长率(RGR) = $(D - C) / [(C + D) / 2 \times T]$,

相对取食量(RCQ) = $(A - B) / [(C + D) / 2 \times T]$,

近似消化率(AD) = $[(A - B - E) / (A - B)] \times 100$,

相对代谢率(RMR) = $[(A - B) - E - (D - C)] / [(C + D) / 2 \times T]$,

食物转化率(ECD) = $[(D - C) / (A - B - E)] \times 100$,

食物利用率(ECI) = $[(D - C) / (A - B)] \times 100$ 。

(其中,A 试前叶片干重、B 试后叶片干重、C 试前幼虫干重、D 试后幼虫干重、E 粪便干重、T 饲喂天数。)

1.4 分月扇舟蛾幼虫对食物的选择

选取 10 头个体发育正常的 3 龄幼虫,饥饿 4 h 后置于养虫缸的中央,在幼虫的两边分别放上叶片大小、发育状况相近的健康和虫害杨树叶,于 6 h 后统计各叶片上的着虫数,重复 10 次。

1.5 分月扇舟蛾生长发育指标测定

参照 1.3 方法处理苗木,采集不同处理苗木上的叶片带回实验室冷藏备用。实验时选取发育正常的初孵幼虫 20 头,饲喂虫害杨树叶片,以饲喂健康杨树叶片的 20 头初孵幼虫对照,每处理设 5 个重复。每天记录幼虫生长情况,统计其幼虫发育历期、幼虫死亡率、蛹期、蛹重、化蛹率、羽化率和产卵量。

1.6 数据分析和处理

实验数据采用 Windows Excel 软件和 DPS 数据处理系统进行数据统计,以 *t*-检验分析不同处理间差异性。

2 结果与分析

2.1 虫害杨树对分月扇舟蛾幼虫的营养效应

虫害诱导杨树对分月扇舟蛾幼虫营养指标的影响见表 1。可以看出,取食虫害处理 69 杨和 895 杨的分月扇舟蛾幼虫的相对生长率降低,虽然与对照间差异不显著($P > 0.05$),但是虫害处理杨树对幼虫的生长发育表现出一定抑制作用。幼虫取食两种经虫害处理的寄主植物后,相对取食量比对照分别下降 5.36% 和 6.46%;近似消化率和相对代谢率均显著降低($P < 0.05$),相比对照近似消化率分别下降了 26.38%、28.37%,相对代谢率分别下降了 55.67%、43.11%,近似消化率和相对代谢率可以反映昆虫中肠对食物消化的代谢速率,本研

究结果表明虫害处理杨树干扰了分月扇舟蛾的消化生理。与对照比较,分月扇舟蛾幼虫对虫害处理 69 杨的食物利用率略有降低,食物转化率却提高;而取食虫害处理的 895 杨幼虫的食物利用率和食物转化率均升高,虽然处理和对照

照差异不显著 ($P > 0.05$),但是从实验结果可知分月扇舟蛾幼虫可能是通过提高对食物的利用和转化能力,获取更多营养满足自身生长发育的需要。

表 1 不同处理杨树对分月扇舟蛾幼虫营养指标的影响

营养指标	69 健康	69 被害	895 健康	895 被害
相对生长率 (RGR)	$2.89 \pm 0.24a$	$2.34 \pm 0.20a$	$2.21 \pm 0.10a$	$2.49 \pm 0.10a$
相对取食量 (RCQ)	$18.48 \pm 1.90a$	$17.49 \pm 1.77a$	$19.36 \pm 1.05a$	$18.11 \pm 0.70a$
近似消化率 (AD)	$53.8 \pm 8.05a$	$39.61 \pm 5.06b$	$54.82 \pm 2.85a$	$39.27 \pm 2.03b$
相对代谢率 (RMR)	$9.97 \pm 3.78a$	$4.42 \pm 1.40b$	$8.35 \pm 1.07a$	$4.75 \pm 0.73b$
食物转化率 (ECD)	$33.76 \pm 11.75a$	$41.16 \pm 8.44a$	$21.83 \pm 2.51a$	$35.63 \pm 3.65a$
食物利用率 (ECI)	$14.46 \pm 2.28a$	$13.94 \pm 1.63a$	$11.55 \pm 0.87a$	$13.91 \pm 0.84a$

注:数据为平均值 $\pm$ 标准误。行间不同字母的表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 分月扇舟蛾幼虫对不同处理寄主的选择

实验结果见图 1。从图 1 可以看出,分别有 61%、66% 的分月扇舟蛾幼虫选择健康的 69 杨、895 杨叶片,仅有 39%、34% 的分月扇舟蛾幼虫选择虫害处理的 69 杨、895 杨树叶片;经方差分析,处理组与对照组间差异显著 ($P < 0.05$),说明虫害处理的杨树对分月扇舟蛾幼虫表现出忌避作用。

2.3 虫害杨树对分月扇舟蛾幼虫发育历期的影响

虫害处理杨树对分月扇舟蛾幼虫发育历期的影响见图 2。由图 2 可以看出,取食虫害处理的 69 杨的分月扇舟蛾幼虫发育历期平均为 16.0 d,而取食健康寄主的幼虫发育历期平均为 14.4 d,处理组比对照组延长 10.0%;取食虫害处理的 895 杨的分月扇舟蛾幼虫发育历期平均为 15.2 d,取食健康寄主的蛾幼虫发育历期平均为 14.6 d,处理组比对照组长 3.95%,虽然两处理间差异不显著 ($P > 0.05$),但是结果表明虫害诱导杨树延缓了分月扇舟蛾幼虫的发育。

2.4 虫害杨树对分月扇舟蛾幼虫死亡率的影响

虫害处理杨树对分月扇舟蛾幼虫死亡率的影响见图 3。从图 3 可以看出,取食虫害处理 69 杨的分月扇舟蛾幼虫平均死亡率为 40.0%,

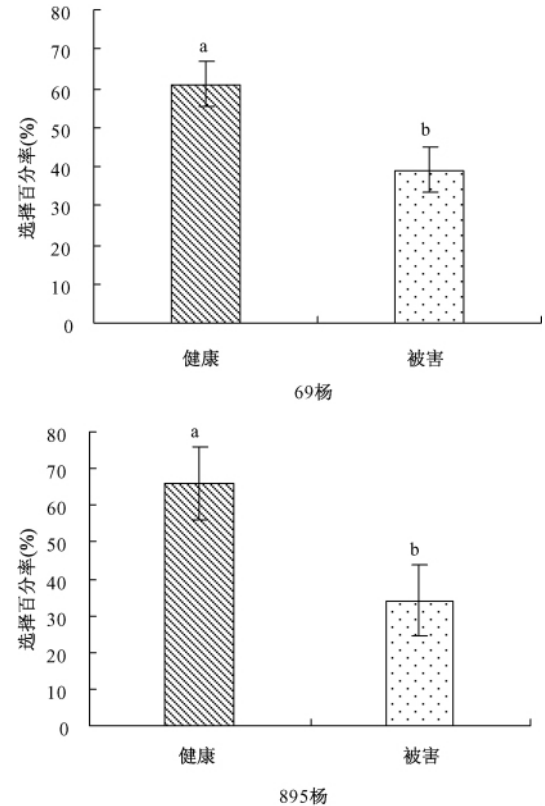


图 1 分月扇舟蛾幼虫对不同处理杨树的选择

注:图中数据均为平均值 $\pm$ 标准误。柱上方不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。(下图同)

而取食健康 69 杨的平均死亡率为 35.0%,取食虫害处理 69 杨的幼虫死亡率比对照升高 12.5%;取食虫害处理 895 杨的分月扇舟蛾幼

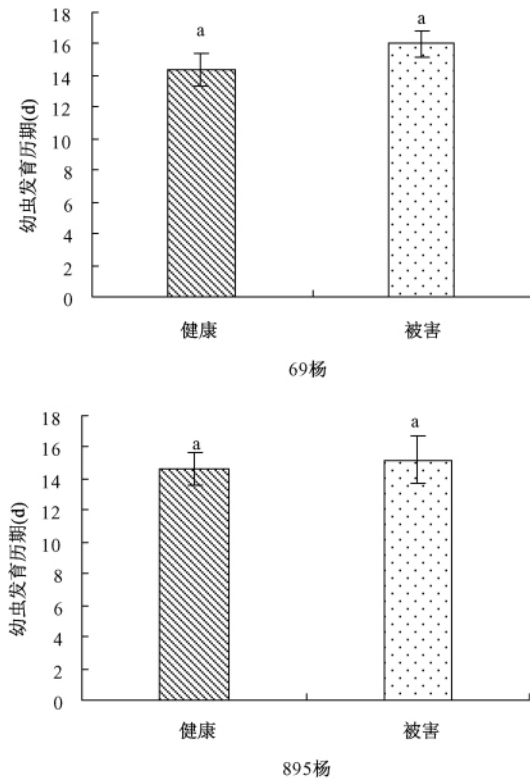


图2 虫害杨树对分月扇舟蛾幼虫发育历期的影响

虫平均死亡率为 64.0% ,取食健康 895 杨的平均死亡率为 48.0% ,处理组高于对照组 25.0% ,虽然虫害处理组与对照组之间差异不显著 ($P > 0.05$) ,但是取食虫害处理植物的幼虫死亡率增加 ,可能是由于虫害处理杨树的化学组分发生变化 ,影响分月扇舟蛾幼虫的取食和生理代谢 ,从而引起死亡率升高。

2.5 虫害杨树对分月扇舟蛾蛹期的影响

从图 4 可以看出 ,取食虫害处理 69 杨叶片的分月扇舟蛾蛹的发育期平均为 9.6 d ,取食健康叶片的蛹期平均为 7.6 d ;取食虫害处理 895 杨平均蛹期为 10.0 d ,取食健康叶片的蛹期平均为 8.4 d ,取食 69 杨和 895 杨处理组的平均蛹期分别长于对照组 20.8% 和 16.0% ,方差分析表明两处理间差异显著 ($P < 0.05$) ,表明取食虫害处理的杨树明显延长了分月扇舟蛾蛹的发育期。

2.6 虫害杨树对分月扇舟蛾化蛹率的影响

实验结果见图 5。从图 5 可以看出 ,取食

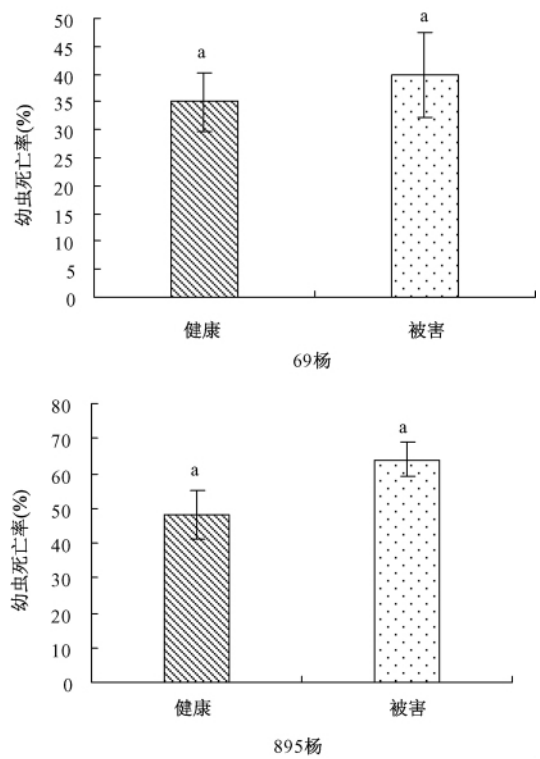


图3 虫害杨树对分月扇舟蛾幼虫死亡率的影响

虫害处理 69 杨的分月扇舟蛾平均化蛹率为 60% ,而取食健康 69 杨的平均化蛹率为 65% ,虽然两处理间差异不显著 ($P > 0.05$) ,但是处理比对照低 7.69% ;取食虫害处理 895 杨的分月扇舟蛾平均化蛹率为 36% ,而取食健康 69 杨的平均化蛹率为 52% ,处理比对照低 30.8% ,两处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$) ,说明分月扇舟蛾取食虫害处理杨树后化蛹率降低。

2.7 虫害杨树对分月扇舟蛾蛹重的影响

从图 6 可以看出 ,取食虫害处理 69 杨叶片的分月扇舟蛾平均蛹重为 0.18 g ,取食健康 69 杨叶片的分月扇舟蛾平均蛹重为 0.19 g ,处理比对照低 5.26% ,两处理间差异不显著 ($P > 0.05$) ;取食虫害处理 895 杨的分月扇舟蛾的平均蛹重为 0.17 g ,而取食健康的平均蛹重为 0.2 g ,处理比对照低 15% ,两者差异显著 ($P < 0.05$) ,说明虫害诱导杨树抑制分月扇舟蛾生长发育 ,导致蛹重降低 ,69 杨和 895 杨的处理和对照间有差异可能与不同寄主植物对虫害胁

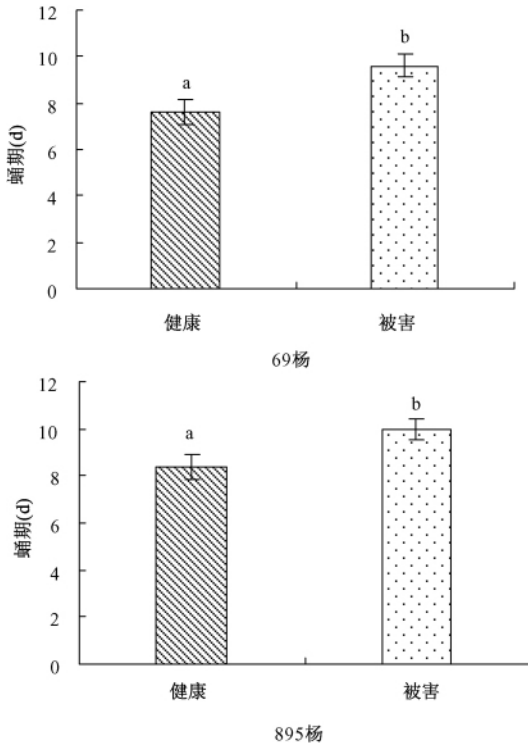


图4 虫害杨树对分月扇舟蛾蛹期的影响

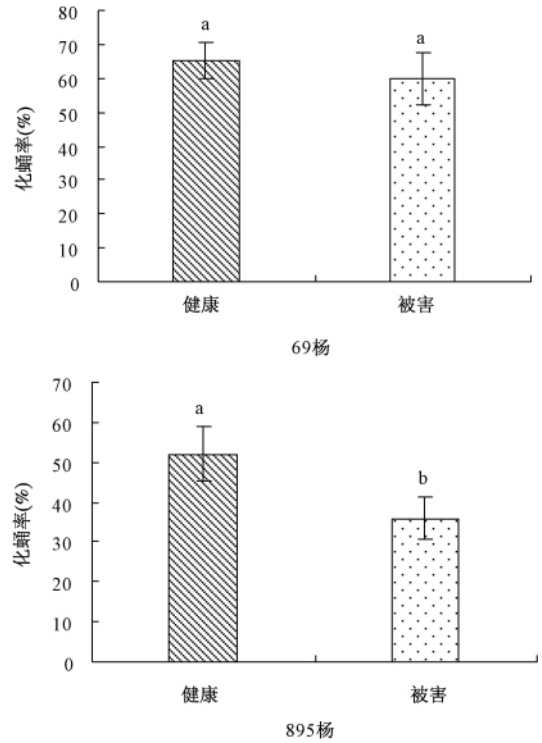


图5 虫害杨树对分月扇舟蛾化蛹率的影响

迫的反应不同。

2.8 虫害杨树对分月扇舟蛾羽化率的影响

实验结果见图7。从图7可以看出,取食虫害处理69杨的分月扇舟蛾平均羽化率和取食健康69杨的平均羽化率分别为69.34%和73.28%,处理比对照下降5.38%,取食虫害处理895杨和取食健康895杨的平均羽化率分别为64.53%和70.26%,处理比对照下降8.16%,方差分析显示两种寄主植物的处理与对照间均无显著差异($P > 0.05$),表明虫害处理杨树对分月扇舟蛾的羽化率无显著影响。

2.9 虫害杨树对分月扇舟蛾产卵量的影响

从图8可以看出,取食不同寄主植物的分月扇舟蛾,其产卵量差异显著。69杨和895杨处理组的平均产卵量分别为109.4粒、93.8粒,对照组的分别为233.6粒、184粒,处理组分别低于对照组53.17%、49.02%,处理组与对照组间差异显著($P < 0.05$),表明虫害诱导杨树显著影响分月扇舟蛾产卵量。

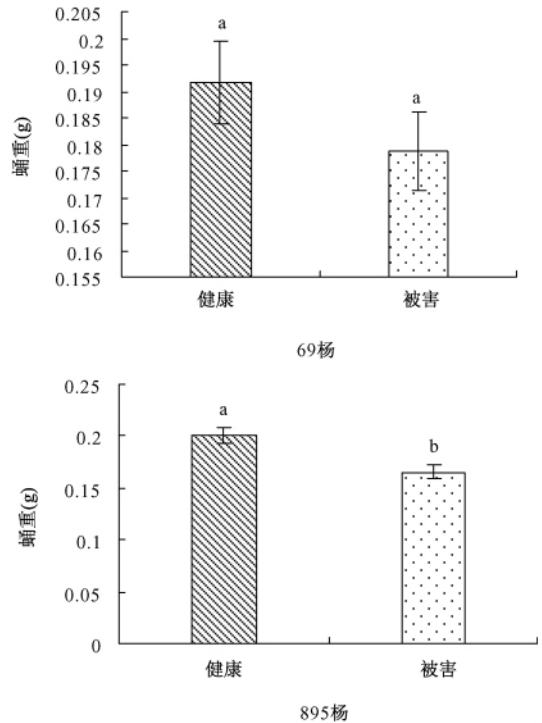


图6 虫害杨树对分月扇舟蛾蛹重的影响

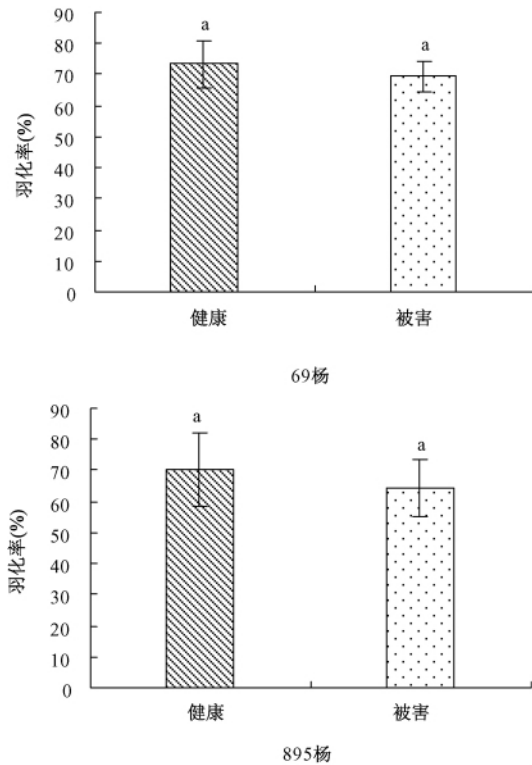


图7 虫害杨树对分月扇舟蛾羽化率的影响

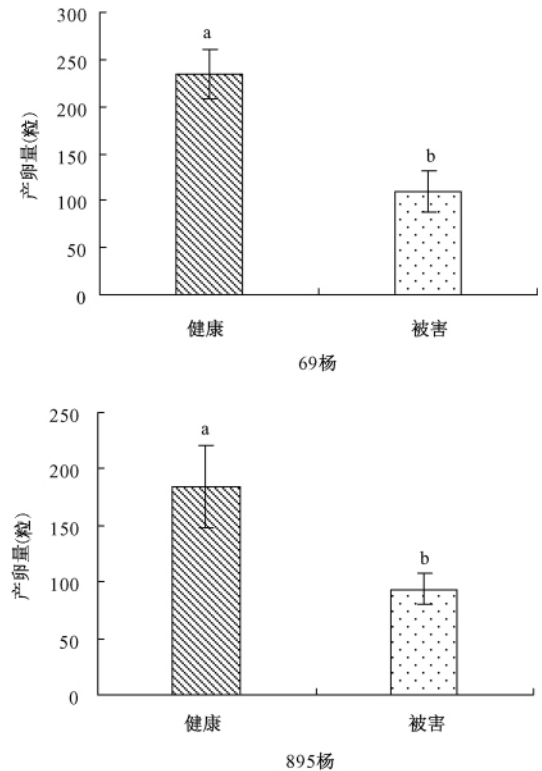


图8 虫害杨树对分月扇舟蛾产卵量的影响

3 讨论

植物受虫害取食胁迫能启动防御系统,通过体内生理代谢的调节,生化特性改变^[5],引起昆虫的取食等行为的改变,影响昆虫的生长发育状况^[6]。昆虫对食物的利用与转化效率是衡量食物质量的指标之一,本实验测得取食虫害处理的69杨和895杨后,分月扇舟蛾相对生长率、相对取食量、近似消化率、相对代谢率都比对照组有不同程度的降低。植物遭受虫害后,植物自身营养状况改变降低了对昆虫的营养,还可以产生一些有毒的次生化合物(酚类、烟碱等)直接杀伤昆虫,或一些防御蛋白(蛋白酶、多酚氧化酶)导致昆虫的消化能力下降^[7,8]。食物利用率(EGI)测定的是摄取的食物转化为昆虫生物量的效率,食物转化率(ECD)测定的是消化的食物转化为昆虫生物量的效率^[9]。而食物利用率和食物转化率比对照有所升高,可能是分月扇舟蛾幼虫为了弥补相对取食量和近似消化率的减少,通过提高

对食物的利用和转化能力,获取生长发育所需的营养物质和能量来完成自身的发育,这与唐文成等^[10]的研究结果一致。取食69杨和895杨后的各营养指标参数有所不同可能与杨树不同品系间存在差异有关,这与Hwang和Lindroth^[11]的研究结果一致。

分月扇舟蛾取食虫害处理的69、895杨树叶后,幼虫期和蛹期延长、化蛹率、蛹重、羽化率、产卵量都有不同程度的下降,这可能是两种杨树在受到分月扇舟蛾取食胁迫后使植物产生诱导性防御作用,通过营养物质和次生代谢产物的变化影响分月扇舟蛾对寄主杨树的适应性。至于虫害诱导的防御反应是植物叶片营养物质质量的下降引起的,还是产生了阻碍幼虫取食的次生代谢物质?仍需对寄主植物生化物质、昆虫生理指标进一步分析测定而加以证实。

参 考 文 献

- 1 陈明顺, 仵均祥, 张国辉. 植物诱导性直接防御. 昆虫知识, 2009, 46(2): 175 ~ 186.

- 2 钦俊德. 昆虫与植物关系——论昆虫与植物的相互作用及其演化. 北京: 科学出版社. 1987. 133 ~ 149.
- 3 Agrawal A. A. Induced responses to herbivory and increased plant perform. *Science* , 1998 , **279** : 1 201 ~ 1 202.
- 4 方杰, 赵博光, 杨振德. 美洲黑杨不同无性系对分月扇舟蛾幼虫的抗性. *昆虫知识* , 2008 , **45** (1) : 88 ~ 91.
- 5 Kessler A. , Baldwin I. T. Plant responses to insect herbivory. *Annual Review of Plant Biology* , 2002 , **53** (53) : 299 ~ 328.
- 6 Havill N. P. , Raffa K. F. Effects of elicitation treatment and genotypic variation on induced resistance in *Populus*: impacts on gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) development and feeding behavior. *Oecologia* , 1999 , **120** : 295 ~ 303.
- 7 Fanmer E. E. , Rany C. A. Octadecanoid precursor of jasmonic acid active the synthesis of wound-induced proteinase inhibitors. *Plant Cell* , 1992 , **4** : 129 ~ 134.
- 8 秦秋菊, 高希武. 昆虫取食诱导的植物防御反应. *昆虫学报* , 2005 , **48** (1) : 125 ~ 134.
- 9 Waldbauer G. P. The consumption and utilization of food by insects. *Advance of Insect Physiology* , 1968 , **5** : 229 ~ 288.
- 10 唐文成, 孙红霞, 舒迎花, 等. 低浓度毒死蜱对斜纹夜蛾幼虫生长发育和食物物利用的影响. *环境昆虫学报* , 2009 , **31** (2) : 137 ~ 142.
- 11 Hwang S. Y. , Lindroth R. L. Clonal variation in foliar chemistry of aspen: effects on gypsy moths and forest tent caterpillars. *Oecologia* , 1997 , **111** : 99 ~ 108.