

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.005.007

不同寄主植物对云南松毛虫生长发育、繁殖及生理酶活性的影响

沈海燕¹, 梁运¹, 陈正浩¹, 华银¹, 李昌良², 张珠河³,
翁怀锋⁴, 黄飏⁴, 张飞萍¹, 梁光红^{1*}

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 罗源县林业局, 福建 福州 350600; 3. 福州市森林病虫害防治检疫站, 福建 福州 350003; 4. 福建霞浦国有林场, 福建 霞浦 355199)

摘要: [目的] 基于不同寄主植物对云南松毛虫 (*Dendrolimus houi* Lajonquiere) 生长发育、繁殖、解毒酶和消化酶活性的影响, 解析其对不同寄主植物的生理适应机制, 为营造新型混交林开展生态调控提供理论依据。[方法] 以柳杉、侧柏、柏木、云南松和马尾松为寄主植物进行室内饲养, 分别比较不同寄主植物条件下云南松毛虫幼虫、蛹的发育历期和成虫繁殖力, 并测定云南松毛虫 5 龄幼虫的解毒酶 (谷胱甘肽-S-转移酶 (GSTs)、细胞色素 P450 酶 (CYP450)、羧酸酯酶 (CarE)) 和消化酶 (蛋白酶、淀粉酶 (AMS)、脂肪酶 (LPS)) 的活性。[结果] 取食柳杉、柏木、侧柏和云南松的云南松毛虫幼虫具完整的生活史, 而取食马尾松的幼虫只存活至 5 龄, 不具有完整的生活史。同时, 取食柳杉和柏木的云南松毛虫幼虫和蛹发育历期短、雌蛹重且成虫产卵多。取食柳杉和柏木的云南松毛虫 5 龄幼虫体内谷胱甘肽-S-转移酶和细胞色素 P450 酶活性显著高于取食云南松、侧柏和马尾松的幼虫 ($P<0.05$)。在 3 种消化酶中, 取食柳杉与柏木的云南松毛虫幼虫体内蛋白酶活性均处于较高水平。[结论] 云南松毛虫对柳杉和柏木具较好的适应性, 虫体内解毒酶和蛋白酶可能是其对柳杉和柏木有较好适应性的主要原因。

关键词: 云南松毛虫; 寄主植物; 发育历期; 解毒酶; 消化酶

中图分类号: S763.42+1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)05-0063-08

植食性昆虫在漫长的演化中与寄主植物形成了复杂的协同进化关系。寄主植物为植食性昆虫提供了食料来源, 但植食性昆虫的生长发育及繁殖也受到寄主植物的影响^[1-2]。如牧草盲蝽 (*Lygus pratensis* Linnaeus) 取食花椰菜 (*Brassica oleracea* var. *botrytis* Linnaeus) 和田旋花 (*Convolvulus arvensis* L.) 后, 其生长发育和繁殖力分别出现了上升和下降趋势^[3]。苹小卷叶蛾 (*Adoxophyes orana beijingensis* Zhou et Fu) 取食适宜寄主植物桃 (*Amygdalus persica* L.) 和苹果 (*Malus pumila* Mill.) 后, 其发育历期缩短, 产卵量升高^[4], 表明寄主植物的种类会影响植食性昆虫的生物学特性。

当然, 寄主植物不会坐以待毙, 也会产生有毒的植物次生代谢物来防御植食性昆虫的取食^[5]。此时植食性昆虫会激活以谷胱甘肽 S 转移酶 (GSTs)、羧酸酯酶 (CarE) 和细胞色素 P450 酶 (CYP450) 为主的解毒酶系统, 使其迅速反应达到代谢解毒的作用^[6-7]。如草地贪夜蛾 (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) 幼虫取食烟草 (*Nicotiana tabacum* L.) 叶片后, 体内 GSTs、CarE 和 CYP450 活性均高于取食玉米 (*Zea mays* L.) 叶片的草地贪夜蛾幼虫, 表明解毒酶在应对来自不同寄主植物的外源毒物和保护机体免受损伤方面发挥了重要作用^[8]。另一方面, 当昆虫克服植物的防御反应后,

收稿日期: 2021-11-10 修回日期: 2022-02-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.31870641); 福建省科技厅引导性项目 (No.2021N0002); 2021 年福州市林业科学技术研究项目 (No.2021FZLY01)

* 通讯作者: 梁光红, 博导, 教授, 主要研究方向: 森林昆虫学, E-mail: fjhg@126.com

还需将寄主植物中的营养物质消化吸收,以维持正常的生长发育^[9]。其中蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶等消化酶可以将植物中的营养物质分解为昆虫能够吸收的小分子蛋白,这些酶类常被用以评价寄主植物中各类营养物质被昆虫利用的状况以及昆虫与寄主植物之间的相互适应性^[10-11]。

云南松毛虫 (*Dendrolimus houi* Lajonquiere) 俗称柳杉毛虫或大柏毛虫,属鳞翅目 (Lepidoptera) 枯叶蛾科 (Lasiocampidae)。以幼虫取食针叶、嫩枝,发生严重时将导致林分大面积枯死^[12-13]。云南松毛虫寄主植物种类繁多,食物来源广泛,除取食柳杉 (*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk) 外,还取食云南松 (*Pinus yunnanensis* Franch.)、思茅松 (*P. kesiya* var. *langbianensis*)、黑松 (*P. thunbergii* Parl.)、侧柏 (*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、柏木 (*Cupressus funebris* Endl.)、马尾松 (*P. massoniana* Lamb.) 等多种寄主。这些植物的营养物质与次生物质各不相同,云南松毛虫取食后却能完成生活史并造成生物灾害^[14-15],推测其对不同寄主植物均具有一定的适应能力。那么,不同寄主植物对云南松毛虫的生长发育、繁殖及生理代谢有什么影响呢?

为此,依据文献记载的寄主植物种类^[14-15],拟选取柳杉、侧柏、柏木、马尾松和云南松为供试寄主植物。在室内条件下连续饲喂云南松毛虫,持续观察其当代、子代的生物学特性差异,明确不同寄主植物对云南松毛虫生长发育的影响。测定取食不同寄主植物后 5 龄幼虫的酶学指标,探析寄主植物种类与害虫生物学特性、生理响应差异的相互关系。

1 材料与方 法

1.1 寄主植物

选用柳杉、侧柏、柏木、马尾松和云南松 5 种寄主植物,均种植于福建农林大学苗圃基地 (119°14'2.92" E, 26°04'47.80" N),未使用任何杀虫剂、杀菌剂及化肥,定期浇水以维持植株健康生长。

1.2 供试昆虫

云南松毛虫茧采自福建省永泰县岭路乡云山村 (118°58'52.25" E, 25°45'55.43" N, 海拔 820 m)。待成虫自然羽化后,雌雄配对转移至网纱笼 (规格 75 cm × 75 cm × 75 cm) 中进行交配和产卵,把

所产卵粒置于人工气候箱 (上海一恒, MGC-300H)。饲养条件为:温度 25±1 °C,光周期 L : D=15 h : 9 h,相对湿度 70%±5%。将同一天孵化的幼虫作为供试虫源。

1.3 不同寄主植物对云南松毛虫生长发育及繁殖的影响

云南松毛虫初孵幼虫有群集性^[16]。故将云南松毛虫初孵幼虫按寄主植物种类 (柳杉、柏木、侧柏、云南松和马尾松) 分别以 30 头·盒⁻¹ 饲养在方形餐盒 (规格 17.2 cm × 11.6 cm × 5.2 cm) 中,每种寄主重复 10 盒。每天定时观察蜕皮情况,将蜕皮进入 2 龄的幼虫放入新的餐盒内,每盒 1 头。每天更换一次新鲜寄主植物枝条并清理虫粪保持饲养环境清洁,定时称量和记录各龄幼虫蜕皮当天的体质量,标记幼虫虫龄,记录各龄幼虫蜕皮日期和幼虫结茧日期。化蛹后称量第 3 d 的蛹质量 (g),记录蛹期 (d)。待成虫羽化后,将同一天羽化的成虫进行雌雄配对,置于网纱笼中,每笼接入 1 对雌雄虫。定时观察和记录雌虫产卵情况,待成虫自然死亡后记录雌、雄成虫寿命 (d)。

1.4 不同寄主植物饲养的云南松毛虫幼虫解毒酶与消化酶的测定

分别取同一天进入 5 龄的各寄主植物饲养的云南松毛虫幼虫用于解毒酶和消化酶活性的测定。解毒酶和消化酶活性测定根据苏州科铭生物技术有限公司的试剂盒说明书操作进行。测定原理如下:

GSTs 测定参照 Habig 等^[17]的方法。GSTs 催化 GSH 与 CDNB 结合,其结合产物的光吸收峰波长为 340 nm;通过测定 340 nm 波长处吸光度上升速率,即可计算 GSTs 活性。

CarE 测定参照 Asperen^[18]的方法。CarE 能催化乙酸-1-萘酯生成萘酯,固篮显色。在 450 nm 光吸收增加速率,计算 CarE 活性。

CYP450 测定参照 Brogdon 等^[19]和 Tiwari 等^[20]的方法。CYP450 经连二亚硫酸钠还原后,在 424 nm 处有最大吸收峰,通过测定 424 nm 和 490 nm 处吸光值的差异,即可计算出 CYP450 的含量。

Protease 测定参照白燕等^[21]的方法。水解酪蛋白生成酪氨酸,酪氨酸还原磷钼酸生成钨蓝,钨蓝在 680 nm 有特征吸收峰。通过测定其吸光度增加,来计算 ACP 活性。

AMS 测定参照白燕等^[21]的方法。AMS 催化淀

粉水解生成还原糖, 还原糖还原 3,5-二硝基水杨酸生成棕红色物质, 在 540 nm 有吸收峰。通过测定 540 nm 吸光度增加速率, 计算淀粉酶活性。

LPS 测定参照白燕等^[21]的方法。LPS 催化油脂水解成脂肪酸, 利用铜皂法测定脂肪酸生成速率, 即可计算 LPS 活性。

蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝法^[22]。

1.5 数据分析

利用 SPSS 22.0 对数据进行方差齐性检验, 以单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和 Tukey 检验法在 0.05 水平上检验各处理组间的差异显著性。绘图使用 Excel 2007 软件。

2 结果与分析

2.1 不同寄主植物对云南松毛虫幼虫和蛹生长发育的影响

除取食马尾松的幼虫仅存活至 5 龄外, 取食其他几种寄主植物的幼虫均能够正常生长发育并化蛹, 且幼虫发育历期无显著差异 ($P>0.05$) (表 1)。其中, 取食柳杉的幼虫发育历期 (154.83 ± 33.87 d) 最短, 取食侧柏的发育历期 (181.11 ± 38.54 d) 最长。而不同寄主植物对云南松毛虫的蛹历期存在显著差异 ($P<0.05$) (表 1), 依次为侧柏>云南松>柳杉>柏木 ($F=25.213$, $P<0.05$)。

表 1 不同寄主植物对云南松毛虫生长发育的影响

Table 1 Effects of different host plants on growth and development of *Dendrolimus houi*

发育历期/d Developmental duration	寄主植物 Host plants				
	柳杉 <i>C. fortunei</i>	柏木 <i>C. funebris</i>	侧柏 <i>P. orientalis</i>	云南松 <i>P. yunnanensis</i>	马尾松 <i>P. massoniana</i>
1龄 1 st instar	9.89±2.98 a	11.79±3.01 a	14±4.07 a	12.32±3.80 a	10.68±3.22 a
2龄 2 nd instar	13.16±3.96 a	14.11±4.07 a	15.16±3.40 a	14.16±3.98 a	15.53±3.85 a
3龄 3 rd instar	21±6.14 a	20.47±5.74 a	23.47±7.12 a	21.95±6.61 a	26.26±8.07 a
4龄 4 th instar	20.89±6.09 a	21.89±5.10 a	23.37±5.63 a	22.21±5.13 a	17.26±4.13 a
5龄 5 th instar	23.16±6.47 a	23.63±6.74 a	27.37±7.40 a	25.47±6.92 a	20.58±4.68 a
6龄 6 th instar	27.63±5.68 a	28.21±5.42 a	32.84±6.80 a	30.74±5.70 a	/
7龄 7 th instar	39.10±3.74 a	42.68±5.56 a	44.89±5.31 a	43±5.50 a	/
幼虫期 Larval stage	154.83±33.87 a	162.79±35.06 a	181.11±38.54 a	164.89±35.64 a	/
蛹期 Pupal stage	52.9±4.07 b	45.9±3.96 b	66.4±4.58 a	58.5±2.67 ab	/

注: 表中的数据为平均值±标准误, 同一行数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Note: The data in the table are mean±SE and different lowercase letters following the data in each row show significant difference ($P<0.05$), the same below.

不同寄主植物对云南松毛虫幼虫体质量的影响如图 1 所示, 可知云南松毛虫进入 4 龄后, 除取食马尾松的幼虫外, 取食其它寄主植物的幼虫体质量呈显著增长趋势。其中取食柳杉的 4~7 龄幼虫体质量均重于其它处理, 而取食马尾松的幼虫体质量最轻且仅持续至 5 龄阶段; 不同寄主植物对云南松毛虫蛹质量的影响如图 2 所示, 可知取食不同寄主植物的云南松毛虫雄蛹质量无显著差异 ($P>0.05$), 但雌蛹质量差异显著 ($F=60.670$, $P<0.05$)。其中, 取食柳杉的云南松毛虫雌蛹最重, 而取食侧柏的云南松毛虫雌蛹最轻。

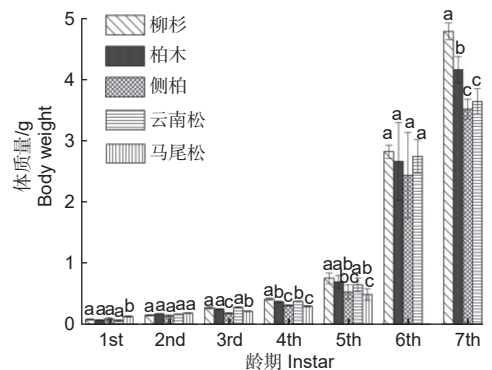


图 1 取食不同寄主植物的云南松毛虫各龄幼虫体质量
Fig. 1 Body weight of larvae feeding on different host plants during different instar of *Dendrolimus houi*

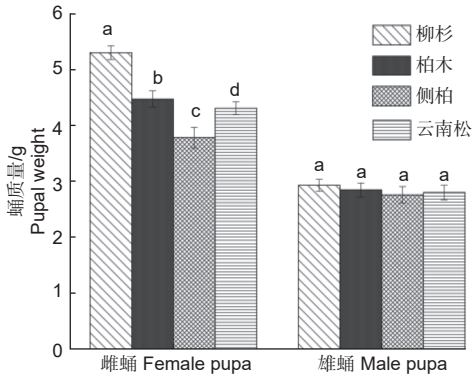


图 2 取食不同寄主植物的云南松毛虫蛹质量

Fig. 2 Pupal weight on different host plants of *Dendrolimus houi*

表 2 取食不同寄主植物的云南松毛虫成虫寿命及成虫产卵量

Table 2 Adult longevity and fecundity of *Dendrolimus houi* reared on different host plants

成虫寿命及雌虫繁殖力 Adult longevity and female fecundity	寄主植物 Host plants			
	柳杉 <i>C. fortunei</i>	柏木 <i>C. funebris</i>	侧柏 <i>P. orientalis</i>	云南松 <i>P. yunnanensis</i>
雌虫寿命/d Femal longevity	9.88±1.48 a	9.65±1.32 a	6.87±1.37 b	7.91±1.37 ab
雄虫寿命/d Male longevity	6.64±1.51 ab	7.40±1.26 a	5.11±0.82 b	5.78±1.25 ab
产卵量/(粒·雌 ⁻¹) Fecundity	294.74±28.73 a	265.82±14.50 ab	193.13±16.54 c	237.60±23.28 b

2.3 不同寄主植物对云南松毛虫解毒酶的影响

取食不同寄主植物的云南松毛虫 5 龄幼虫体内 GSTs ($F=193.484$, $P<0.05$) 和 CYP450 ($F=129.145$, $P<0.05$) 活性均存在显著差异。取食柳杉的幼虫体内 GSTs (92.22 ± 0.78 nmol·min⁻¹·mg⁻¹) 活性最高；取食柏木的幼虫体内 CYP450 (68.53 ± 2.26 nmol·g⁻¹) 活性最高；取食马尾松的

幼虫体内 GSTs (46.99 ± 0.64 nmol·min⁻¹·mg⁻¹) 和 CYP450 (26.77 ± 1.42 nmol·g⁻¹) 活性均最低；取食云南松的幼虫体内 GSTs (87.86 ± 4.07 nmol·min⁻¹·mg⁻¹) 和 CYP450 (38.07 ± 2.33 nmol·g⁻¹) 活性均处于较高的水平；取食不同寄主植物的云南松毛虫 5 龄幼虫体内 CarE 活性无显著差异 ($F=2.651$, $P>0.05$) (表 3)。

表 3 取食不同寄主植物的云南松毛虫解毒酶活性比较

Table 3 Comparison of detoxification enzymes activities of *Dendrolimus houi* feeding on different host plants

解毒酶 Detoxification enzymes	寄主植物 Host plants				
	柳杉 <i>C. fortunei</i>	柏木 <i>C. funebris</i>	侧柏 <i>P. orientalis</i>	云南松 <i>P. yunnanensis</i>	马尾松 <i>P. massoniana</i>
谷胱甘肽-S-转移酶/(nmol·min ⁻¹ ·mg ⁻¹) GSTs	92.22±0.78 a	90.76±0.59 a	62.30±3.75 b	87.86±4.07 a	46.99±0.64 c
羧酸酯酶(U·mg ⁻¹) CarE	0.72±0.06 a	0.84±0.02 a	0.79±0.12 a	0.82±0.03 a	0.71±0.05 a
细胞色素P450酶/(nmol·g ⁻¹) CYP450	61.10±3.89 b	68.53±2.26 a	43.21±2.47 c	38.07±2.33 c	26.77±1.42 d

2.4 不同寄主植物对云南松毛虫消化酶的影响

取食不同寄主植物的云南松毛虫 5 龄幼虫体内 AMS 活性顺序依次是：侧柏>柏木>柳杉>云南松>马尾松 ($F=64.163$, $P<0.05$)；LPS 活性顺

序依次是：侧柏>柏木>柳杉>云南松>马尾松 ($F=111.159$, $P<0.05$)。其中，取食侧柏、柏木与柳杉的云南松毛虫 AMS 和 LPS 活性显著高于取食云南松和马尾松的云南松毛虫 ($P<0.05$)；蛋

白酶活性顺序依次是: 柳杉>柏木>云南松>侧柏>马尾松 ($F=29.615$, $P<0.05$)。其中, 取食柳杉的幼虫体内蛋白酶活性最高 (3.26 ± 0.114

$\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$), 取食柏木的云南松毛虫蛋白酶活性也处于较高水平 (表 4)。

表 4 取食不同寄主植物的云南松毛虫消化酶活性比较

Table 4 Comparison of digestive enzyme activities of *Dendrolimus houi* feeding on different host plants

消化酶 Digestive enzyme	寄主植物 Host plants				
	柳杉 <i>C. fortunei</i>	柏木 <i>C. funebris</i>	侧柏 <i>P. orientalis</i>	云南松 <i>P. yunnanensis</i>	马尾松 <i>P. massoniana</i>
淀粉酶 ($\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$) AMS	0.25±0.01 b	0.31±0.009 a	0.33±0.033 a	0.19±0.009 c	0.13±0.011 d
脂肪酶 ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$) LPS	1.42±0.020 b	1.57±0.070 a	1.69±0.030 a	1.05±0.070 c	1.04±0.030 c
蛋白酶 ($\text{nmol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mg}^{-1}$) Protease	3.26±0.114 a	2.49±0.164 b	2.44±0.233 b	2.23±0.019 b	2.17±0.217 b

3 讨论

昆虫取食不同寄主植物会显著影响其生长发育和繁殖^[23]。比如甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua* Hiibner) 在取食不同寄主植物后, 其幼虫的发育速率、发育历期、蛹期以及蛹质量均存在显著差异^[24]。一般蛹越重, 适应性越强^[25-27], 且较短的发育历期可衡量植食性昆虫与寄主植物适合度^[28]。本研究发现, 取食柳杉、柏木、侧柏和云南松的幼虫均具完整的生活史, 验证了云南松毛虫是一种广食性食叶害虫, 并具有较强的多寄主适应能力。野外调查也发现, 该虫除在福建、浙江等华东分布区严重危害柳杉外, 在云贵川等西南分布区内还严重威胁柏木、云南松和侧柏, 这与本研究结果一致, 表明云南松毛虫对不同寄主植物具有适应性^[29-32]。研究发现, 取食柳杉、柏木的云南松毛虫幼虫和蛹的发育历期短、雌蛹较重且成虫产卵量高, 推测柳杉和柏木是更适于幼虫生长发育的寄主植物。但取食马尾松的幼虫只存活至 5 龄, 不具有完整的生活史, 且出现个体发育迟缓现象, 可能与马尾松的水分、营养物质以及各种次生代谢物密切相关^[33-34]。昆虫能否正常地生存和繁衍下去, 取决于它对食物等诸多生态因子的适应力, 通过人为方式调整寄主植物的配置方式, 在一定程度上打破其对特定寄主的依赖性, 扰乱消化道内的微生物菌群, 可对少数害虫实现生态治理^[35-36]。因而未来在人工混交林中可考虑配置马尾松或其它非嗜食寄主, 通过干扰云南松毛虫的食性, 改变其生物学进程和种群发生的固有模式, 这是一个值得思考的方向。此外, 前人测定了云南松毛虫对寄主思茅松 (*P. kesiya* var. *langbianensis* (A. Chev.) Gaussen)、华山松

(*Pinus armandii* Franch.)、油松 (*Pinus tabulaeformis* Carriere) 和白皮松 (*Pinus bungeana* Zucc. ex Endl.) 的成虫产卵选择性和幼虫取食选择性, 发现云南松毛虫对思茅松趋性最强, 思茅松是云南松毛虫的嗜食寄主^[37]。另有研究表明, 云南松毛虫在云南芒市 (海拔 905~1 321 m) 取食思茅松, 1 年发生 2 代; 但其在芒市毗邻的腾冲 (海拔 950~1 640 m) 取食云南松后, 1 年仅发生 1 代^[38-39], 表明海拔与气温相近的生境中, 不同的寄主植物对云南松毛虫发生代数存在明显差异, 与本研究结果相似。

大量研究表明, GSTs、CYP450 和 CarE 等解毒酶对昆虫分解外源毒物和维持正常生理代谢具有重要作用^[40-41]。本研究发现, 取食最适寄主柳杉和柏木的云南松毛虫幼虫体内 GSTs 与 CYP450 活性显著高于其他几种寄主植物。这与松墨天牛 (*Monochamus alternatus* Hope) 取食最适寄主马尾松 (*P. massoniana* Lamb.)^[42]、水椰八角铁甲 (*Octodonta nipae* Maulik) 取食最适寄主加拿利海枣 (*Phoenix canariensis* Chabaud) 和棕榈 (*Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl.)^[43] 时体内解毒酶活性显著高于取食其它寄主植物的结论一致, 可能与不同寄主植物组织中水分、营养物质以及各种次生代谢物种类和含量不同有关。进一步发现不同处理之间的 CarE 活性没有显著差异 ($P>0.05$), 推测 5 种寄主植物中所含的诱导 CarE 活性的化合物种类或含量可能相近^[44]。

消化酶在维持昆虫正常的生理生化代谢方面也具有重要作用, 常被用作衡量植食性昆虫对不同寄主植物适合度的重要指标^[45]。比如舞毒蛾幼虫

(*Lymantria dispar* Linnaeus) 取食不同寄主植物后中肠蛋白酶的活性出现明显差异^[46]; 金银花尺蠖幼虫 (*Heterolocha jinyinhuaphaga* Chu) 在取食营养成分含量高的寄主植物时, 通过提高自身消化酶活性分解大量的营养物质, 以保证机体的快速生长^[47]。表明昆虫在取食不同寄主植物时, 会根据自身生长发育的需求调节体内消化酶的活性^[48]。本研究发现, 取食不同寄主植物的云南松毛虫幼虫体内的消化酶也存在显著差异。其中取食适宜寄主植物柳杉的幼虫体内蛋白酶活性最高, 取食适宜寄主植物柏木的幼虫体内蛋白酶活性也处于较高水平, 可能与幼虫将蛋白质水解为氨基酸, 为机体生长和繁殖提供氮源有关^[49-50], 进一步表明蛋白酶可能影响了云南松毛虫对寄主植物的适应性。

4 结 论

综上所述, 云南松毛虫对柳杉和柏木有较好的适应性, 虫体内的解毒酶和蛋白酶可能是其适应柳杉和柏木的主要原因。这些研究结果可为探析寄主植物种类与害虫生物学特性、生理响应差异的相互关系奠定基础; 同时发现云南松毛虫取食马尾松后不具有完整的生活史, 且个体发育迟缓, 未来可考虑通过配置马尾松等形成多寄主新型混交林, 干扰云南松毛虫的食性及个体发育, 从而实现云南松毛虫的生态治理, 还将有待继续研究。

参 考 文 献:

- [1] 李定旭, 雷喜红, 李 政, 等. 不同寄主植物对桃小食心虫生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2012, 55 (5): 554-560.
- [2] Hwang S Y, Liu C H, Shen T C. Effects of plant nutrient availability and host plant species on the performance of two *Pieris* butterflies (Lepidoptera: Pieridae) [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2008, 36(7): 505-513.
- [3] 任素丽, 欧 达, 张利荷, 等. 不同寄主植物对柑橘木虱发育和繁殖的影响[J]. *应用昆虫学报*, 2018, 55 (4): 602-607.
- [4] 孙丽娜, 仇贵生, 张怀江, 等. 苹小卷叶蛾在四种寄主植物上的生长发育及繁殖[J]. *昆虫学报*, 2015, 58 (1): 53-59.
- [5] Joel F H, Mika Z, Søren B. Plant defense against Insect herbivores[J]. *IJMS*, 2013, 14(5): 10242-10297.
- [6] Rigsby C M, Showalter D N, Herms D A, et al. Physiological responses of emerald ash borer larvae to feeding on different ash species reveal putative resistance mechanisms and insect counter-adaptations[J]. *Journal of Insect Physiology*, 2015, 78(8): 47-54.
- [7] 李路莎, 袁郁斐, 武 磊, 等. 不同寄主植物对美国白蛾幼虫取食行为及解毒酶活性的影响[J]. *昆虫学报*, 2018, 61 (2): 232-239.
- [8] 鲁智慧, 和淑琪, 郭 晋, 等. 取食不同寄主植物对草地贪夜蛾幼虫体内3类酶活性的影响[J]. *南方农业学报*, 2020, 51 (10): 2461-2469.
- [9] Vogel H, Musser R O, Celorio-Mancera M L. Transcriptome responses in herbivorous insects towards host plant and toxin feeding[J]. *Annual Plant Reviews*, 2014, 47: 197-233.
- [10] 王健敏, 陈晓鸣, 冯 颖, 等. 两种蛀干昆虫消化酶组成和活性比较[J]. *林业科学研究*, 2007, 20 (2): 170-175.
- [11] 张 娜, 郭建英, 万方浩, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育和消化酶活性的影响[J]. *植物保护学报*, 2009, 36 (2): 146-150.
- [12] 刘湘早. 云南松毛虫生物学特性及综合治理[J]. *西南林学院学报*, 2006, 26 (3): 52-54 + 58.
- [13] 雷祖培, 张 兰, 阚显照, 等. 绿得宝防治乌岩岭保护区柳杉毛虫药效试验的初步研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25 (11): 165-168.
- [14] 罗建松. 永安市云南松毛虫生物学研究初报[J]. *林业勘察设计*, 2012 (1): 149-151.
- [15] 周友军, 林浩宇, 华 银, 等. 福建省柳杉毛虫的发生规律及生物学特性[J]. *亚热带农业研究*, 2019, 15 (1): 20-26.
- [16] 曹先聪. 云南松毛虫和思茅松毛虫种群动态及监测预报技术[D]. 泰安, 山东农业大学, 2017.
- [17] Habig W H, Pabst M J, Jakoby W B. Glutathione S-transferase AA from rat liver[J]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1976, 175(2): 710-716.
- [18] Asperen K V. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method[J]. *Journal of Insect Physiology*, 1962, 8(4): 415-416.
- [19] Brogdon W, McAllister J, Vulule J. Heme peroxidase activity measured in single mosquitoes identifies individuals expressing an elevated oxidase for insecticide resistance[J]. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 1997, 13: 233.
- [20] Siddharth T, Kirsten P S, Mann R S, et al. Glutathione transferase and cytochrome P450 (general oxidase) activity levels in candidatus liberibacter asiaticus-infected and uninfected *Asian citrus Psyllid* (Hemiptera: Psyllidae)[J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2011, 104(2): 297-305.
- [21] 白 燕, 王维新. 刺参肠道蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶与纤维素酶活性测定方法[J]. *饲料工业*, 2012, 33 (20): 28-32.
- [22] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. *Academic Press*, 1976, 72(1-2): 248-254.
- [23] 马彩亮, 王冬生, 滕海媛, 等. 五种蔬菜对扶桑绵粉蚧生长发育参数的影响[J]. *应用昆虫学报*, 2017, 54 (1): 113-120.
- [24] 陈永兵, 张纯青, 胡丽秋. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育的影响[J]. *昆虫知识*, 1999, 36 (6): 332-334.
- [25] 吴道慧, 李宜儒, 王思勤, 等. 玉米及玉米田3种杂草对草地贪夜

- 蛾生长发育和产卵的影响[J]. 植物保护, 2021, 47(2): 116-121 + 134.
- [26] 陈元生, 段德康, 陈超, 等. 光周期和温度对棉铃虫发育历期及蛹重的影响[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(4): 407-414.
- [27] Leuck R E, Perkins W D. A method of evaluating fall army worm progeny reduction when evaluations control achieved by host-plant resistance[J]. Journal of Economic Entomology, 1972, 65(2): 482-483.
- [28] 苟长青, 孙鹏, 刘端春, 等. 不同寄主对牧草盲蝽生长发育的影响[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 1065-1069.
- [29] 朱晓勇, 陈建军, 夏惠民. 柳杉毛虫在莲都林场的发生及防控研究[J]. 农业与技术, 2019, 39(14): 75-76.
- [30] 何香, 邹学梅, 尚艳艳, 等. 云南松毛虫在广安市柏木林区的发生规律及生物防治研究[J]. 西华师范大学学报:自然科学版, 2018, 39(2): 132-136.
- [31] 刀黎荣, 舒成伟, 聂艳丽. 景谷县云南松毛虫发生现状与应对措施[J]. 林业调查规划, 2014, 39(2): 138-142 + 146.
- [32] 闫宝荣, 麻文建, 覃岚, 等. 广元市森林害虫调查及云南松毛虫和蜀柏毒蛾的发生规律研究[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(9): 73-76.
- [33] 赵成华, 阎雪花. 马尾松针叶中的挥发物质对马尾松毛虫产卵行为的影响[J]. 林业科学, 2003, 39(6): 91-93.
- [34] Barbehenn R V, Peter C C. Tannins in plant-herbivore interactions[J]. Phytochemistry, 2011, 72(13): 1551-1565.
- [35] 朱麟, 古德祥, 吴海昌. 昆虫对植物次生性物质的生态适应机制[J]. 福建林业科技, 1998(2): 60-63.
- [36] 杨丹, 田博睿, 玄善姬, 等. 黑龙江省3种林木对美国白蛾的适应性[J]. 植物保护, 2021, 47(6): 153-157.
- [37] 曹先聪, 孔祥波, 张真, 等. 云南松毛虫和思茅松毛虫对四种松树产卵和取食趋性分析[J]. 中国森林病虫, 2017, 36(3): 8-12.
- [38] 彭琴君, 杨常忠, 克买义, 等. 云南松毛虫在芒市思茅松林区的发生规律及防治方法[J]. 林业调查规划, 2014, 39(5): 32-35.
- [39] 尹安亮, 钊润芳, 许国莲. 云南松毛虫生物学特性初步研究[J]. 西
南林学院学报, 2002, 22(4): 53-55.
- [40] 徐艳聆, 王振营, 何康来, 等. 转Bt基因抗虫玉米对亚洲玉米螟幼虫几种主要酶系活性的影响[J]. 昆虫学报, 2006, 49(4): 562-567.
- [41] Wang Y H, Gu Z Y, Wang J M, et al. Changes in the activity and the expression of detoxification enzymes in silkworms (*Bombyx mori*) after phoxim feeding[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 105(1): 13-17.
- [42] 杨建霞, 郝德君, 周曙东, 等. 寄主植物对松墨天牛的营养效应及对体内酯酶与羧酸酯酶活性的影响[J]. 林业科学, 2009, 45(1): 97-101.
- [43] 席博. 水椰八角铁甲寄主适应性机理的研究[D]. 福州, 福建农林大学, 2013.
- [44] 王秀吉, 路浩, 冯宇倩, 等. 不同寄主对小线角木蠹蛾幼虫消化解毒酶的影响[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(2): 480-492.
- [45] Wright M K, Brandt S L, Coudron T A, et al. Characterization of digestive proteolytic activity in *Lygus hesperus* Knight (Hemiptera: Miridae)[J]. Journal of Insect Physiology, 2006, 52(7): 717-728.
- [46] 徐伟, 付晓霞, 冯晓宇, 等. 不同寄主植物对舞毒蛾幼虫发育和中肠总蛋白酶的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(7): 121-122 + 138.
- [47] 向玉勇, 孙星, 殷培峰. 寄主植物、温度对金银花尺蠖幼虫消化酶活性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(2): 311-318.
- [48] 姜丽娜, 钱蕾, 喜超, 等. CO₂浓度升高对不同寄主植物上西花蓟马和花蓟马成虫体内消化酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60(3): 237-246.
- [49] 王倩倩, 王蕾, 李克斌, 等. 不同寄主植物对草地螟的营养作用及消化酶的影响[J]. 植物保护, 2015, 41(4): 46-51.
- [50] Zhao A P, Yuan X Q, Hu D, et al. The effect of host plant on the development and larval midgut protease activity of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)[J]. Phytoparasitica, 2019, 47(4): 475-483.

Effects of Different Host Plants on the Growth, Reproduction and Physiological Enzyme Activity of *Dendrolimus houi* Lajonquiere (Lepidoptera: Lasiocampidae)

SHEN Hai-yan¹, LIANG Yun¹, CHEN Zheng-hao¹, HUA Yin¹, LI Chang-liang², ZHANG Zhu-he³,
WENG Huai-feng⁴, HUANG Biao⁴, ZHANG Fei-ping¹, LIANG Guang-hong¹

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 2. Forestry Bureau of Luoyuan County, Fuzhou 350600, Fujian, China; 3. Fuzhou Station of Forestry Pest and Disease Control and Quarantine, Fuzhou 350003, Fujian, China; 4. Fujian Xiapu National Forest Farm, Xiapu 355199, Fujian, China)

Abstract: [Objective] To provide insights into carrying out ecological regulation of new mixed forest, the physiological adaptation mechanism of *Dendrolimus houi* Lajonquiere to different host plants was analyzed based on the effects of different host plants on the growth, reproduction, detoxification enzyme and digestive enzyme activities of *D. houi*. [Methods] The developmental duration of the larvae and pupae as well as the fecundity of adult of *D. houi* were measured through indoor rearing in host plants of *Cryptomeria fortunei* Hooibrenk, *Platycladus orientalis* (L.) Franco, *Cupressus funebris* Endl., *Pinus yunnanensis* Franch. and *Pinus massoniana* Lamb. The activities of detoxification enzymes (i. e. glutathione S-transferases (GSTs), cytochrome P450 (CYP450), and carboxylesterase (CarE)) and digestive enzymes (i. e. protease, amylase (AMS), and lipase (LPS)) in the 5th instar larvae of *D. houi* feeding on different host plants were also assayed. [Results] *D. houi* larvae feeding on *C. fortunei*, *C. funebris*, *P. orientalis* and *P. yunnanensis* had a complete life cycle, while the larvae feeding on *P. massoniana* only survived to the 5th instar and did not have a complete life cycle. At the same time, the larvae and pupae of *D. houi* feeding on *C. fortunei* and *C. funebris* had shorter developmental duration, heavier female pupae and more fecundity of adult compared with other host plants. The activities of GSTs and CYP450 in the 5th instar larvae of *D. houi* feeding on *C. fortunei* and *C. funebris* were significantly higher than those feeding on *P. yunnanensis*, *P. orientalis* and *P. massoniana* ($P < 0.05$). Among the three digestive enzymes, the activities of protease in larvae of *D. houi* feeding on *C. fortunei* and *C. funebris* were relatively high. [Conclusion] *Dendrolimus houi* has better adaptability to *Cryptomeria fortunei* and *Cupressus funebris* than the other host plants, and detoxification enzymes and proteases within *D. houi* may be the key factors which affect their adaptability to *Cryptomeria fortunei* and *Cupressus funebris*.

Keywords: *Dendrolimus houi*; host plant; developmental duration; detoxification enzymes; digestive enzymes

(责任编辑: 崔 贝)