

淡足侧沟茧蜂寄生对斜纹夜蛾幼虫 血淋巴游离氨基酸的影响

季香云 万年峰 黄志英 蒋杰贤 张浩

上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403

摘要 为探讨寄生蜂调控寄主的生理学机制,测定了淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* Szepilgeti 寄生斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 后寄主幼虫血淋巴中17种游离氨基酸含量。结果发现,寄生后连续5 d的时间内,与对照相比,寄生后1~4 d,被寄生幼虫血淋巴中游离氨基酸总量明显增加,而寄生后第5天则有所下降。寄生能导致寄主血淋巴中各种游离氨基酸含量发生变化,与对照相比,谷氨酸、脯氨酸和酪氨酸含量总体上均升高,寄生后第1天和第3天,胱氨酸和丙氨酸含量分别显著上升,寄生后第4天,亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸和精氨酸含量也表现相同的趋势。推测寄生蜂在寄主体内生长发育消耗了虫体内的养分,引起寄主幼虫体内游离氨基酸含量发生变化,且这种变化有利于寄生蜂生长发育。

关键词 斜纹夜蛾; 淡足侧沟茧蜂; 寄主; 血淋巴; 游离氨基酸

中图分类号 Q 965.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2017)04-0033-06

淡足侧沟茧蜂 *Microplitis pallidipes* Szepilgeti 主要寄生鳞翅目夜蛾科2~3龄幼虫,能够调节斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 田间自然种群数量^[1]。目前,该蜂的生物学特性与寄生行为,以及斜纹夜蛾被该蜂寄生后的生理变化均有研究报道^[2-7],但该蜂寄生对斜纹夜蛾幼虫血淋巴中游离氨基酸的影响鲜见报道。

昆虫血淋巴中含有来自各种组织和血细胞等合成和分泌的氨基酸,这些氨基酸在维系昆虫生长发育和生理代谢中扮演重要角色。寄主被寄生蜂寄生之后,其体内氨基酸的变化,可能会随寄生蜂在寄主体内生长发育阶段的不同而不同。为了有利于在寄主体内成功寄生,寄生蜂取食、生长发育和营养物质含量都会发生变化,这种现象被称为“寄生制域”反应^[8-11],如二化螟幼虫被二化螟绒茧蜂寄生后初期阶段,幼虫血淋巴中游离氨基酸含量明显上升,随着寄生蜂幼虫的生长发育,游离氨基酸含量逐渐下降,用于满足寄生蜂发育过程中的营养需要。有研究表明,病原微生物感染昆虫或寄生蜂寄生寄主后,其寄

主血淋巴中游离氨基酸总量先降低后升高^[12-14]。也有试验证明,感染病原物后,昆虫血淋巴中氨基酸含量明显低于对照组^[15-16]。鉴于此,为探明寄生蜂寄生后寄主血淋巴中游离氨基酸含量的变化,笔者测试了淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾幼虫后不同时间点,寄主血淋巴中17种游离氨基酸含量,以期为深入研究淡足侧沟茧蜂寄生后寄主的营养生理积累资料,为斜纹夜蛾的生物防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

斜纹夜蛾的卵和淡足侧沟茧蜂的茧均采自上海市奉贤区青村农业合作社甘蓝地,在人工气候箱(28±1℃、光周期L:D=14h:10h、相对湿度RH=80%±5%)中用人工饲料继代饲养7~9代^[1]。

斜纹夜蛾化蛹之后,将蛹放入羽化笼中继续饲养至成虫,成虫用10%的蜂蜜水喂养,继续在室内饲养至子代2龄末幼虫备用。在繁蜂箱中按蜂虫

收稿日期: 2016-11-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(31601641); 国家自然科学基金面上项目(31171904); 上海市农委重点基础研究项目[沪农科基字(2014)第7-3-2号]

季香云, 博士, 副研究员. 研究方向: 害虫综合治理. E-mail: hwyf2002@163.com

通信作者: 蒋杰贤, 博士, 研究员. 研究方向: 害虫生物防治. E-mail: jiangjiexian@163.com

比约为 1 : 50 放入交配过的寄生蜂雌蜂和斜纹夜蛾 2 龄末幼虫, 寄生 12 h 后, 将斜纹夜蛾幼虫转移至指型管中单头饲养至寄生蜂出茧, 淡足侧沟茧蜂羽化成虫后, 饲喂 10% 蜂蜜水, 雌雄寄生蜂按 1 : 1 交配 12 h, 选用 1~2 日龄健康、活力较强的雌蜂用于本试验^[17]。

1.2 试验设计与方法

按试验设计, 将 1 头已交配过的雌蜂放置到有 20 头斜纹夜蛾 2 龄末幼虫的长试管中 (25 mm × 150 mm), 试验设 3 次重复, 每重复用 20 对寄生蜂寄生斜纹夜蛾, 寄生蜂寄生 24 h 后, 将幼虫转到干净试管内, 并放置适量的人工饲料供幼虫取食 (其中每重复中 10 对寄生蜂采用单管观察法, 确保处理后 1~2 d 试验用斜纹夜蛾被寄生, 在寄生后第 3 天被寄生斜纹夜蛾幼虫腹部有黑点出现, 试验时可直接选择被寄生的幼虫用于试验)。另设体型大小一致、龄期相同的斜纹夜蛾幼虫作对照。处理组和对照组幼虫均放置到相同条件 (同上) 的培养箱中饲养。连续测定寄生后 5 d 寄生斜纹夜蛾幼虫和对照斜纹夜蛾幼虫血淋巴中游离氨基酸的含量变化。具体试验方法如下。

1) 斜纹夜蛾幼虫的血淋巴收集方法。将试验用各处理组斜纹夜蛾幼虫先用 75% 乙醇进行表面无菌化处理后, 蒸馏水冲洗, 再用干净滤纸吸干虫体表面水分, 用医用解剖针刺破斜纹夜蛾幼虫腹部节间膜 (第 3~4 腹节之间), 在冰冻抗凝剂缓冲液中, 用微量毛细管收集 50 μL 的血淋巴, 放入 1.5 mL 的离心管内, 在 4 °C 800 r/min 条件下离心 10 min, 去除血细胞和其他体内组织, 取上清液放入 -20 °C 超低温冰箱备用。

2) 斜纹夜蛾幼虫血淋巴中游离氨基酸含量的测定。用微量移液器量取 0.02 mL 寄主幼虫血淋巴, 放于 1.5 mL 离心管中, 然后加入 0.2 mL 10% 磺基水杨酸溶液, 混合均匀, 在 4 °C 10 000 r/min 条件下, 高速离心 20 min 后, 在收集的 0.2 mL 上清液中加入 0.2 mL 超纯水进行稀释, 样品混合均匀后, 用日立 L-8900 型全自动氨基酸分析仪测定处理样品中游离氨基酸的含量^[18]。

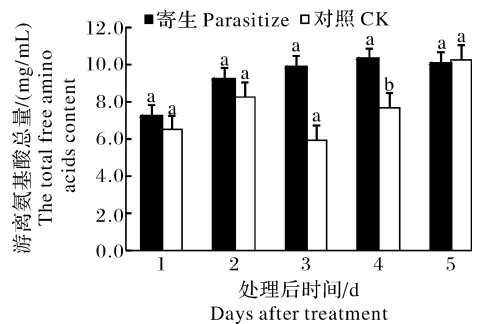
1.3 数据处理和分析

利用 SPSS 16.0 软件系统, Compare-*t* 法检验寄生和对照斜纹夜蛾幼虫的血淋巴中各类游离氨基酸和氨基酸总量在 5% 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 淡足侧沟茧蜂寄生对斜纹夜蛾幼虫血淋巴中游离氨基酸总含量的影响

从图 1 可见, 寄生后 1~4 d, 被寄生的寄主幼虫血淋巴中游离氨基酸总含量均高于对照幼虫, 在寄生后第 4 天, 寄生和对照组幼虫血淋巴中游离氨基酸总量差异显著。寄生后第 5 天, 与对照幼虫相比, 寄生幼虫血淋巴中氨基酸总含量降低, 但差异不显著。寄生斜纹夜蛾幼虫在寄生后 1~4 d, 随着寄生时间的增加, 其血淋巴中游离氨基酸含量呈上升趋势, 在寄生后第 5 天略有下降; 而对照组斜纹夜蛾幼虫在处理 1~5 d 时间内, 其血淋巴中游离氨基酸含量呈先上升后下降、再上升的趋势。表明淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾后, 改变了寄主幼虫血淋巴中游离氨基酸的生化代谢过程。寄生蜂入侵寄主后, 随着寄生蜂不断发育, 对营养物质的需求也有所不同, 进而寄主血淋巴中游离氨基酸的含量也会随着寄生蜂的营养需求而发生改变; 同时发现, 寄生蜂在寄主体内生长发育的各个不同阶段, 斜纹夜蛾幼虫血淋巴中游离氨基酸总含量的增减幅度有很大的差异, 这些变化有利于寄生蜂在寄主体内完成生长发育。



误差线表示标准误; 柱形图上不同的小写字母表示寄生幼虫和对照幼虫血淋巴中氨基酸含量在 5% 水平上的差异显著性, 下同。Error bars denote SE; different lowercase letters on the adjacent bars indicate that the means are significantly different between control and parasitization at $P < 0.05$. The same as below.

图 1 淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾幼虫血淋巴中游离氨基酸总量的比较

Fig.1 Comparison of the total free amino acids content in the host hemolymph between the parasitized and unparasitized *Spodoptera litura*

2.2 淡足侧沟茧蜂寄生对斜纹夜蛾幼虫血淋巴中酪氨酸、脯氨酸和谷氨酸含量的影响

酪氨酸是寄主幼虫血淋巴中合成黑色素的基

性物质,即酪氨酸通过酪氨酸酶合成黑色素,由此可知,血淋巴中酪氨酸的含量和寄主幼虫血淋巴的黑色素作用有密不可分的关系,与对照组斜纹夜蛾幼虫相比,寄生幼虫血淋巴中酪氨酸的含量在寄生后前期,酪氨酸含量低于对照幼虫,而在寄生后期,与对照幼虫相比,寄生幼虫血淋巴中酪氨酸含量升高。寄生幼虫在寄生后 1~5 d,幼虫血淋巴中氨基酸含量呈先增加,后下降,再增加的趋势,对照幼虫在寄生后 1~5 d 游离氨基酸含量变化趋势与寄生幼虫基本一致,但变化幅度有明显的不同(图 2)。

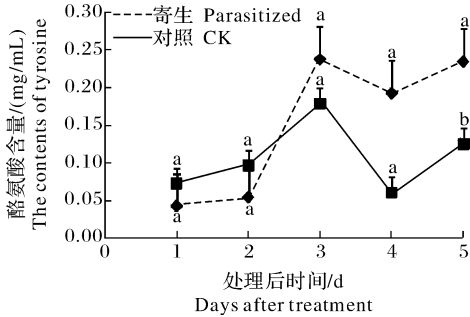


图 2 淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾幼虫血淋巴中酪氨酸含量的比较

Fig.2 Comparison of the content of tyrosine in the host hemolymph between the parasitized and unparasitized *Spodoptera litura*

脯氨酸(Pro)是构成生物蛋白质的一种组分,在昆虫体内以游离状态存在,当外界环境条件恶劣时,生物体血淋巴中脯氨酸含量就会升高,从而阻止不良的环境条件对生物造成的伤害,生物体内脯氨酸含量的变化是生物体应对外界不良环境刺激的一种本能反应。淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾后,斜纹夜蛾受到寄生蜂的入侵,其血淋巴中脯氨酸含量升高,这是寄主对外来物入侵后对自身保护的应激反应。淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾后,与对照相比,斜纹夜蛾血淋巴中脯氨酸含量明显增加。且随着寄生时间的延长持续增加,但寄生后第 4 天开始稍有降低,见图 3。

谷氨酸是一种前体氨基酸,能合成脯氨酸、谷氨酰胺和精氨酸,在生物体内,葡萄糖要参与昆虫的蛋白质代谢进程,需先转化为谷氨酸,以谷氨酸的形式参与昆虫体内的多种代谢过程。与对照幼虫相比,寄生斜纹夜蛾血淋巴中谷氨酸含量增加,表明寄生蜂侵入寄主体内后,寄主为了满足自身生长发育的需要,需通过增加谷氨酸的含量来进行,从而造成了斜纹夜蛾和淡足侧沟茧蜂之间的营养物质的竞

争^[19]。在寄生后第 1~5 天,血淋巴中谷氨酸含量变化与脯氨酸的变化趋势基本一致(图 4)。

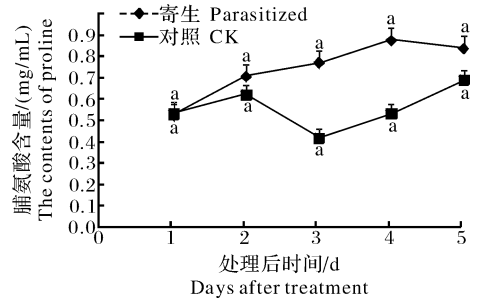


图 3 淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾幼虫血淋巴中脯氨酸含量的比较

Fig.3 Comparison of the content of proline in the host hemolymph between the parasitized and unparasitized *Spodoptera litura*

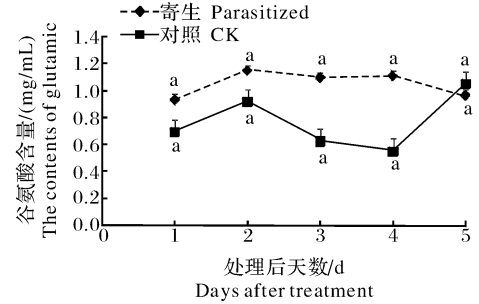


图 4 淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾幼虫血淋巴中谷氨酸含量的比较

Fig.4 Comparison of the contents of glutamic in the host hemolymph between the parasitized and unparasitized *Spodoptera litura*

2.3 淡足侧沟茧蜂寄生对斜纹夜蛾幼虫血淋巴中各种游离氨基酸含量的影响

淡足侧沟茧蜂寄生对斜纹夜蛾幼虫血淋巴中各种游离氨基酸含量的影响见表 1。

氨基酸能够合成蛋白质,调节渗透压和解毒废弃物,是构成生物体营养所需蛋白质的基本物质。斜纹夜蛾幼虫经淡足侧沟茧蜂寄生后 1~5 d,寄主血淋巴中 17 种游离氨基酸含量均有不同程度的变化,与对照幼虫相比,其中胱氨酸在寄生后第 1 天,丙氨酸在寄生后第 3 天,亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸和精氨酸在寄生后第 4 天,其血淋巴中的含量变化差异显著。由于不同游离氨基酸种类在昆虫体内蛋白质的合成中发挥不同的功能,所以淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾幼虫后,各种氨基酸含量的变化趋势并不一致。由此可推断,淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜

蛾后,寄主体内氨基酸组成没有发生改变,但不同种类的游离氨基酸的含量均有不同程度的变化,这说明寄生蜂在寄主体内发育的不同阶段,所需要的营养

成分有所不同,因此,在寄生蜂和寄主的不同发育阶段,不同类型的氨基酸含量增加或减少的幅度大小并不相同。

表 1 寄生和未寄生斜纹夜蛾血淋巴中游离氨基酸含量的变化

Table 1 Comparison of content of free amino acids in the host hemolymph between the parasitized and unparasitized *Spodoptera litura*

| 氨基酸种类 Amino acids | 1 d | | 2 d | | 3 d | | 4 d | | 5 d | |
|----------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | 寄生 | 对照 | 寄生 | 对照 | 寄生 | 对照 | 寄生 | 对照 | 寄生 | 对照 |
| | Parasitized | CK | Parasitized | CK | Parasitized | CK | Parasitized | CK | Parasitized | CK |
| 天冬氨酸 Asp | 0.16a | 0.19a | 0.28a | 0.22a | 0.38a | 0.21a | 0.28a | 0.26a | 0.35a | 0.39a |
| 苏氨酸 Thr | 1.29a | 0.54a | 1.55a | 0.83a | 1.15a | 0.45a | 1.42a | 1.01a | 1.37a | 1.06a |
| 苯丙氨酸 Phe | 0.15a | 0.25a | 0.20a | 0.17a | 0.23a | 0.15a | 0.23a | 0.19a | 0.18a | 0.21a |
| 胱氨酸 Cys | 0.06a | 0.03b | 0.05a | 0.05a | 0.05a | 0.04a | 0.04a | 0.04a | 0.04a | 0.05a |
| 甘氨酸 Gly | 0.16a | 0.14a | 0.20a | 0.17a | 0.23a | 0.17a | 0.23a | 0.24a | 0.26a | 0.28a |
| 丙氨酸 Ala | 0.19a | 0.24a | 0.20a | 0.19a | 0.21a | 0.12b | 0.23a | 0.21a | 0.21a | 0.22a |
| 缬氨酸 Val | 0.22a | 0.29a | 0.35a | 0.36a | 0.45a | 0.29a | 0.47a | 0.39b | 0.43a | 0.43a |
| 蛋氨酸 Met | 0.08a | 0.10a | 0.06a | 0.09a | 0.09a | 0.13a | 0.11a | 0.12a | 0.20a | 0.16a |
| 异亮氨酸 Ile | 0.08a | 0.14a | 0.17a | 0.16a | 0.23a | 0.13a | 0.27a | 0.21b | 0.22a | 0.21a |
| 亮氨酸 Leu | 0.13a | 0.23a | 0.27a | 0.21a | 0.32a | 0.17a | 0.34a | 0.30b | 0.27a | 0.29a |
| 丝氨酸 Ser | 0.37a | 0.28a | 0.53a | 0.60a | 0.47a | 0.38a | 0.55a | 0.45b | 0.50a | 0.57a |
| 组氨酸 His | 1.14a | 1.09a | 1.18a | 1.15a | 1.28a | 0.90a | 1.26a | 1.25a | 1.29a | 1.47a |
| 赖氨酸 Lys | 0.81a | 0.88a | 1.21a | 1.10a | 1.41a | 0.71a | 1.37a | 0.96b | 1.48a | 1.53a |
| 精氨酸 Arg | 0.92a | 0.80a | 1.07a | 1.29a | 1.30a | 0.89a | 1.37a | 0.94b | 1.27a | 1.57a |

注:数据后标注不同小写字母表示同一处理时间内寄生和对照的差异显著(Compare-*t* 检验, $P < 0.05$)。Note: Different lowercase letters in the same line indicate significant different between control and parasitization at the 5% level.

3 讨论

淡足侧沟茧蜂寄生斜纹夜蛾后,寄主自身免疫功能调节能力逐渐降低,寄生蜂也会分泌一些免疫酶,能够降解寄主体内蛋白质,随着寄主体内蛋白质的降解,寄主血淋巴中不同游离氨基酸含量相应会发生改变,用于补充寄主体内寄生蜂的生长发育对营养的需求^[20-21]。关于寄主或者人工培养时添加游离氨基酸的含量是否与寄生蜂的发育相关,国内外均有相关报道,黄寿山等^[22]认为寄主卵内游离氨基酸的构成及含量与其对寄生蜂的适合性并没有直接关系;而 Thompson^[23]认为,如果减少培养基中游离氨基酸含量,具瘤爱姬蜂 *Exeristes roborator* (Fabricius)的发育速度会降低。

而关于寄生蜂寄生后寄主体内游离氨基酸的变化,黑豆蚜 *Aphis craccivora* Koch 被日本柄瘤蚜茧蜂 *Lysiphlebus japonicus* Ashmead 寄生后,寄主黑豆蚜体内蛋白质含量减少,而游离氨基酸总量增加^[23-24],寄生蜂在生长发育过程中,需要消耗寄主体

内大量的营养物质,从而使寄主从生理上呈饥饿状态,需要寄主体内的蛋白质不断水解变成氨基酸来满足寄主和寄生蜂生长发育的需求,从而使体内游离氨基酸含量不断增加。Lee 等^[25]研究认为广大腿小蜂 *Brachymeria lasus* Walker 寄生舞毒蛾 *Lymantria dispar* Linnaeus 后,会引起舞毒蛾幼虫血淋巴中的游离氨基酸总含量增加。Pennacchio 等^[26]研究发现,豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* Harris 被阿维蚜茧蜂 *Aphidius avenae* Haliday 寄生后,豆蚜血淋巴中游离氨基酸总含量显著增加。寄主自身和寄生蜂对蛋白质的消化和吸收决定了寄主幼虫血淋巴中游离氨基酸的含量,同时寄主本身的内部蛋白质的合成也是影响游离氨基酸含量的关键因素之一^[27]。淡足侧沟茧蜂寄生后寄主血淋巴中 17 种游离氨基酸含量变化不尽相同,说明有些氨基酸在寄生蜂发育过程中变化幅度较大,表明寄生蜂在不同的发育阶段,对氨基酸的需求不同,即在某一发育阶段对氨基酸需要量较大^[19]。迄今为止,对于每种游离氨基酸在寄生蜂发育过程中所起的作用尚不清

楚,需要进一步深入探讨。

寄生蜂和寄主形成了一个相互制约、相互博弈的发育系统,寄生蜂和寄主种类不同,形成了不同的寄生系统。寄主和寄生蜂相互制约的结果决定了寄主组织内代谢过程的变化。寄生蜂和寄主之间对营养物质的利用处于相互制约的动态平衡状态中,而对寄生蜂发育过程中对寄主营养物质需求的研究将可以帮助我们从生理机制上探讨寄主与寄生蜂的协同进化关系。

参 考 文 献

- [1] JIANG J X, ZENG A P, JI X Y, et al. Combined effect of nucleopolyhedrovirus and *Microplitis pallidipes* for the control of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* [J]. *Pest management science*, 2011, 67(6): 705-713.
- [2] 曾爱平, 王奎武, 蒋杰贤, 等. 淡足侧沟茧蜂生物学特性研究 [J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 31(5): 502-505.
- [3] 季香云, 印杨毅, 万年峰, 等. 淡足侧沟茧蜂寄生对甜菜夜蛾幼虫血淋巴总糖、蛋白质及虫体脂质含量的影响 [J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50(6): 1637-1642.
- [4] 刘君, 万年峰, 季香云, 等. 淡足侧沟茧蜂萼液对甜菜夜蛾幼虫血淋巴黑化反应和酚氧化酶活性的影响 [J]. *上海农业学报*, 2014, 30(5): 56-59.
- [5] JI X Y, WAN N F, LIU J, et al. Nucleopolyhedrovirus infection and/or parasitism by *Microplitis pallidipes* affected haemolymph titre of 20-hydroxyecdysone in *Spodoptera exigua* larvae [J]. *Journal of applied entomology*, 2016, 140(1/2): 142-149.
- [6] JIANG J X, BAO Y B, JI X Y, et al. Effect of nucleopolyhedrovirus infection of *Spodoptera litura* larvae on host discrimination by *Microplitis pallidipes* [J]. *Biocontrol science and technology*, 2014, 24(5): 561-573.
- [7] JIANG J X, JI X Y, YIN Y Y, et al. The effect of nucleopolyhedrovirus infection and/or parasitism by *Microplitis pallidipes* on hemolymph proteins, sugars, and lipids in *Spodoptera exigua* larvae [J]. *BioControl*, 2013, 58(6): 777-788.
- [8] VINSON S B, IWANTSCH G F. Host regulation by parasitoids [J]. *The quarterly review of biology*, 1980, 55(2): 143-165.
- [9] 杨跃雄, 陆源. 氨基酸和微量元素在虫草菌感染虫草蝙蝠蛾幼虫中的影响 [J]. *动物学研究*, 1991, 34(4): 427-432.
- [10] 杭三保, 陆自强. 二化螟幼虫被二化螟绒茧蜂寄生后血淋巴的生理生化变化 [J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 1992(1): 427-497.
- [11] 黄燕娥, 宋子伟, 李敦松, 等. 冷藏对米蛾卵液中游离氨基酸变化的影响 [J]. *环境昆虫学报*, 2016, 38(3): 468-475.
- [12] 王茂先, 王国秀, 李志强. 棉铃虫感染中华卵索线虫后血淋巴游离氨基酸含量的变化 [J]. *昆虫学报*, 2004, 47(2): 277-280.
- [13] 苏筱雨, 黄大庄, 贝蓓. 球孢白僵菌对桑天牛幼虫血淋巴游离氨基酸含量的影响 [J]. *蚕业科学*, 2008, 34(3): 518-520.
- [14] 王达, 苏筱雨, 黄大庄, 等. 光肩星天牛幼虫感染绿僵菌后血淋巴中游离氨基酸含量的变化 [J]. *农药学报*, 2008, 10(4): 483-486.
- [15] 傅丽君, 尤民生, 戴小华. 小菜蛾感染球孢白僵菌后血淋巴游离氨基酸的测定 [J]. *华东昆虫学报*, 2001, 10(1): 34-38.
- [16] 傅丽君. 小菜蛾血淋巴游离氨基酸含量测定 [J]. *微量元素与健康研究*, 2006, 23(2): 28-29.
- [17] 王德安, 王金耀, 陈红印. 侧沟茧蜂繁殖器的研制及操作规程 [J]. *中国生物防治*, 2001, 17(1): 43-44.
- [18] 曾爱平, 蒋杰贤, 季香云, 等. 甜菜夜蛾被淡足侧沟茧蜂寄生后的生理变化 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(8): 216-220.
- [19] 李元喜, 戴华国, 付文俊. 米蛾对三种赤眼蜂的适合性及被寄生后卵内游离氨基酸含量的变化 [J]. *昆虫学报*, 2008, 52(6): 628-634.
- [20] 李会平, 黄大庄, 唐秀光. 桑天牛幼虫感染球孢白僵菌后蛋白质和氨基酸含量的变化 [J]. *林业科学*, 2012, 48(5): 159-163.
- [21] THOMPSON S N. Effects of dietary amino acid level and nutritional balance on larval survival and development of the parasite *Exeristes roborator* [J]. *Annals of entomological society of America*, 1976, 69(5): 835-838.
- [22] 黄寿山, 解庆宾, 戴志一. 赤眼蜂寄主选择性及其机理研究(Ⅲ): 生理生化机制分析 [J]. *昆虫天敌*, 1995, 17(3): 106-108.
- [23] THOMPSON S N. Effects of the insect parasite, *Hyposoter exigue* on the total body glycogen and lipid levels of its host, *Trichoplusia ni* [J]. *Comparative biochemistry & physiology B comparative biochemistry*, 1982, 72(2): 233-237.
- [24] LAWRENCE P O. Hormonal interactions between parasitoids and hosts: adaptations to stress [C]// SEHNAL F, ZABZA A, DENLINGER D L. *Endocrinological frontiers in physiological insect ecology*. Wroclaw: Wroclaw technical university press, 1988: 423-435.
- [25] LEE H P, KO T Y, LEE K R. Changes in hemolymph metabolites of *Lymantria dispar* L. parasitized by the pupal parasitoid, *Brachymeria lasus* Walker [J]. *Korean journal of entomology*, 1990, 20(1): 23-32.
- [26] PENNACCHIO F, FANTI P, FALABELLA P, et al. Development and nutrition of the braconid wasp, *Aphidius ervi* in aposymbiotic host aphids [J]. *Archives of insect biochemistry physiology*, 1999, 40(1): 53-63.
- [27] BISCHOF C. Effects of heavy metal stress on free amino acid in the haemolymph and proteins in haemolymph and total body tissue of *Lymantria dispar* larvae parasitized by *Glyptapanteles liparidis* [J]. *Entomologia experimentalis et applicata*, 1996, 79(1): 61-68.

Changes in content of free amino acid in hemolymph of host larval *Spodoptera litura* parasitized by *Microplitis pallidipes*

JI Xiangyun WAN Nianfeng HUANG Zhiying JIANG Jiexian ZHANG Hao

*Eco-environment Protection Research Institute, Shanghai Academy of
Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China*

Abstract The beet armyworm (*Spodoptera litura*) is a global insect pest that feeds on various agricultural crops including vegetables, cotton, and ornamentals. To investigate the physiological mechanism that *Microplitis pallidipes* parasitizes larval *S. litura*, we collected the hemolymph of host larvae (parasitized and unparasitized), and measured the content of free amino acid using an amino acid analyzer. The results indicated that the content of total free amino acid in the hemolymphs of larval *S. litura* were consistently higher from 1 to 4 d, but lower on 5 d after parasitization in the parasitized group than in the control. The content of 17 free amino acids in the hemolymph of the *S. litura* larvae changed after parasitization with significant differences in some free amino acids. The content of Glu, Pro and Tyr in the larval hemolymph were consistently higher after parasitization than that in the control. The content of Cys and Ala significantly increased on 1 and 3 d after parasitization and the content of Leu, Ile, Lys and Arg showed similar trend on 4 d after parasitization. Our results reveal that the content of free amino acid varies in host larvae at different developmental stages of the parasitoids and that this variation benefits the growth of parasitoids.

Keywords *Spodoptera litura*; *Microplitis pallidipes*; host insect; hemolymph; free amino acids

(责任编辑:边书京)